

УДК 622.235.22:622.272 (477.63)

І. О. Толкунов, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-5129-3120)

Г. В. Іванець, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-4906-5265)

І. І. Попов, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-4705-4404)

О. М. Смирнов, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-1237-8700)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДЛЯ РУЙНУВАННЯ АВАРІЙНИХ БУДІВЕЛЬ

Проведено порівняльний аналіз існуючих методик визначення кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин, що використовуються для обґрунтування рішень, що приймаються керівниками піротехнічних підрозділів ОРС ЦЗ ДСНС для обрушення аварійних будівель і споруд, непридатних для подальшої експлуатації. На підставі проведеного аналізу удосконалено методику розрахунку масо-габаритних показників зарядів вибухових речовин для обвалювання аварійних будівель та споруд, що полягало в урахуванні як конструктивних показників зарядів вибухових речовин, так і якісних характеристик самих вибухових речовин, що використовуються піротехнічними підрозділами. В аналітичних залежностях існуючих методик враховано величину коефіцієнту зниження потужності заряду вибухової речовини, що дозволяє з більшою точністю визначати кількісні показники зарядів вибухових речовин та гарантовано виконувати поставлені піротехнічному підрозділу завдання, що в свою чергу знижує небезпечні та непередбачувані наслідки для персоналу підрозділів та оточуючого середовища. Результати досліджень та запропоновані удосконалення було підтверджено в ході практичного виконання завдання щодо руйнування реальної цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль, яка була зруйнована вибуховим способом у 2020 році силами та засобами групи піротехнічних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення ГУ ДСНС України у Тернопільській області. Це дозволило розробити рекомендації для підвищення ефективності робіт щодо обрушення аварійної будівлі або споруди, непридатної для подальшого використання, вибуховим способом, які полягають у врахуванні особливостей та важливості завдання, що вирішується піротехнічним підрозділом, конструктивних характеристик зарядів вибухових речовин та їх просторового розміщення, а також якісних характеристик самих речовин.

Ключові слова: вибухова речовина, вибуховий спосіб руйнування аварійних будівель, буро-ртова тротилова шашка

1. Вступ

Надмірне техногенне навантаження на оточуюче природне середовище, що створило людство за часи свого існування, породило безліч проблем, які, в свою чергу, провокують виникнення різноманітних надзвичайних ситуацій та подій, що призводять до великих матеріальних збитків, порушення нормальних умов життєдіяльності та загибелі і травмування людей.

Серед багатьох загроз природного, техногенного, соціально-економічного та політичного характеру в Україні існує ще одна значна загроза – в різних галузях економіки, основних галузях промисловості та в житловому фонді експлуатується понад 35 млн. тон несучих металевих конструкцій і понад 259 млн. м³ залізобетонних, цегляних та інших будівельних конструкцій, які мають сильне фізичне зношення. Такий стан з будівлями і спорудами, які введені в експлуатацію не тільки в 50–80 роках минулого століття, а й за останні 10–20 років. Під впливом усіх цих факторів та багатьох інших причин ми спостерігаємо аварії на будівлях та спорудах, їх обрушення та непридатність для подальшої експлуатації.

Одним із методів попередження раптового та неконтрольованого руйнування будівель і споруд, що знаходяться в аварійному стані, а, отже, і запобігання

можливим надзвичайним ситуаціям, є завчасне їх руйнування в умовах, коли створюється гарантована безпека для населення та інших об'єктів під час руйнування аварійної конструкції. Проведення цих заходів забезпечує безпеку і попередження нещасних випадків при веденні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт [1, 2].

Демонтаж або знесення аварійних будівель і споруд може проводитися різними методами: з використанням будівельних машин, механізмів та обладнання, а якщо під час проведення робіт існує реальна загроза травмування людей, пошкодження будівельного та іншого обладнання, тоді із використанням енергії вибуху. Вибуховий спосіб руйнування являється найбільш ефективним і часто єдино можливим, але разом з тим, цей спосіб є особливо небезпечним і вимагає суворого дотримання встановлених технічних умов та заходів безпеки [3, 4].

Проблема руйнування аварійних будівель та споруд, що загрожують обвалом, актуальна сьогодні як за кордоном, так і на території нашої держави. Актуальність її не знизиться і в майбутньому, а на даному періоду розвитку суспільства, вона потребує ретельного вивчення, дослідження, розвитку та вдосконалення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Безпосередньо до виконання зазначених робіт залучаються групи піротехнічних робіт аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення ГУ ДСНС в областях (далі – ГПР), або інші спеціалізовані підрозділи, які діють у статусі підрозділу державної аварійно-рятувальної служби згідно з Законом України від 14 грудня 1999 р. № 1281-XIV та свідоцтва про атестацію аварійно-рятувальної служби від 11.10.2018, серія МК № 729, видане міжвідомчою атестаційною комісією з атестації аварійно-рятувальних служб.

