

УДК 623.48:658.512:614.833: 351.861

*І. М. Неклонський, к.військ.н., викл. каф. (ORCID 0000-0002-5561-4945)**О. М. Смирнов, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-1237-8700)**Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН БЕЗПЕКИ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

Обґрунтовано необхідність розроблення високоефективної технології утилізації авіаційних бомб та способу визначення зон безпеки при утилізації відповідних авіаційних засобів ураження. Для вирішення поставленого завдання застосовано системний підхід, в межах якого використовувались наукові методи узагальнення й порівняння, аналізу і синтезу, методи математичного моделювання тощо. Для обґрунтування ефективних рішень щодо забезпечення безпечних умов організації робіт запропонований спосіб визначення зон безпеки при утилізації авіаційних засобів ураження, який дозволяє врахувати фугасну та уламкову дію авіаційних засобів ураження під час їх детонації. Для приблизного оцінювання ступеню ураження об'єктів використані узагальнені емпіричні дані, відповідні закони ураження, які представляються у вигляді залежності ймовірності ураження від параметрів, що характеризують вплив, – надлишкового тиску на фронті ударної хвилі, питомого імпульсу ударної хвилі. Практично реалізовано твердження, що надлишковий тиск та питомий імпульс є функціями маси енергоносія (вибухової речовини) та відстані до центра вибуху, що дозволяє перейти від параметричного закону ураження до координатного закону ураження. Перехід від розрахунків до графічного зображення здійснюється за допомогою співвідношень, які пов'язують параметри вибухової хвилі з величинами відстані та тротилового еквіваленту. Під час розрахунків врахована можливість ураження об'єктів (людей) від дії уламків, що розлітаються. Для цього використаний закон зміни швидкості уламка на траєкторії. На підставі проведених розрахунків параметрів зон дії небезпечних факторів вибуху авіаційних бомб зроблені відповідні висновки щодо характеристик зон безпеки під час утилізації авіаційних засобів ураження. Запропонований спосіб визначення зон безпеки реалізує математичний апарат, який дозволяє співвідносити енергоносії до тротилового еквіваленту і може використовуватись в якості консервативної оцінки необхідної для експрес-аналізу стійкості об'єктів за умови їх розміщення в середніх і дальніх зонах від джерела вибуху.

Ключові слова: авіаційні бомби, технологія утилізації, радіус ураження, щільність потоку уламків

1. Вступ

Центр Разумкова за фінансової та організаційної підтримки Боннського міжнародного центру конверсії (ВІСС, Німеччина) здійснив дослідження проблеми утилізації запасів застарілих боєприпасів, стрілецької зброї і легких озброєнь в Україні, результати якого були опубліковані у 2005 р. Дослідженням підтверджено, що наявність цих запасів, обмежені можливості з їх знищення є не просто складним завданням, але й становить виклик для безпеки в національному, регіональному та глобальному масштабі. Від надлишкових запасів боєприпасів походять загрози екологічних катастроф, тероризму та нелегального розповсюдження зброї. Дослідження показало не тільки стан справ, але й можливості, ресурсні потреби та перспективи розв'язання цієї проблеми.

Для розв'язання проблеми утилізації ракет, боєприпасів та вибухових речовин, не придатних для подальшого використання і зберігання, та надлишкових, що зберігаються на арсеналах, базах, складах Збройних Сил України, була прийнята Державна цільова оборонна програми утилізації звичайних видів боєприпасів, не придатних для подальшого використання і зберігання, на 2008–2017 роки. Мета Програми полягала в забезпеченні комплексної утилізації боєприпасів, зокрема шляхом концентрації, необхідних для цього фінансових і матеріально-технічних

ресурсів, виробничого та науково-технічного потенціалу, а також зосередження зусиль центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій, що належать до сфери їх управління.

Разом з тим, відповідно «Заключного звіту про результати виконання Державної цільової оборонної програми утилізації звичайних видів боєприпасів, не придатних для подальшого використання і зберігання, на 2008–2017 роки» за результатами виконання Програми утилізовано 235,29 тис.т звичайних видів боєприпасів, непридатних для подальшого використання і зберігання, або 49,6 % від показників, передбачених Програмою. Невиконання планових показників пов'язано з постійним недофінансуванням заходів, що у свою чергу, призвело до неповного завантаження виробничих потужностей з утилізації боєприпасів на державних підприємствах (завантаженість становила у середньому 20%).

Незважаючи на обмежене фінансування Програми, на думку авторів Заключного звіту, досягнуто ряд позитивних результатів, як в економічній, так і в соціальній сферах. Усі заходи та завдання були спрямовані на запобігання техногенно-екологічним катастрофам у районах зберігання ракет і боєприпасів, створення умов, що гарантують безпеку населення та об'єктів. Таким чином, проблема утилізації боєприпасів, не придатних для подальшого використання і зберігання, залишається актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Серед номенклатури боєприпасів, які плануються до утилізації є авіаційні засоби ураження. Так в Україні зараз зберігаються авіаційні бомби ОФАБ-250-270 (рис. 1) із закінченим терміном зберігання, що потребують негайної утилізації. Актуальність їх утилізації обумовлена великою кількістю вибухової речовини в одній одиниці – основний заряд вибухової речовини (ТНТ) складає 97 кг.



Рис. 1. ОФАБ-250-270

325 мм ОФАБ-250-270 призначається для застосування з підривником неконтактної дії для ураження літаків на відкритих стоянках і в капонірах, артилерійських засобів на відкритих і закритих позиціях, транспортних засобів (залізничний пересувний склад, автотранспорт, морські і річкові транспортні судна), бензосховищ, понтонних переправ і живої сили противника в окопах, на відкритих позиціях і переправах.

Враховуючи досвід утилізації боєприпасів у залежності від виду боєприпасів утилізація проводилася шляхом комплексного застосування технології їх утилізації, а саме: технологія способом випалювання окремих видів вибухових речовин з бойових частин, снарядів, у результаті чого знищувалася вибухова речовина (гексоген та його суміш, деякі види порохів та інші); знищення

складових частин боєприпасів (зривники, запали, засоби ініціювання) методом спалювання; технологія утилізації за типами боєприпасів у залежності від виду спорядження, метального заряду, а також конструктивних особливостей; знищення боєприпасів та їх складових методом підриву.

Це ще раз підтверджує, що з багатьох технологій стосовно знищення та утилізації озброєння і боєприпасів з економічних міркувань не завжди вибирають найефективніші процедури. У багатьох випадках процедури стосовно підвищення рівня безпеки збільшували вартість утилізації. Це є приводом для застосування простіших методів утилізації, що ускладнює отримання в процесі утилізації не тільки виробів спецхімії та вибухопожежобезпечних елементів, а й металобрухту і вторинної сировини. Крім того, технологічна політика утилізації боєприпасів насамперед має забезпечити техногенну та екологічну безпеку під час організації і виконання всіх необхідних робіт.

Виходячи з цього, крім необхідності впровадження нових високоефективних технологій утилізації ракет та боєприпасів, потребує вирішення часткова проблема, яка обумовлена необхідністю розгляду науково-методичних аспектів розроблення ефективних організаційних процедур забезпечення безпечних умов організації робіт.

