

УДК 614.8

А. Б. Кусаинов, Е. К. Саменов, Д. Е. Акильжанова

Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ШИРИНЫ ЗАПРЕТНОГО РАЙОНА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ

Аннотация. Трагические события, произошедшие на складах хранения военных боеприпасов в 2019 году в городе Арысь и 2021 году вблизи города Тараз, показали о необходимости разработки мероприятий по обеспечению безопасности населения населенных пунктов. Одним из основных мер защиты является расстояние. Данное обстоятельство связано с тем, что избыточное давление во фронте ударной волны снижается в зависимости от эпицентра взрыва. Математический анализ эффективности методики определения ширины запретного района, для объектов хранения боеприпасов показал, что существующих подход не обеспечивает необходимый уровень безопасности.

Ключевые слова: взрыв, взрывчатые вещества, ударная волна.

В настоящее время в Вооруженных Силах Республики Казахстан насчитывается 44 объектов хранения боеприпасов [1]. Произошедшие трагические события в 2019 г. в городе Арысь и 2021 г. вблизи города Тараз показали актуальность обеспечения безопасности населенных пунктов, расположенных вблизи к объектам хранения боеприпасов.

Постановлением Правительства Республики Казахстан утверждены «Правила установления запретных зон при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований и запретных районов при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований и перечня запретных зон при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований и запретных районов при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований» [1].

В целях реализации данных правил Министерством обороны Республики Казахстан была разработана методика расчета ширины запретного района.

Согласно данной методике, расчет ширины запретного района проводится по действию ударной волны на человека, здание и сооружение, массы взрывчатого вещества и показателя разлета осколков.

Расчет расстояния по действию ударной волны на человека, здание и сооружение определяется по формуле 1 [2]:

$$R_{уд.в.} = k_{в} \cdot \sqrt[3]{q_{а}}$$

где, $q_{а} > 10$ тн – масса взрывчатого вещества активного заряда.

$k_{в}$ – коэффициент, зависящий от степени поражения:

1-я степень – полное отсутствие повреждений $k_{в} = 400$;

2-я степень – случайные повреждения зданий $k_{в} = 100$;

3-я степень – полное разрушение остекления, частичное повреждение оконных рам, дверей, нарушение штукатурки $k_{в} = 30$;

4-я степень – разрушение внутренних перегородок, рам, дверей, бараков, сараев $k_B = 2$;

5-я степень – разрушение малостойких каменных и деревянных зданий, повреждение линий электропередач $k_B = 1,5$;

6-я степень – пролом прочных кирпичных стен $k_B = 1,4$.

Расчет безопасного радиуса зоны по действию воздушной ударной волны на человека производится по формуле 1, для 1-й, 2 –й и 3-й степени поражения, при этом $k_B = 15$, безопасное расстояние для населенного пункта $k_B = 30$.

Проведем расчет безопасного радиуса зоны по действию воздушной ударной волны при взрыве хранилища взрывчатых веществ на человека и для населенного пункта.

Таблица 1 – Зависимость степени поражения человека от избыточного давления во фронте ударной волны (ΔP_Φ (кПа))

ΔP_Φ (кПа)	<10	10-40	40-60	60-100	>100
Степень поражения	Безопасный уровень	Легкая (ушибы, повреждения слуха)	Средняя (кровотечения, вывихи, сотрясения мозга)	Тяжелая (контузии, разрывы внутренних органов)	Смертельное поражение

Таблица 2 – Зависимость степени разрушения зданий от избыточного давления во фронте ударной волны (ΔP_Φ (кПа))

Жилые здания	Разрушения			
	полное	сильное	среднее	слабое
Кирпичные многоэтажные	30-40	20-30	10-20	8-10
Кирпичные малоэтажные	35-45	25-35	15-25	8-15
Деревянные	20-30	12-20	8-12	6-8

Таблица 3 – Значения условной вероятности поражения человека в зависимости от P_r

Условная вероятность поражения, %	P_r									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Согласно пункту 5.2.15 свода правил СП РК 2.02-107-2019 «Нормы проектирования арсеналов, баз и складов ракет и боеприпасов. Требования пожаровзрывобезопасности» максимально возможной нормы загрузки здания (сооружения) порохами и (или) взрывчатых веществ, и составляет не более 240 тн в тротиловом эквиваленте взрывчатых веществ без оболочек или в оболочках [3].

Безопасный радиус для человека составит:

$$R_{уд.в.} = 15 \cdot \sqrt[3]{240000} = 932,2 \text{ м.}$$

Случайные повреждения зданий и сооружений населенного пункта:

$$R_{уд.в.} = 100 \cdot \sqrt[3]{240000} = 6214,5 \text{ м.}$$

Предположим, что на расстоянии 6214,5 м от хранилища размещается населенный пункт, где здания являются кирпичными малоэтажными и деревянными.