Для здійснення конкретного вибуху при руйнуванні певної аварійної споруди керівником ГПР розробляється Паспорт ведення вибухових робіт (ПВВР), який створюється у відповідності до чинних нормативно-правових актів: наказів Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 12.06.2014 № 425 «Про затвердження Порядку затвердження проектно-технічної документації на ведення вибухових робіт» та від 18.07.2013 № 469 «Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні».

Аналіз наукової літератури та результатів наукових досліджень у цій сфері показує, що існують окремі підходи щодо визначення кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин для проведення робіт вибуховим способом. Водночас слід зауважити, що в більшості публікацій містяться тільки загально відомі рекомендації щодо демонтажу або обрушення аварійних, застарілих та непридатних до подальшої експлуатації будівель і споруд. Для такої постановки питання може бути кілька причин: по-перше, проекти подібного характеру містять комерційну складову та, звісно, що виконавці турбуються про свої прибутки; по-друге, інформація, що пов'язана із використанням вибухових речовин та засобів підризу в більшості країн носить дещо конфіденційний характер, використана ж нами в роботі література знаходиться у відкритому доступі, а певна її частина розміщена на сайті ДСНС.

В дослідженнях [5] містяться загальні класифікаційні підходи та рекомендації до вибору способу демонтажу та обрушення застарілих будівель. Розгляда-

ються підготовчі організаційно-технічні заходи для успішного знесення аварійних будівель. Авторами запропонований для впровадження найбільш перспективний вибуховий спосіб руйнування будівлі, однак, детальний розгляд його відсутній.

В науковій публікації [6] наводиться аналіз методології проектів з вибухового руйнування аварійних будівель і споруд, виділяється метод розрахунку, який є основою програмного забезпечення, що використовується для моделювання механізму обвалення, а також розрахунку зарядів вибухової речовини. Також наводяться рекомендації щодо послідовності виконання робіт, що по суті є розглядом процесу планування та виконання подібних робіт. Також обговорюються основні впливи цього типу зносу на оточуюче середовище та способи їх контролю, а також зведення їх до мінімуму. Однак, недоліком цих досліджень є відсутність опису методики розрахунків, яка використовується для моделювання механізму обвалення аварійної будівлі.

Дослідження турецьких науковців [7] присвячені визначенню впливу проектних помилок, які можуть бути присутніми в конструкції будівлі, на планування процесу її знесення із застосуванням вибухових речовин. У цьому контексті досліджувався вплив структурних дефектів на поведінку залізобетонної конструкції каркасного типу під час вибухового знесення. Однак, в більшій мірі ці дослідження присвячені конструктивним особливостям самої будівлі у вузькому колі типових об'ємно-планувальних рішень і в той же час не враховувалися конструктивні особливості самих зарядів вибухових речовин та порядок їх розміщення у будівлі, що зноситься. В роботі [8] вивчаються попередні умови, які необхідно виконати для успішного знесення аварійних будівель та споруд контрольованим підривом, широко розглянуті питання менеджменту та економічної доцільності при реалізації проектів з демонтажу та зносу аварійних будівель і знову ж таки відсутні кількісні оцінки, що обґрунтовували б інженерно-технічні рішення при виконанні подібних завдань.

Що стосується досліджень в цій сфері в нашій державі, науковці приділяють значну увагу питанням математичного опису процесів руйнування аварійних будівель і споруд. Так, в роботі [9] здійснено математичне моделювання та запропоновано алгоритм розрахунку зарядів бризантних вибухових речовин нормальної, підвищеної і зниженої потужності для підриву аварійних цегляних будівель та споруд. В той же час автори недостатньо приділили уваги альтернативним методикам визначення кількісних характеристик таких зарядів та організації виконання подібних завдань.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є недосконалість існуючих методик визначення кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин, для обрушення (знесення) аварійних будівель і споруд, непридатних для подальшої експлуатації.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин, що використовуються при обрушенні будівель і споруд, для забезпечення вирішення питань щодо економії коштів та часу в порівнянні із іншими методами знищення, а також визначення сил і засобів, необхідних для проведення вибухових робіт, раціонального їх використання та заходів всебічного забезпечення проведення таких робіт.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні завдання:

- дослідити кількісні та геометричні показники зарядів вибухових речовин, що використовуються при обрушенні будівель і споруд;
- удосконалити методикау визначення необхідної кількості вибухових речовин та засобів підриву для руйнування аварійної споруди на прикладі цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль.