У цьому напрямку проведено ряд наукових досліджень. Так в роботі [1] запропонований підхід, який дає можливість зниження енергетичного потенціалу вибухових речовин військових боєприпасів шляхом включення їх до вибухових речовин цивільного призначення. Це є альтернативою звичайній технології утилізації, при якій енергетичний матеріал, що вилучається, спалюється у статичній печі з обробкою димових газів. Використання запропонованої моделі перспективного життєвого циклу боєприпасів значно зменшує вплив на навколишнє середовище, але не містить рекомендацій щодо дотримання певних безпекових параметрів під час проведення організаційних процедур.

Певні організаційні процедури розглянуті в роботі [2], в якій викладений метод утилізації боєприпасів, що включає такі основні елементи: прийняття децентралізованого контролю в поєднанні з концентрованим виробництвом; застосування технологій, що відповідають вимогам охорони навколишнього середовища; прийняття технологічних процесів, які відповідають даним технологіям, тощо. Також автори акцентують увагу на доцільності використання матеріалів, що отримані в результаті утилізації. Разом з тим, питання безпечних умов організації робіт або організації робіт у кризових ситуаціях, пов'язаних з вибухом боєприпасів, в роботі не розглядаються.

Щодо кризових ситуацій, то доцільно акцентувати увагу на результатах досліджень, представлених в роботі [3]. Проведені дослідження ставили за мету побудувати структурно-функціональну модель взаємодії органів, що забезпечують авіаційну безпеку, під час урегулювання кризової ситуації. Отримані результати є спробою удосконалити систему авіаційної безпеки шляхом розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття управлінських рішень з організації взаємодії структурних підрозділів, що протидіють актам незаконного втручання. З точки зору заявленої проблематики результати даної роботи мають значення, якщо розглядати кризову ситуацію, яка може статися при невиконанні організаційних процедур забезпечення безпечних умов організації робіт.

Удосконаленню національної системи утилізації боєприпасів шляхом впровадження нових технологій утилізації військових засобів ураження та

обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо впровадження відповідних технологій присвячено декілька статей, які відображають результати певного циклу досліджень, останньою з опублікованих є робота [4]. В роботі розроблено математичну модель процесу утилізації, математичний апарат якої дозволяє пов'язати задані умови технологічного процесу, формалізованого в систему масового обслуговування, з показниками ефективності роботи відповідної системи масового обслуговування, що описують її здатність справлятися з потоком заявок. Застосування показників ефективності в якості характеристик роботи системи дає можливість обґрунтувати ефективність організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології утилізації. Крім того, модель дозволяє оцінювати додаткові економічні витрати або технологічний ризик у разі, якщо система масового обслуговування не справляється з потоком заявок. Разом з тим, дослідження залишає поза увагою питання щодо дотримання певних безпекових параметрів під час організації роботи відповідної системи.

Таким чином, результати наукових досліджень [1–4] дозволяють вирішити часткові завдання. Вони не містять прогнозованих сценаріїв щодо можливого впливу вибухових навантажень при невиконанні організаційних процедур забезпечення безпечних умов організації робіт.

Найбільшу небезпеку у випадку виникнення надзвичайних ситуацій становить фугасна та уламкова дія АЗУ. Відповідно для визначення безпечних відстаней та вимог до розташування і обладнання технологічного майданчику утилізації АЗУ необхідно оцінити радіуси дії цих вражаючих факторів. Виходячи з цього, виникає необхідність у розробленні способу визначення зон безпеки при утилізації авіаційних засобів ураження.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є розроблення вискоелективної технології утилізації авіаційних бомб та обґрунтування ефективних рішень щодо забезпечення безпечних умов організації робіт шляхом визначення зон безпеки при утилізації авіаційних засобів ураження.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розроблення вискоелективної технології утилізації авіаційних бомб та обґрунтування ефективних рішень щодо забезпечення безпечних умов організації робіт з утилізації шляхом визначення зон безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити технологію утилізації авіаційних бомб, яка б дозволяла раціонально і безпечно вилучати всі елементи й використовувати ці елементи в новій якості;
- розробити спосіб визначення зон безпеки при утилізації авіаційних засобів ураження, який би дозволив врахувати фугасну та уламкову дію авіаційних засобів ураження.

4. Матеріали та методи досліджень

Методи дослідження, що були застосовані, визначаються сукупністю вирішуваних завдань і включають методи узагальнення й порівняння, аналізу і синтезу, які використані для розроблення технології утилізації авіаційних бомб, способу визначення зон безпеки; методи математичного моделювання, які використані при розробленні аналітичних залежностей для визначення параметрів дії небезпечних факторів вибуху АЗУ.

5. Розроблення технології утилізації авіаційних бомб

Розроблення технологій розрядження авіаційних бомб має певну специфіку, яку слід обов'язково враховувати при проведенні робіт. Утилізація авіаційних бомб є роботою з підвищеною небезпекою, вимагає наявності висококваліфікованих фахівців, специфічного технологічного устаткування, виробничих і складських приміщень, що відповідають умовам вибухо-пожежобезпеки.

Міжнародний досвід утилізації боєприпасів показав, що максимальна економічна ефективність програм утилізації боєприпасів може бути досягнута тільки більш досконалою переробкою матеріалів і сировини одержаних при утилізації в продукцію і реалізації їх на комерційній основі, у тому числі і за кордоном, а також застосуванням єдиного наукового та методичного механізму, який би дозволив здійснювати підготовку та підтримку прийняття рішень у сфері утилізації [5].

З огляду на це пропонується технологія розрядження ОФАБ-250-270 способом розбирання на спеціалізованому майданчику (у цеху) об'єкта зберігання ракет і боєприпасів, або на спеціалізованому підприємстві. З економічної точки зору ОФАБ-250-270 недоцільно утилізувати способами підризу. Пропонується розрядження ОФАБ-250-270 за допомогою їх розбирання на елементи з використанням спеціального обладнання та інструменту.

Роботи з утилізації ОФАБ-250-270, шляхом їх розбирання на елементи за допомогою спеціального обладнання, доцільно виконувати в послідовності, що представлена у табл. 1.

Табл. 1. Перелік операцій під час розбирання ОФАБ-250-270

Операція	Зміст операції
№ 1	Подача закупування гратчастого типу із ОФАБ-250-270 з автомобілю до майданчику (цеху) та укладання на технологічний стіл (візок)
№ 2	Видалення 4-х стопорних вилок, відкриття замків та відкидання напівдна. Витягання вкладишів і парафінованого паперу. Вилучення ОФАБ-250-270 із закупування і подача їх на технологічний стіл
№ 3	Контроль закупування на повноту видалення АБ, вкладання вкладишів і парафінованого паперу у зборку, закривання порожнього закупування і передача їх на ділянку пакування елементів після розбирання АБ
№ 4	Видалення мастила з поверхні ОФАБ-250-270. Контроль АБ по партіям (номенклатурам) та придатність до розбирання на елементи. подача ОФАБ-250-270 до місця вигвинчування підризників
№ 5	Закріплення АБ у пристосуванні та вигвинчування підризників БРВ-2 із головної головки та донної головки ВДВ або холостих пробок. Укладання підризників (холостих пробок) у зборку та подача ОФАБ-250-270 на наступну операцію
№ 6	Закріплення ОФАБ-250-270 у пристосуванні та вигвинчування головної втулки із головки АБ. Вилучення із центральної труби (труби стакана головного) вкладишів картонних, детонатора головного (шашки із тону) і шайби під детонатор та укладання їх у зборку. подача АБ на наступну операцію
№ 7	Закріплення ОФАБ-250-270 у пристосуванні та вигвинчування стопорного гвинта і донної втулки із конуса АБ. Вилучення із центральної труби (труби стакана донного) вкладишів картонних, детонатора донного (3-х шашок із тетрилу у бязевому мішечку) і шайби під детонатор та укладання їх у зборку. подача АБ на наступну операцію
№ 8	Установка АБ у пристосування, нагрів корпусів АБ до 80–85 °С. Вилучення центральної труби (труби стакана головного і донного). подача корпусів АБ на наступну операцію

Продовження табл. 1.