Определим избыточное давление взрыва по формуле 2 [4, 5]:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{G_{\text{ТНТ}}^{1/3}}{R} + 390 \frac{G_{\text{ТНТ}}^{2/3}}{R^2} + 1300 \frac{G_{\text{ТНТ}}}{R^3}$$

где, R - расстояние до эпицентра взрыва, м;

$G_{\text{ТНТ}}$ – масса взрывчатого вещества в тротиловом эквиваленте, кг.

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{240000^{1/3}}{6214,5} + 390 \frac{240000^{2/3}}{6214,5^2} + 1300 \frac{240000}{6214,5^3} = 32,5 \text{ кПа}$$

Полученная величина избыточного давления соответствует полному (для деревянных зданий) и сильному для (кирпичных зданий) разрушению (таблица 2).

Далее рассчитаем импульс фазы сжатия (кПа·с) для взрывчатого вещества по формуле 3 [6, 7]:

$$I_{\phi} = \frac{0,4 G_{\text{ТНТ}}^{2/3}}{\sqrt{R}} = \frac{0,4 \cdot 3555,8}{\sqrt{6214,5}} = 18 \text{ кПа} \cdot \text{с}$$

По функции Гаусса через пробит-функцию определим вероятность поражения зданий.

Вероятность средних разрушений рассчитаем по формуле 4 [8, 9]:

$$P_r = 5 - 0,26 \cdot \ln \left\{ \left(\frac{17,5}{\Delta P_{\phi}} \right)^{8,4} + \left(\frac{0,29}{I_{\phi}} \right)^{9,3} \right\} = 3,65$$

По таблице 3 значению пробит-функции равной 3,65 соответствует вероятность средних разрушений 0,9 %.

Вероятность сильных разрушений рассчитаем по формуле 5 [7, 8]:

$$P_r = 5 - 0,26 \cdot \ln \left\{ \left(\frac{40}{\Delta P_{\phi}} \right)^{7,4} + \left(\frac{0,46}{I_{\phi}} \right)^{11,3} \right\} = 4,66$$

По таблице 3 значению пробит-функции равной 4,66 соответствует вероятность сильных разрушений 38 %.

Таким образом, вероятностный метод позволяет более точно определить безопасный радиус зоны по действию воздушной ударной волны при взрыве взрывчатых веществ, хранившихся в хранилище.

Список литературы

1. Постановление Правительства Республики Казахстан. Об утверждении Правил установления запретных зон при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований и запретных районов при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований и перечня запретных зон при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований и запретных районов при арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований: утв. 15 января 2021 года, № 9.
2. Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан. Об утверждении Правил обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов: утв. 30 декабря 2014 года, № 343.
3. Строительные правила Республики Казахстан. СП РК 2.02-107-2019. Нормы проектирования арсеналов, баз и складов ракет и боеприпасов. Требования пожаровзрывобезопасности.
4. Тимофеева С. С. Методы и технологии оценки аварийных рисков: практикум. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – 155 с.
5. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / пер. с англ. / под ред. Г. П. Демидюка, Н. С. Бахаревич. – М.: Недра, 1980. – 453 с.
6. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П., Челышев В. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
7. Богацкий В. Ф., Фридман А. Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. – М.: Недра, 1982. – 162 с.
8. Лукьянов В. Г. Взрывные работы: учебник для вузов / В. Г. Лукьянов, В. И. Комащенко, В. А. Шмурыгин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 402 с.
9. Захаров И. А., Аманкешулы Д., Шахуов Т. Ж. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования экстренных и аварийно-спасательных служб города // Вестник Кокшетауского технического института. – 2020. – № 1 (37). – С. 70-77.

References

1. Postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Kazahstan. Ob utverzhdanii Pravil ustanovleniya zapretnyh zon pri arsenalah, bazah i skladah Vooruzhennyh Sil, drugih vojsk i voinskih formirovanij i zapretnyh rajonov pri arsenalah, bazah i skladah Vooruzhennyh Sil, drugih vojsk i voinskih formirovanij i perechnya zapretnyh zon pri arsenalah, bazah i skladah Vooruzhennyh Sil, drugih vojsk i voinskih formirovanij i zapretnyh rajonov pri arsenalah, bazah i skladah Vooruzhennyh Sil, drugih vojsk i voinskih formirovanij: utv. ot 15 yanvaryaya 2021 goda № 9.
2. Prikaz Ministra po investiciyam i razvitiyu Respubliki Kazahstan «Ob utverzhdanii Pravil obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti dlya opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov» ot 30 dekabrya 2014 goda № 343.
3. Stroitel'nye pravila Respubliki Kazahstan SP RK 2.02-107-2019. Normy proektirovaniya arsenalov, baz i skladov raket i boeprapasov. Trebovaniya pozharovzryvobezopasnosti.
4. Timofeeva S.S. Metody i tekhnologii ocenki avariynyh riskov: praktikum. – Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2015. – 155 s.