4. Дослідження кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин

На теперішній час для руйнування конструкції з цегли або з будь-яких інших будівельних матеріалів, як правило, використовуються шпурові заряди, кількісні та геометричні характеристики яких можуть визначатися відповідно до одного з наступних керівних документів:

1) Керівництва по підривним роботам [10].

2) Наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 № 469 «Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні» [11].

Будівлі і споруди дозволяється обвалювати на свою основу або в заданому напрямку. При обваленні будівель і споруд на свою основу вибуховим способом необхідно утворити підбивку по всьому периметру зовнішніх стін та інших несучих конструкцій. Висота наскрізної підбивки повинна бути не меншою половини товщини стіни. Обвалення в заданому напрямку дозволяється застосовувати у випадках, коли висота споруд значно перевищує (в 4 рази і більше) розмір їх горизонтального перерізу. Для утворення підбивки шпурові заряди необхідно розташовувати у два-три ряди в шаховому порядку. Заряд необхідно розмішувати так, щоб його центр збігався із серединою стіни.

В роботі здійснено порівняльний аналіз існуючих методик розрахунку кількісних і геометричних показників зарядів вибухових речовин для обвалювання аварійних будівель та споруд та проведено розрахунки на прикладі реальної цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль та була зруйнована вибуховим способом у 2020 р. силами та засобами групи піротехнічних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення ГУ ДСНС України у Тернопільській області.

Принцип валки димових труб у заданому напрямку полягає у створенні наскрізного підбою (врубів) не по всьому горизонтальному перерізу споруди, а тільки з боку напрямку валки. Цим напрямком (віссю валки) є бісектриса фактичного сектора валки, що зображена на схемі розташування шпурів (рис. 1). Збереження опори (цілика) з одного боку та практично миттєва ліквідація її з боку врубів створюють під дією сил тяжіння та реакції опори в цілику момент сил перевертання, який забезпечує падіння труби (башти) у заданому напрямку. В даному випадку об'єкт представляє собою міцну конструкцію, дозволяє безпечно проведення робіт по бурінню в елементах конструкції, а також коли є достатня кількість часу на підготовку його до руйнування, застосовуються шпурові заряди. Для застосування цього способу потрібна найменша кількість вибухової речовини в порівнянні з іншими способами.