№ 9	Збір вибухової речовини: нагрів корпусів АБ до 90–95 °С; вимивання струменем води ТНТ із корпусу; збір ТНТ у піддон. Подача корпусів АБ на наступну операцію
№ 10	Контроль корпусів ОФАБ-250-270 на повноту видалення ВР. При необхідності очистка корпусів АБ від залишків ВР
№ 11	Пакування підрильників БРВ-2, ВДВ та ВР у пристосовані ящики. Закривання, пломбування та маркування ящиків
№ 12	Пакування елементів АБ (металобрухту) у закупорювання гратчастого типу. Закривання, пломбування та маркування ящиків
№ 13	Контроль пакування елементів АБ у ящиках. Видача закупорювання з елементами із цеху до місця зберігання: на площадці цеху, запломбовані ящики з елементами ОФАБ-250-270, за допомогою траверси 9Т53.03.000 і електроталі (3,0 т), перевантажуються на автомобіль і завозяться у сховище
№ 14	Допоміжні операції: Різання паперу і просочення її парафіном. Сортування парафінованого паперу (б/в). Нарізання дроту для пломбування на шматки необхідної довжини. Виготовлення трафаретів і ярликів

Утилізація ОФАБ-250-270 способом розбирання на елементи представляє собою процес послідовного виконання відповідних операцій (див. табл. 1). До числа відповідальних операцій відносяться: контроль ОФАБ-250-270 на допустимість до розрядження; вилучення БРВ-2, ВДВ, ВР і детонатора; пакування ВР, підрильників та детонатора.

Процес утилізації можна представити у вигляді системи масового обслуговування, моделювання якої розглянуто у роботі [4].

6. Визначення зон безпеки під час утилізації авіаційних засобів ураження

Роботи з утилізації АЗУ відносяться до робіт з підвищеною небезпекою. Тому під час їх організації необхідно враховувати вимоги щодо захисту особового складу та техніки від наслідків надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути під час робіт на технологічному майданчику [5].

Найбільшу небезпеку у випадку виникнення надзвичайних ситуацій становить фугасна та уламкова дія АЗУ. Тому для визначення безпечних відстаней та вимог до розташування і обладнання технологічного майданчика необхідно визначити радіуси дії цих вражаючих факторів.

Ефективність фугасної дії АЗУ під час вибуху в повітрі (на поверхні землі) залежить від наступних величин: ΔP_1 – надлишковий тиск на фронті ударної хвилі; I_1 – питомий імпульс ударної хвилі.

Для розрахунків доцільно використовувати наступні залежності:

$$\Delta P_1 = 0,95 \frac{\sqrt[3]{m_a}}{R} + 3,9 \frac{\sqrt[3]{m_e^2}}{R^2} + 13 \frac{m_e}{R^3}, \quad (1)$$

$$I_1 = a \cdot \frac{\sqrt[3]{m_o^2}}{R}, \quad (2)$$

де m_e – маса вибухової речовини (ВР) авіабомби, яка еквівалентна масі тротилу, (кг);

R – відстань від центру вибуху (м); a – коефіцієнт, який залежить від типу ВР, відносної висоти заряду над поверхнею землі та відстані від центру вибуху $\left(\frac{H \cdot c}{\frac{2}{\text{кг}^3}} \right)$ (табл. 2); m_o – активна маса заряду, яка враховує масу заряду та масу активної оболонки.

Табл. 2. Значення коефіцієнту a для різних типів ВР при застосуванні на рівні землі

Тип ВР	$a, \left(\frac{H \cdot c}{\frac{2}{\text{кг}^3}} \right)$
Тротил ТНТ	200
ТТ-50/50	220
ТГАГ- 5, МС	250
ТТ-40/60, ТГ-20/80 (з активною оболонкою)	290

Маса m_e ВР, еквівалентна масі тротилу розраховується за формулою:

$$m_e = K_T \cdot m_{вр}, \quad (3)$$

де K_T – коефіцієнт, який залежить від властивостей ВР, значення якого приведені у табл. 3; $m_{вр}$ – маса ВР.

Табл. 3. Значення коефіцієнту K_o для різних типів ВР

Тип ВР	ТНТ	ТГА-16	ТГ-40	ОКФОЛ	ТОНА-1	МС, ТА – 77/23	ТГАФ- 5М, ТГАГ-5	ТОКАФ
Значення K_o	1,0	1,2	1,14	1,26	1,6	1,5	1,5	1,6

З урахуванням [6], наближено, але з достатньою для практики точністю, значення радіусу ураження цілі при повітряному (наземному) вибуху ФАБ, ОФАБ, можна розрахувати за формулою:

$$R_n \cong a \frac{\sqrt[3]{m_o^2}}{I^*}, \quad (4)$$

де I^* – значення питомого імпульсу сили, який залежить від типу цілі.

Радіус руйнування різних споруд фугасною дією вибуху в повітряному (наземному) середовищі знаходиться за формулою:

$$R = K_c \sqrt{m_e}, \quad (5)$$

де K_c – коефіцієнт, який залежить від типу споруди та ступеня руйнування.

Приблизна оцінка ступеню руйнування:

– у зоні сильних руйнувань величина питомого імпульсу ударної хвилі $I \approx 270 \text{ кгс/м}^2$; – у зоні середніх руйнувань величина питомого імпульсу ударної хвилі $I \approx 40 \text{ кгс/м}^2$; – у зоні слабких руйнувань величина питомого імпульсу ударної хвилі $I \approx 4 \text{ кгс/м}^2$;

Вражаюча дія на людину оцінюється за величиною надлишкового тиску на фронті ударної хвилі, при цьому радіус зони летального ураження людини розраховується за формулою:

$$R_d = 2,7\sqrt[3]{w}, \quad (6)$$

де w – маса ВР ($w > 300 \text{ кг}$).

Числові значення K_c можна отримати на основі даних приведених в табл. 4.

Межі однакових рівнів руйнувань доцільно визначати апроксимованою залежністю:

$$R = \frac{K \cdot C_T^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{C_T}\right)^2\right]^{1/6}}, \quad (7)$$

де C_T – тротильовий еквівалент; K – коефіцієнт, який визначає ступінь руйнування споруди: $K = 3,8$ – повне руйнування (100%); $K = 5,6$ – 50% споруди зруйновані; $K = 28$ – помірні руйнування (пошкодження внутрішніх не капітальних стін); $K = 56$ – незначні пошкодження споруди, розбито 10% віконного скла.

Табл. 4. Значення коефіцієнту K_c для різних типів матеріалів споруд

№	Тип цілі	$K_c, \text{ м/кг}^{1/2}$	Ступінь руйнування
1	Цеглова кладка	$\frac{0,4}{\sqrt{b}}$	сильні
2	Бетонна стіна	$\frac{0,4}{\sqrt{b}}$	
3	Залізобетонна стіна	$\frac{0,4}{\sqrt{b}}$	
4	Покрівля, переборки дверей	2,8	середні
5	Інші малотримкі елементи споруд	30	слабкі

Примітка: b – товщина стіни, м.