5. Kuk M. A. Nauka o promyshlennykh vzryvchatykh veshchestvakh / Per. s angl./ Pod red. G. P. Demidyuka, N. S. Baharevich. – M.: Nedra, 1980. – 453 s.
6. Baum F. A., Orlenko L. P., Stanyukovich K. P., CHelyshev V. P., SHekhтер B. I. Fizika vzryva. – M.: Nauka, 1975. – 704 s.
7. Bogackij V. F., Fridman A. G. Ohrana inzhenernykh sooruzhenij i okruzhayushchej sredy ot vrednogo dejstviya promyshlennykh vzryvov. – M.: Nedra, 1982. – 162 s.
8. Luk'yanov V. G. Vzryvnye raboty: uchebnik dlya vuzov / V. G. Luk'yanov, V. I. Komashchenko, V. A. SHmurygin. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2008. – 402 s.
9. Zaharov I. A., Amankeshuly D., SHahuov T. ZH. Problemno-orientirovannye imitacionnye sistemy dlya avtomatizirovannogo proektirovaniya ekstremnykh i avarijno-spatatel'nykh sluzhb goroda // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo institute. – 2020. – № 1 (37). – S. 70-77.

А. Б. Құсайынов, Е. К. Саменов, Д. Е. Ақылжанова

*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

Аңдатпа. 2019 жылы Арыс қаласында және 2021 жылы Тараз қаласының маңында әскери оқ-дәрілерді сақтау қоймасына орын алған қайғылы оқиғалар елді мекендер халқының қауіпсіздігін қамтамасыз ету жөніндегі іс-шараларды әзірлеу қажеттігін көрсетті. Негізгі қорғау шараларының бірі-қашықтық. Бұл жағдай жарылыс эпицентріне байланысты соққы толқынының алдыңғы жағындағы артық қысымның төмендеуіне байланысты. Оқ-дәрілерді сақтау объектілері үшін тыйым салынған ауданның енін анықтау әдістемесінің тиімділігін математикалық талдау қолданыстағы тәсіл қауіпсіздіктің қажетті деңгейін қамтамасыз етпейтінін көрсетті.

Түйінді сөздер: жарылыс, жарылғыш заттар, соққы толқыны.

A. Kussainov, E. Samenov, D. Akilzhanova

*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the
Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan*

MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE METHOD OF CALCULATING THE WIDTH OF THE FORBIDDEN AREA FOR AMMUNITION STORAGE FACILITIES

Abstract. The tragic events that occurred at the military ammunition depot in 2019 in the city of Arys and in 2021 near the city of Taraz showed the need to develop measures to ensure the safety of the population of settlements. One of the main protection measures is distance. This circumstance is due to the fact that the excess pressure in the front of the shock wave decreases depending on the epicenter of the explosion. A mathematical analysis of the effectiveness of the methodology for determining the width of the prohibited area for ammunition storage facilities showed that the existing approach does not provide the required level of security.

Keywords: explosion, explosives, shock wave.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Арман Болатұлы Құсайынов – техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы қашықтықтан оқыту факультетінің бастығы. Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: arman_1703@mail.ru

Ерлан Қаирбайұлы Саменов – Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы күндізгі оқу факультетінің аға оқытушы-әдіскері, Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: Samenov_erlan@mail.ru

Дана Еркебұланқызы Ақылжанова – Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы жоспарлау, үйлестіру және бақылау тобының аға инспекторы, Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: a-dana-e@mail.ru

Кусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: arman_1703@mail.ru

Саменов Ерлан Каирбаевич – старший преподаватель-методист факультета очного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: Samenov_erlan@mail.ru

Акильжанова Дана Еркебулановна – старший инспектор группы планирования, координации и контроля Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: a-dana-e@mail.ru

Arman Kussainov – candidate of Technical Sciences, Head of the Faculty of Distance Learning Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, 136 Akana-Seri Street. E-mail: arman_1703@mail.ru

Erlan Samenov – senior lecturer-methodologist of the Faculty of full-time education Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, 136 Akana-Seri Street. E-mail: Samenov_erlan@mail.ru

Dana Akilzhanova – Senior Inspector of the Planning, Coordination and Control Group Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, 136 Akana-Seri Street. E-mail: a-dana-e@mail.ru