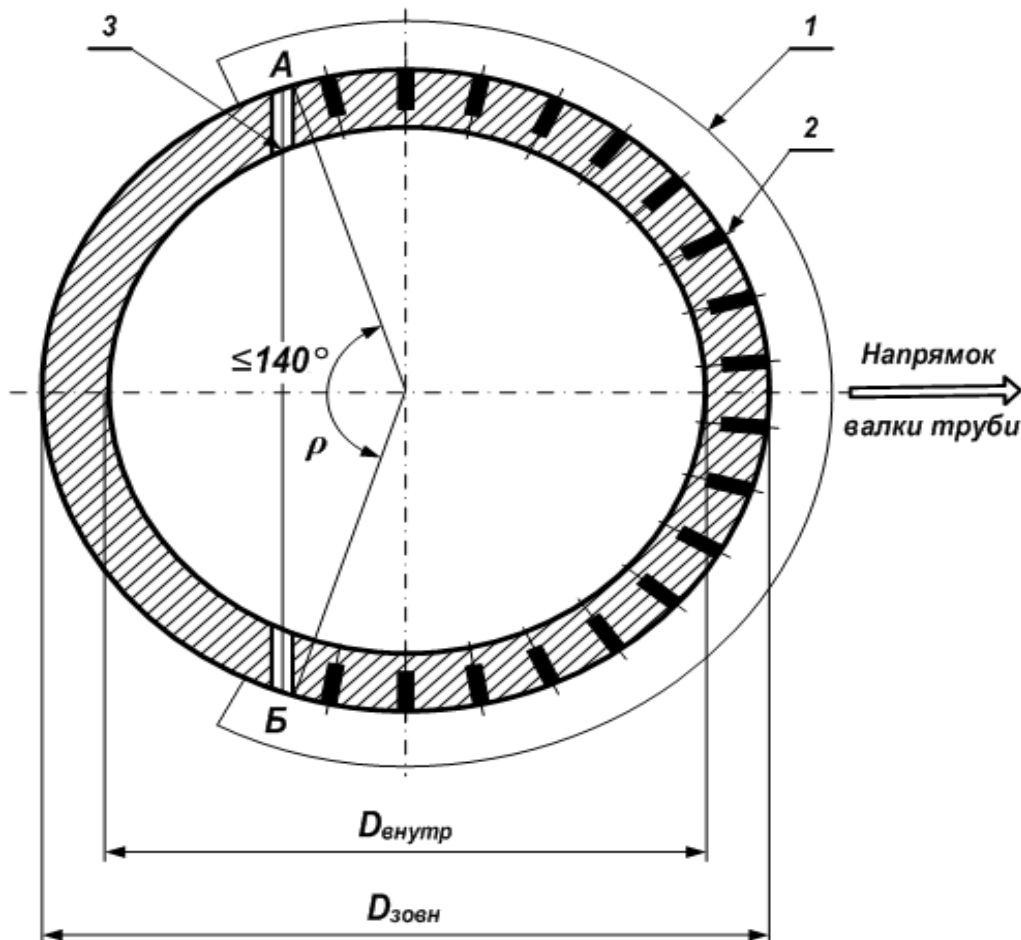


Рис. 1. Схема розташування шпурів: 1 – зона укриття зарядів від розльоту шматків труби; 2 – заряди; 3 – наскрізні шпури

При достатньому запасі міцності матеріалу цілика умовно приймається, що напрямок нахилу труби проходить навколо осі (умовного шарніра), яка проходить через вершину врубів за схемою до розрахунку валки труби (рис. 2).

Якщо міцність цілика недостатня, труба в процесі нахилу починає руйнуватися спочатку біля врубів, а потім в інших місцях. Одержана в початковий момент кінетична енергія повертає трубу в заданому напрямку. При інших рівних умовах більш точний напрямок валки можна отримати у тому випадку, коли цілик зазнає меншої напруги на стискання і обмежується більшою по величині хордою АБ (рис. 1). Цій вимозі для круглих труб відповідає цілик у секторі ρ , що дорівнює $135\text{--}140^\circ$ ($1,2 \cdot D$, де D – діаметр труби, м) за периметром, який має форму, наведену на рис. 1.

Кут врубів β , що утворюється, визначається мінімально необхідним кутом нахилу труби α , при якому умовний висок АВ, опущений від центра ваги труби А1, не потрапляє в контур горизонтального перерізу в місці врубів. Кут β повинен бути рівним куту α або перевищувати його.

Місце підбою труби (башти) необхідно вибирати на такому горизонті, де в цілику, що залишається, або поблизу нього немає отворів (дверей, вікон, газоходів тощо). Якщо немає можливості знайти таке місце, отвори необхідно щільно закласти, щоб створити рівномірний ствол.

Валку в заданому напрямку не проектують, якщо отвір, який необхідно закласти, знаходиться від вершини врубів на відстані менше ніж 4–6 товщи-

ни ствола. Вруб створюється двома і більше рядами зарядів. Нижні два-три ряди приймаються однакової довжини, інші – коротші відповідно до прийнятого кута врубу. Вага і розташування зарядів для створення наскрізного підбою визначаються, як і при обваленні стін. Розташування крайніх зарядів врубу, що межують із ціликом, повинно забезпечувати отримання цілика заданих розмірів.