Ця залежність використовується для розрахунку ступеню руйнувань будівель, а також забезпечує зв'язок ступеня руйнування з масою ВР та відстанню від центру вибуху.

Ефективність уламкової дії авіаційних бомб (АБ) суттєво залежить від їх положення на момент вибуху.

При горизонтальному положенні АБ в ефективність уламкової дії знижується і складає 10–15% від дії при вертикальному положенні.

При вибуху АБ на глибині, яка дорівнює половині довжини корпусу, ефективність уламкової дії знижується в 2 рази, а при заглибленні, яке дорівнює довжині корпусу, приблизно в 3 рази.

При вибухах АБ з конденсованими ВР (характерна для ФАБ) звичайно виникають дуже малі уламки ($M \leq 1\text{г}$) з формою, яка погано обтікається, початкова швидкість яких складає декілька кілометрів за секунду.

Корпус фугасних АБ виготовляється з листової сталі різної товщини, марки 25–35. Характер дроблення суттєво залежить від фізико-механічних властивостей металу оболонки заряду АБ і в першу чергу від його в'язкості. Більш в'язкий метал дає більш крупні уламки при дробленні, тобто середня вага уламка збільшується.

Для корпусу АБ зі сталі 10% його ваги йде на створення уламків вагою до 1 г, які відносять до втрат металу. При цьому середня вага уламка для АБ типу ФАБ складає 5,5 г. При організованому дробленні корпусів ОФАБ створюються уламки вагою 10–20 г.

Швидкість уламків в момент зустрічі з перешкодою суттєво залежить від їх початкової швидкості. У практичних розрахунках доцільно приймати, що усі уламки мають однакову початкову швидкість V_0 , яка розраховується за формулою:

$$V_0 = a_0 \cdot \sqrt{\eta}, \quad (8)$$

де a_0 – коефіцієнт, який залежить від властивостей ВР; η – коефіцієнт наповнення АБ.

Значення a_0 та V_0 приведені в таблиці 5.

Табл. 5. Значення коефіцієнтів a_0 та V_0 для різних авіаційних бомб

I. Фугасні авіабомби							
№ з/п	Тип авіабомби	Загальна маса АБ, кг	Маса ВР, кг	Тип ВР	Коефіцієнт заповнення	Початкова швидкість уламка V_0 , м/с	Коефіцієнт a_0
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ФАБ-250М-54	236	97	ТНТ	0,41	1600	2500
2	ФАБ-250М-62	230	99	МС	0,43	2450	3750
3	ФАБ-250М-62Т	230	99	ТОНА-1	0,43	2620	4000
4	ФАБ-250ТС	259	61	ТНТ	0,23	1199	2500
5	ФАБ-500М-54	478	199	ТНТ	0,42	1620	2500
6	ФАБ-500М-62	500	213	МС	0,43	2460	3750
7	ФАБ-500М-62М	500	213	МС	0,43	2460	3750
8	ФАБ-500М-62Т	500	213	ТНТ	0,41	1620	2500
9	ФАБ-500ТС	507	101	ТНТ	0,2	1118	2500
10	ФАБ-500Т	500	213	ТОКАФ	0,43	2623	4000
11	ФАБ-500ТА	510	187	НТА	0,37	2433	3300
12	ФАБ-500ТС-М	520	82	ТА-77/23	0,16	1600	4000
13	ФАБ-500Ш	515	227	ТГАФ-5М	0,44	2487	3750
14	ФАБ-500ШН	518	216	ТГАФ-5М	0,42	2430	3750

Продовження табл. 5

15	ОФАБ-250-270	266	97	ТНТ	0,36	1500	2500
16	ОФАБ-250Т	230	98,6	ТОКАФ	0,43	2624	4000
17	ОФАБ-250Ш	270	98	ТГ-20	0,28	1990	2850
18	ОФАБ-250ШН	275	93,5	ТГАФ-5М	0,36	2250	3750
19	ОФАБ-250ШР	247	28; 31	ТГ-24Ф	0,24	1470	2850
20	ОФАБ-500ШР	500	55; 35; 36	ТГ-24Ф	0,25	1500	2850

Діапазони швидкостей для АБ різного типу дорівнюють: $V_0 \cong 500 - 1200$ м/с – для скалкових АБ; $V_0 \cong 1500 - 2600$ м/с – для ОФАБ; $V_0 \cong 1200 - 2600$ м/с – для ФАБ.

При регулярному дробленні оболонки, уламки будуть мати компакту форму (кулька, куб), що дозволяє не враховувати імовірність ураження цілі від маси та швидкості уламка, який влучає в ціль.

Імовірність пробивної дії уламку від параметра E_h складає:

$$P(E_h) = 0 \text{ при } E_h < E_h^*; P(E_h) = 1 \text{ при } E_h \geq E_h^*, \quad (9)$$

де E_h – питома енергія уламка, яка віднесена до товщини дюралевого еквіваленту; E_h^* – критична питома енергія, яка необхідна для пробиття.

Під час проведення розрахунків значення E_h^* необхідно брати: $E_h^* = 10^9$ Дж/м³, що відповідає значенню $P(E_h^*) = 0,5$.

Значення E_h^* для різних матеріалів перешкоди та швидкості зустрічі з перешкодою представлені нижче:

$$E_h^* = 1,2 \cdot 10^9 - \text{дюраль}; 0 < V_k < 2000 \text{ м/с};$$

$$E_h^* = 2,25 \cdot 10^9 - \text{броня}; 0 < V_k < 2000 \text{ м/с};$$

$$E_h^* = 2,05 \cdot 10^9 - \text{сталь}; 0 < V_k < 800 \text{ м/с};$$

$$E_h^* = 2,25 \cdot 10^9 - \text{сталь}; 800 < V_k < 2000 \text{ м/с}.$$

Значення E_h розраховується за формулою:

$$E_h = \frac{q^{\frac{1}{3}} \cdot V^2}{2h \cdot \Phi^*}, \quad (10)$$

де q – маса уламка, кг; V – швидкість уламка, м/с; h – товщина дюралевого еквіваленту, м; Φ^* – параметр форми уламка м²/кг^{2/3}.

Для уламків у формі куба ($C_x^* = 1,1$):

$$\Phi^* = \frac{1,5}{\rho_0^{\frac{2}{3}}}. \quad (11)$$

Для уламків у вигляді кулі ($C_x^* = 1,0$):

$$\Phi^* = \sqrt[3]{\frac{9\pi}{16\rho_0^2}}, \quad (12)$$

де ρ_0 – щільність матеріалу уламка. Для розрахунків беремо сталь з $\rho_0 = 7850 \text{ кг/м}^3$;

$\Phi^* = 0,00305 \text{ м}^2/\text{кг}^{2/3}$ – сталевая куля; $\Phi^* = 0,00380 \text{ м}^2/\text{кг}^{2/3}$ – сталевий куб, паралелепіпед.

Для уламків, які виготовлені з інших матеріалів необхідно Φ^* помножити на $\left(\frac{\rho_{\text{стали}}}{\rho_{\text{матеріалу}}}\right)^{2/3}$.

З умови $E_h < E_h^*$ знаходимо швидкість V_{50}^* , яку повинен мати уламок, щоб пробити перешкоду товщиною h .

$$V_{50}^* = \sqrt{\frac{2h \cdot \Phi^* \cdot E_h^*}{q^{1/3}}}. \quad (13)$$

Вираз (13) – це порогова швидкість пробиття перешкоди, яка знаходиться як швидкість уламка, при якій імовірність наскрізного пробиття складає 50% [7].

Якщо знаємо закон зміни швидкості уламка на траєкторії, який визначається по формулі:

$$V = V_0 \cdot e^{-C_H \cdot R}, \quad (14)$$

то можна знайти відстань R_m , на якій швидкість уламка буде дорівнювати V_{50}^* , що достатня для пробиття перешкоди.

$$R_m = \frac{1}{C_H} \ln \frac{V_0}{V_{50}^*}, \quad (15)$$

де V_0 – початкова швидкість (табл. 5); C_H – приведений балістичний коефіцієнт уламка.

$$C_H = \frac{C_x^* \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \Phi^*}{2q^{1/3}}, \quad (16)$$

де $\rho_{\text{п}}$ – щільність повітря ($\rho_{\text{п}} = 1,225 \text{ кг/м}^3$ при $\dot{I} = 0$).

Значення C_H для уламків різної маси приведені в табл. 6.

Табл. 6. Значення C_H для уламків різної маси

Маса уламка, г	2	5	10	50	100	200	300	400	500
C_H	0,019	0,014	0,011	0,0067	0,0053	0,0042	0,0038	0,0033	0,0031

Для людини:

$$V_{50}^* \approx \frac{A}{M}, \quad (17)$$

де A – міделевий переріз уламка; M – маса уламка.

Для уламків кубічної, циліндричної та сферичної форм масою до 15 г, що вражають людину поза укриттям:

$$V_{50}^* = 1247,1 \cdot \left(\frac{A}{M} \right) + 22,03. \quad (18)$$

Порогова швидкість V_{50}^* лінійно залежить від A/M , а саме при $A/M < 0,09$ м²/кг та $M < 0,015$ кг приведена в табл. 7.

Табл. 7. Значення порогової швидкості від відношення A/M

№ з/п	A/M , м ² /кг	V_{50}^* , м/с
1	0,01	34,5
2	0,09	134,5

Для визначення наслідків вражаючої дії уламків на людину можна використувати графік, представлений на рис. 1.

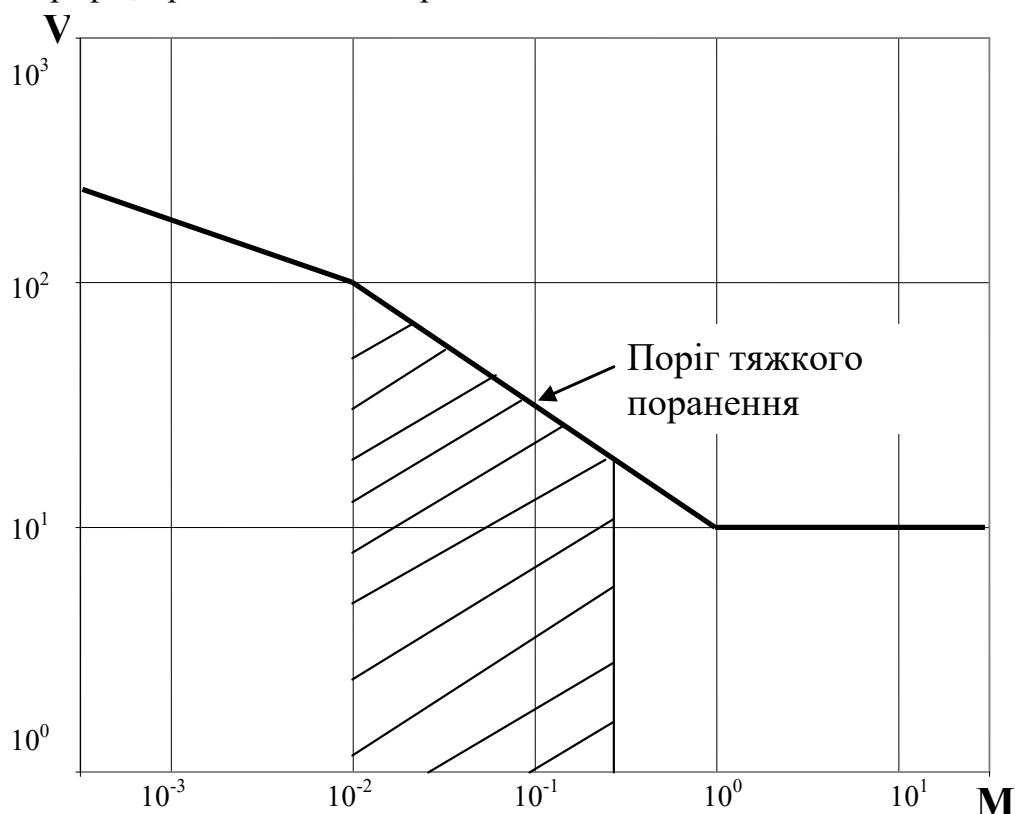


Рис. 1. Вражаюча дія уламків на людину в залежності від їх швидкості та маси

Результати розрахунків, які показують залежність ступеню руйнування будівель від маси вибухової речовини та відстані від центру вибуху представлені в табл. 8.

Табл. 8. Межі однакових рівнів руйнувань

Маса тротилового еквіваленту заряду, W_t , кг	R, м при K				
	3,8	5,6	9,6	28	56
5000	61,2	90,3	154,8	452,0	903,0

Ступінь небезпечності уламкової дії можна оцінити тільки за результатами вивчення наслідків зіткнення уламка з мішенню.

Наближені максимальні радіуси розльоту уламків боєприпасів при підриві їх на поверхні землі ($H = 0$) приведені в табл. 9.

Табл. 9. Наближені максимальні радіуси розльоту уламків боєприпасів при підриві їх на поверхні землі

№ з/п	Тип боєприпасу	Наближений максимальний радіус розльоту, м
	ФАБ – 500	1200
	ФАБ – 500ШН	940
	ФАБ – 250	1100
	ОФАБ – 250	1200
	ОФАБ – 100	1100
	АО – 10СЧ	490
	АО – 2,5РТ	380
	ПТАБ – 2,5	390
	НАР типу С-8	350
	НАР типу С-5	250
	Снаряди калібру 23-30 мм	200
	ЗАБ – 250 – 270	100
	ДАБ – 100 – 90ФМ	15

Радіуси руйнувань та летального ураження людини для сумарної маси ВР для відкритого майданчика представлені в табл. 10.

Табл. 10. Радіуси руйнувань та летального ураження людини

Сумарна маса ВР, кг	Радіус руйнування споруд, м					Радіус летального ураження, м
	Цеглова кладка (0,5-1,2) м	Бетонна стіна (0,35-1) м	ЗБ стіна (0,3-1,5) м	Покрівля, перегородки	Віконне скло	
5000	26-40	41-70	10-21	197	2121	45

Радіуси руйнувань споруд та конструкцій для сумарної маси ВР представлені в табл. 11.

Табл. 11. Радіуси руйнувань споруд та конструкцій

Сумарна маса ВР, кг	Радіус руйнування споруд, м				
	Цегляний будинок	Бетонний будинок	Залізобетонний будинок	Покрівля, перегородки	Віконне скло
5000	28	43	12	100	186



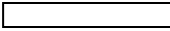
Розрахункові зони ураження незахищеної людини надлишковим тиском представлені в таблиці 12. Розрахункові зони руйнувань житлових будівель та різноманітних споруд представлені в табл. 13.

Табл. 12. Значення надлишкового тиску на фронті ударної хвилі на різних відстанях від центру вибуху

Маса тротилового еквіваленту заряду, m_e	Відстань від центру вибуху R, м										
	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Значення надлишкового тиску на фронті ударної хвилі ΔP , атм										
5000	140,5	0,6	0,2	0,1	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,035	0,03

Табл. 13. Значення питомого імпульсу на різних відстанях від центру вибуху

Маса тротилового еквіваленту заряду, m_e	Відстань від центру вибуху R, м										
	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Значення питомого імпульсу I, Па·с										
5000	5848,0	584,8	292,4	194,9	146,2	117,0	97,5	83,5	73,1	65,0	58,5

-  – зона сильних пошкоджень
-  – зона середніх пошкоджень
-  – зона слабких пошкоджень

Для визначення радіуса ураження людини доцільно вибрати в якості швидкості $V_{50} = 130$ м/с, при $M = 15$ г. Ці параметри уламка підтверджуються значеннями його убійної енергії, які приведені в попередніх дослідженнях, де значення убійної енергії уламка для людини складає 8–10 кгм.

Радіус ураження людини R_m в залежності від M , V_0 , C_H приведені в табл. 14.

Табл. 14. Радіус ураження людини R_m в залежності від M , V_0 , C_H

V_0 , м/с	M , г	V_{50} , м/с	C_H	R_m , м
1200	5	200	0,014	128
	10	140	0,011	195
	50	60	0,0067	447
	100	44	0,0053	624
	200	32	0,0042	863
	500	20	0,0031	1320

Продовження табл. 14

2600	5	200	0,014	183
	10	140	0,011	266
	50	60	0,0067	562
	100	44	0,0053	769
	200	32	0,0042	1047
	500	20	0,0031	1570

В якості маркера для аналізу та обговорення розглянемо результати розрахунку дії осколків на сталеву пластину товщиною 1 см (вихідні дані: $E_h^* = 2,25 \cdot 10^9$ Дж/кг, $h = 1$ см, $800 < V_k < 2000$ м/с, $q = 5$ г). Радіуси пробиття сталеві пластина в залежності від m , V_0 , C_H приведені в табл. 15.

Табл. 15. Радіуси пробиття сталеві пластина товщиною в 1 см в залежності від m , V_0 , C_H

V_0 , м/с	m , г	V_{50}^* , м/с	C_H	R_m , м
1200	5	5848	0,014	–
	10	4135	0,011	–
	50	3420	0,0067	–
	100	1308	0,0053	–
	200	925	0,0042	62
	500	585	0,0031	232
2600	5	5848	0,014	–
	10	4135	0,011	–
	50	3420	0,0067	–
	100	1308	0,0053	130
	200	925	0,0042	246
	500	585	0,0031	481

При відомих параметрах уламка значення граничної швидкості пробиття V_{50}^* можливо визначити з допомогою залежностей, що приведені на графіку (рис. 2).

Залежність безрозмірної граничної швидкості наскрізного пробиття від безрозмірної товщини перешкоди показана на графіку безперервною лінією. Ця залежність характеризується деяким розкидом (штрихова лінія), яка визначається міцністю матеріалу уламка. Чим менша міцність уламка, тим більшим буде значення V_{50}^* .

Необхідно зауважити, якщо уламок має довільну форму (куб, паралелепіпед), то значення a визначається з наступного співвідношення:

$$a = \left(\frac{3m_{\text{ул}}}{4\rho_{\text{ул}}} \right)^{1/3}, \quad (19)$$

де $m_{\text{ул}}$ – маса уламка; $\rho_{\text{ул}}$ – щільність матеріалу уламка.

Гранична швидкість наскрізного пробивання перешкоди V_{50}^* при косому зіткненні мінімальна, коли кут між вектором швидкості уламка та нормалі до поверхні перешкоди складає 30° . Зміна цього кута в межах від 0° до 30° приводить до зменшення швидкості пробивання на 20 %, тому у випадку косоного удару уламка

по перешкоді граничну швидкість пробивання, визначену за допомогою графіка, слід помножити на 0,8.

Для розрахунку щільності потоку уламків на одиницю поверхні небезпечних для людини, доцільно використовувати значення кількості уламків, які рухаються у повітрі після вибуху фугасних та уламково-фугасних авіаційних бомб, які представлені в табл. 16.

У табл. 17 представлені данні щодо щільності потоку небезпечних для людини уламків на одиницю поверхні.

$$\frac{\rho_{ул} V_{50}^*}{\sqrt{\sigma_t \rho_t}}$$

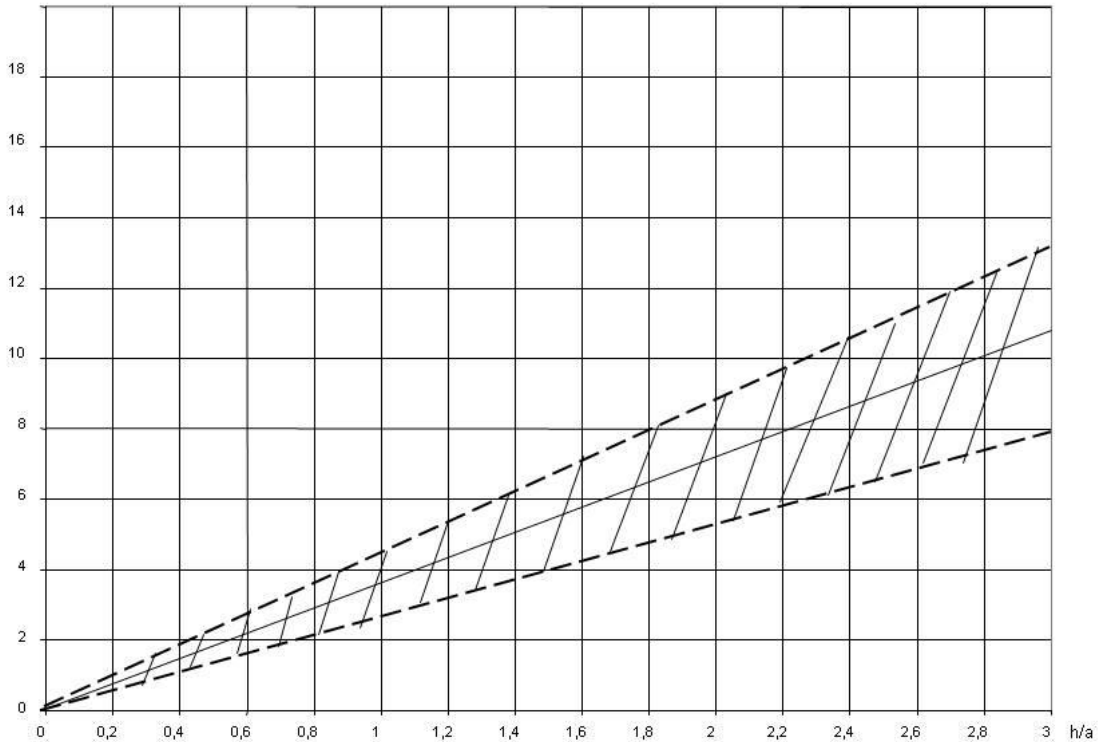


Рис. 2. Графік залежності безрозмірної граничної швидкості наскрізного пробиття від безрозмірної товщини перешкоди: a – радіус уламка; h – товщина перешкоди; V_{50}^* – гранична швидкість пробиття перешкоди; $\rho_{ул}$ – щільність матеріалу уламка; ρ_t – щільність матеріалу перешкоди; σ_t – межа текучості матеріалу перешкоди; $\frac{\rho_{ул} V_{50}^*}{\sqrt{\sigma_t \rho_t}}$ – безрозмірна швидкість уламка; h/a – відносна товщина перешкоди

Табл. 16. Кількість уламків, які рухаються у повітрі після вибуху фугасних та уламково-фугасних авіаційних бомб

Маса тротилового еквіваленту заряду, m_e	Значення середнього коефіцієнту наповнення авіаційних бомб								
	0,2			0,25			0,3		
	Кількість уламків n масою								
	1-9 г	10-99 г	100-500 г	1-9 г	10-99 г	100-500 г	1-9 г	10-99 г	100-500 г
5000	10^6	20000 0	10^4	75000 0	150000	7500	58333 3	11666 7	5833

Продовження табл. 16

Маса тротилового еквіваленту заряду, м	Значення середнього коефіцієнту наповнення авіаційних бомб								
	0,35			0,4			0,45		
	Кількість уламків п масою								
	1–9 г	10–99 г	100–500 г	1–9 г	10–99 г	100–500 г	1–9 г	10–99 г	100–500 г
5000	464286	92857	4643	375000	75000	3750	305556	61111	3056

Табл. 17. Щільність потоку небезпечних для некривитої людини уламків на одиницю поверхні

Маса тротилового еквіваленту заряду, m _e	Кількість уламків на м ²		
	масою 1–9 г на площу з радіусом 200 м	масою 10–99 г на площу з радіусом 270 м	масою 100–500 г на площу з радіусом 770 м
5000	3,70	0,41	0,002

З урахуванням того, здійснення натурного експерименту дослідження процесу дії вражаючих факторів вибуху АЗУ є дуже складним або в принципі неможливим, то з метою перевірки адекватності розрахунків доцільно розглянути методи комп'ютерного моделювання [6, 8–10]. Серед розглянутих методів цікавим є метод картографування з використанням програмного забезпечення EUROPLEXUS [8, 9]. З нашої точки зору, даний метод імітації розвитку вибухових хвиль є більш ефективним, так як дозволяє будувати одновимірне, 2D, 3D зображення.

7. Обговорення результатів розрахунку параметрів вражаючої дії авіаційних засобів ураження

Отримані результати є спробою удосконалити національну систему утилізації боєприпасів шляхом впровадження нової технології утилізації АЗУ та обґрунтування ефективних організаційних рішень щодо забезпечення безпечних умов організації робіт, а саме визначення зон безпеки для проведення робіт.

Під час проведення розрахунків радіусів вражаючої дії враховувалися наступні допущення: сумарний тротиловий еквівалент АЗУ, які знаходяться на майданчику утилізації АЗУ не перевищує 5000 кг; працівники та технічні засоби можуть знаходитись в різних типах споруд з різних матеріалів (цегла, бетон, залізобетон і т.п.).

Уламки, які утворюються при фрагментації оболонки авіабомби називаються первинними. Вибухова хвиля, що виникає у разі потужного вибуху може здійснювати руйнівну дію на об'єкти, що знаходяться поблизу джерела вибуху – зривати їх з місця зі швидкістю, яка спроможна зробити вторинні руйнування. Такі об'єкти та предмети називаються вторинними уламками. Їх вплив на розрахунки не враховувався.

Для приблизного оцінювання ступеню ураження об'єктів використані узагальнені емпіричні дані (у тому числі результати науково-дослідної роботи «Варіант» (2008 р.) Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба), відповідні закони ураження, які представляються у вигляді залежності ймовірності ураження від параметрів, що характеризують вплив – надлишковий тиск на фронті ударної хвилі; питомий імпульс ударної хвилі. Так як надлишковий тиск та питомий імпульс є функціями маси енергоносія (ВР) та відстані до центра вибуху, то від параметричного закону ураження досить легко перейти до координа-

тного закону ураження. Перехід від розрахунків за формулою (7) до графічного зображення здійснюється за допомогою співвідношень, які пов'язують параметри вибухової хвилі з величинами R і C_T .

Розрахунок радіусу руйнувань з урахуванням ослаблення ударної хвилі АЗУ обвалуванням, доцільно проводити за допомогою формули (4). Слід відзначити, що питомий імпульс, який формується в цьому випадку розподіляється на дві складові: 1 – питомий імпульс для руйнування сховища; 2 – імпульс на руйнування прилеглих споруд. Проаналізувавши будівельні матеріали та типи капітальних споруд для отримання експрес оцінки радіусу руйнування споруд, значення питомого імпульсу складає $I = 270$ кгс/м², а для навісів $I = 40$ кгс/м².

Крім того, під час розрахунків врахована можливість ураження об'єктів (людей) від дії уламків, що розлітаються. Аналіз результатів розрахунків дає підстави стверджувати:

- уламки від вибуху ФАБ та ОФАБ калібру 250, 500 кг масою 5–50 г не пробивають сталеву пластину товщиною 1 см;
- уламки від вибуху ФАБ та ОФАБ калібру 250, 500 кг масою 100–500 г можуть пробити сталеву пластину товщиною 1 см на віддаленні 62–500 м від місця вибуху;
- для грубої оцінки ефективності залізобетонних плит в якості захисту від сталевих уламків можна виходити з того, що сталеву пластину товщиною 1 см є еквівалентом по міцності залізобетонній плиті товщиною 9 см.

Запропонований спосіб визначення зон безпеки реалізує методики, що ґрунтуються на тротиловому еквіваленті і може використовуватись для консервативної оцінки необхідної для експрес-аналізу стійкості об'єктів за умови їх розміщення в середніх і дальніх зонах від джерела вибуху.

Результати дослідження можуть бути реалізовані відповідними органами державного нагляду в процесі проведення експертизи утилізації боеприпасів і вибухівки під час здійснення заходів контролю, погодження нормативних та інших документів з питань утилізації.

8. Висновки

1. Розроблено технологію утилізації авіаційних бомб способом розбирання на елементи, яка дозволяє раціонально вилучати усі необхідні матеріали. Процес утилізації можна представити у вигляді одно каналної системи масового обслуговування з обмеженою чергою, що дозволяє із застосуванням методів дослідження операцій обґрунтувати ефективність організаційних рішень щодо впровадження відповідної технології утилізації.

Відповідна технологія дозволяє отримати (із розрахунку розряджання 100 одиниць): брухту чорних металів – 16,9 т; вибухової речовини (ТНТ) – 9,7 т; радіо підричників БРВ-2 – 100 шт. та донних підричників ВДВ – 100 шт. Орієнтовна вартість отриманих матеріалів при їх реалізації складає до 300 тис. грн.

2. Розроблено спосіб визначення зон безпеки при утилізації авіаційних засобів ураження, який дозволяє врахувати фугасну та уламкову дію авіаційних засобів ураження. Розрахунки параметрів вражаючої дії авіаційних засобів ураження дає підстави стверджувати, що обвалування промислових майданчиків утилізації значно зменшує вражаючі фактори. Так висота обвалування 2–2,5 м дозволяє зменшити ефективність уламкової дії в 15–20 разів та ефективність фугасної дії у 1,5–2 рази.

Доцільна відстань розміщення майданчику утилізації авіаційних засобів ураження від інших об'єктів, з урахуванням радіусів розльоту уламків, повинна

становити не менше ніж 250 м. Ця відстань дорівнює середньому значенню радіусу ураження незахищеної людини уламками масою 10–20 г.

Накопичення значної кількості авіаційних засобів ураження на майданчику утилізації збільшує радіуси руйнувань споруд, а також значно збільшує імовірність ураження персоналу об'єкта. Тому доцільно проводити роботи з утилізації авіаційних засобів ураження, сумарний тротиловий еквівалент яких не перевищуватиме 5000 кг.

Запропонований спосіб може бути використаний під час обґрунтування висновків експертизи процесів утилізації як авіаційних засобів ураження так і інших боєприпасів, а також під час ідентифікації небезпек і розроблення заходів для підвищення рівня безпеки відповідних процесів.

Література

1. Ferreira C., Ribeiro J., Clift R., Freire F. A Circular Economy Approach to Military Munitions: Valorization of Energetic Material from Ammunition Disposal through Incorporation in Civil Explosives. *Sustainability*. 2019. 11(1). P. 1–14. doi: 10.3390/su11010255

2. Liu H. Wang Y., Zhu H. The technology method research of scrap ammunition destruction. 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015). Atlantis Press. 2015. P. 201–205. doi:10.2991/icmeis-15.2015.39

3. Structural and functional simulation of interaction in the field of aviation safety by using matrices / Drobakha Hr. and others. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2019. V. 95. Is. 2. P. 67–76. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/9000>

4. Неклонський І. М., Смирнов О. М. Математична модель процесу утилізації тактичних ракет 9М21. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2020. № 1(31). С. 211–225. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11794>

5. International ammunition technical guideline IATG 10.10:2015 [E]. Demilitarization and destruction of conventional ammunition. UN ODA. 2015. 40 p. URL: <https://s3.amazonaws.com/unoda-web/wp-content/uploads/2019/05/IATG-10.10-Demilitarization-and-Destruction-V.2.pdf>

6. Karlos V., Solomos G. Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2013. 58 p. doi:10.2788/61866

7. Solomos G., Larcher M., Valsamos G., Karlos V., Casadei F. A survey of computational models for blast induced human injuries for security and defence applications : JRC Technical Reports. Ispra : European Commission. 2020. 48 p. doi:10.2760/685

8. Valsamos G., Casadei F., Larcher M., Solomos G. Implementation of Flying Debris Fatal Risk Calculation in EUROPLEXUS. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2015. 36 p. doi:10.2788/058640

9. Larcher M., Casadei F., Solomos G. Simulation of blast waves by using mapping technology in EUROPLEXUS. Publications Office of the European Union. 2014. 38 p. doi: 10.2788/98310

10. Costin N. S. The explosive atmosphere conditions required to carry out an improvised explosive device and numerical simulation of detonation. *Revista Academiei Fortelor Terestre*. 2014. 1(73). P. 132–137. URL: https://www.armyacademy.ro/reviste/rev1_2014/NICULAE.pdf

I. Neklonskyi, PhD, Lecturer of the Department
O. Smyrnov, Senior Lecturer of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

METHOD OF DETERMINATION OF SAFETY ZONES WHEN DISPOSAL OF AVIATION DEVICES

The necessity of development of highly effective technology of aviation bombs utilization and a way of definition of safety zones at utilization of the corresponding aircraft means of destruction is proved. To solve this problem, it was used a systematic approach, in which scientific methods of generalization and comparison, analysis and synthesis, methods of mathematical modeling are used. To substantiate effective solutions to ensure safe conditions for the organization of work, a method for determining safety zones for the disposal of aircraft damage has been proposed. The method allows to take into account the high-explosive and fragmentation action of aircraft means of destruction during their detonation. To estimate the degree of damage to objects, generalized empirical data corresponding to the laws of damage are used, which are presented as the dependence of the probability of damage on the parameters characterizing the effect, – overpressure at the shock wave front, specific shock wave pulse. The statement that overpressure and specific impulse are functions of the mass of the energy carrier (explosive) and the distance to the center of the explosion is practically realized. This allows us to move from the parametric law of defeat to the coordinate law of defeat. The transition from calculations to a graphic image is carried out using relations that relate the parameters of the blast wave with the values of distance and TNT equivalent. The calculations take into account the possibility of damage to objects (people) from the action of flying debris. For this purpose the law of a fragment on a trajectory speed change is used. Based on the calculations of the parameters of action zones of dangerous factors of aviation bombs explosion, the corresponding conclusions were made regarding the characteristics of the safety zones during the disposal of aircraft damage. The proposed method for determining safety zones implements a mathematical apparatus that allows to relate the energy to TNT equivalent, and can be used as a conservative estimate for rapid analysis of the stability of objects, provided they are located in the middle and far zones from the source of the explosion.

Keywords: aerial bombs, disposal technology, radius of destruction, fragment flow density

References

1. Ferreira, C., Ribeiro, J., Clift, R., & Freire, F. (2019). A Circular Economy Approach to Military Munitions: Valorization of Energetic Material from Ammunition Disposal through Incorporation in Civil Explosives. *Sustainability*, 11(1), 1–14. doi: 10.3390/su11010255
2. Liu, H. Wang, Y., Zhu, H. (2015). The technology method research of scrap ammunition destruction, 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015). Atlantis Press, 201–205. doi:10.2991/icmeis-15.2015.39
3. Drobakha, Hr., Neklonskyi, I., Kateshchenok, A., Sobyina, V., Taraduda, D., Borysova, L., & Lysachenko, I. (2019). Structural and functional simulation of interaction in the field of aviation safety by using matrices. *Archives of Materials Science and Engineering*, 95, 2, 67–76. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/9000>
4. Neklonskyi, I. M., Smyrnov, O. M. (2020). Matematychna model protsesu utylizatsii taktychnykh raket 9M21. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 1(31), 211–225. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11794>
5. United Nations Office for Disarmament Affairs. (2015). International ammunition technical guideline IATG 10.10:2015 [E]. Demilitarization and destruction of conventional ammunition. New York: USA. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/unoda-web/wp-content/uploads/2019/05/IATG-10.10-Demilitarization-and-Destruction-V.2.pdf>

6. Karlos, V., & Solomos, G. (2013). Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2788/61866

7. Solomos, G., Larcher, M., Valsamos, G., Karlos, V., & Casadei, F. (2020). A survey of computational models for blast induced human injuries for security and defence applications : JRC Technical Reports. Ispra: European Commission. doi: 10.2760/685

8. Valsamos, G., Casadei, F., Larcher, M., & Solomos, G. (2015). Implementation of Flying Debris Fatal Risk Calculation in EUROPLEXUS. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2788/058640

9. Larcher, M., Casadei F., & Solomos, G. (2014). Simulation of blast waves by using mapping technology in EUROPLEXUS. Publications Office of the European Union. doi: 10.2788/98310

10. Costin, N. S. (2014). The explosive atmosphere conditions required to carry out an improvised explosive device and numerical simulation of detonation. *Revista Academiei Fortelor Terestre*, 1(73), 132–137. Retrieved from https://www.armyacademy.ro/reviste/rev1_2014/NICULAE.pdf

Надійшла до редколегії: 11.03.2021

Прийнята до друку: 15.04.2021