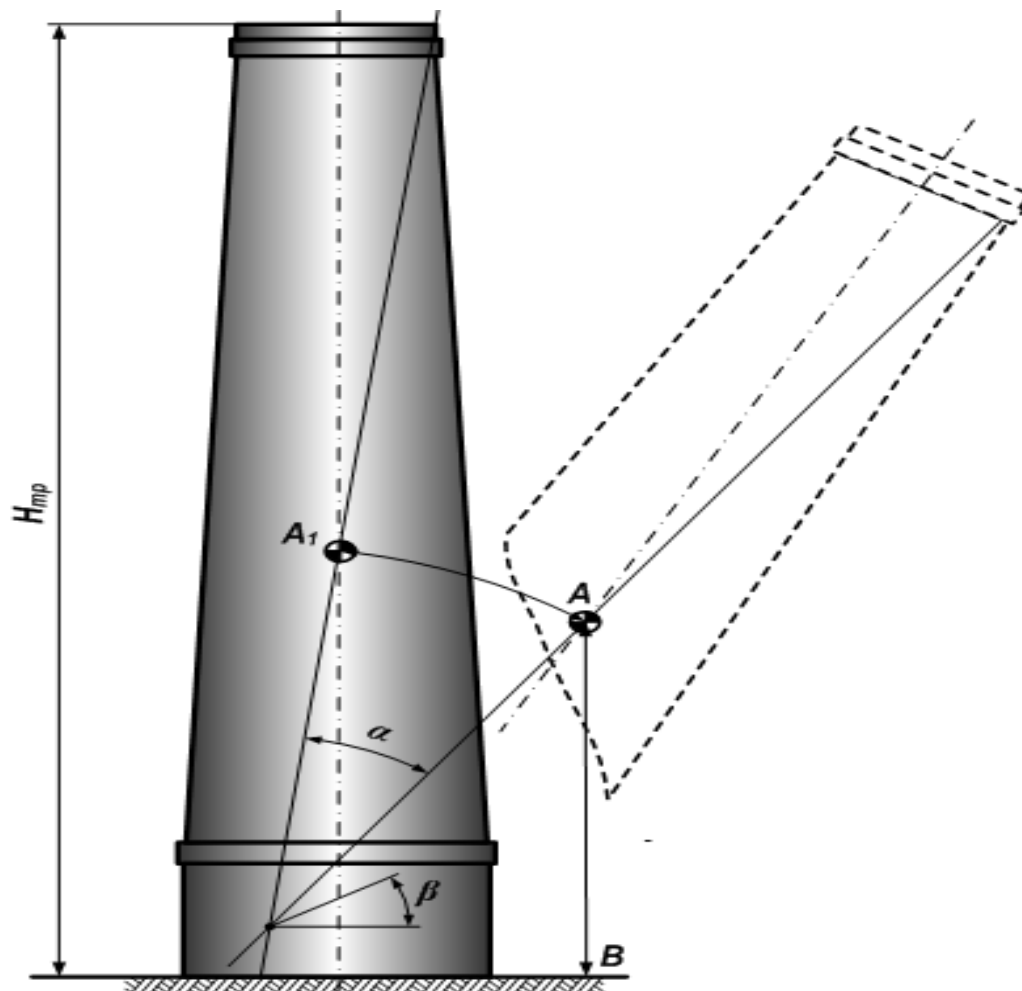


Рис. 2. Схема до розрахунку валки труби

Величину розрахункових питомих витрат (ВР) q для цих зарядів необхідно приймати удвічі меншою, ніж для інших зарядів.

При підвищених вимогах до заданого напрямку валки (сектор валки менше 90° , ствол послаблений тощо) замість крайніх шпурів врубу, розташованих біля цілика, необхідно створити в стволі прорізи, висота яких повинна бути не менше відстані між верхнім і нижнім рядами шпурів, що примикають до цілика, а ширина, яка визначається зручністю створення прорізу, не повинна перевищувати 1 м. Такі прорізи створюються шляхом буріння двох вертикальних наскрізних рядів шпурів діаметром 32–43 мм з кроком 32–43 мм. Буріння за таких умов дозволяється, якщо в сусідній шпур вставити стрижень діаметром, який дорівнює діаметру бурової коронки. На відміну від шпурів врубу, що забурюються радіально, шпури в наскрізних отворах необхідно бурити на всю товщину стіни труби по хорді сектора, який обмежує цілик. При валці залізобетонних труб необхідно враховувати вплив арматури на їх стійкість після вибуху, оскільки арматура в зоні вру-

бу зарядами не перебивається, а в цілику може витримувати значну напругу на розтягнення. Залізобетонна труба обвалюється у напрямку валки в тому випадку, коли перекидний момент $M_{тр}$ від сили ваги труби $P_{тр}$ буде більшим суми моментів сил від опору арматури врубів повздовжньому вигину і від опору цілика розтягненню. Для розрахунку валки залізобетонної труби на обвалення в заданому напрямку спочатку необхідно визначити перекидний момент від сили ваги труби за формулою:

$$M_{тр} = P_{тр} \cdot \omega, \quad (1)$$

де $M_{тр}$ – момент від сили ваги труби, т·м; $P_{тр}$ – вага труби, т; ω – відстань між осями умовного шарніра і труби, м.

У бік, протилежний моменту $M_{тр}$, діє момент $M_{вр}$, який визначається як сума моментів сил реакції від прутків у зоні врубів (передбачається, що вони залишаться прямими після підірвання), порівняних до критичної сили:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l_{п})^2}, \quad (2)$$

де $P_{кр}$ – критична сила, кгс; E – модуль пружності, $E=2 \cdot 10^6$ кгс/см²; I_{\min} – момент інерції перерізу прутка арматури (для круглого прутка $I_{\min}=0,05d^4$), см⁴; d – діаметр прутка арматури, см; μ – коефіцієнт, який залежить від способу закріплення бруска (прутка) і характеру розподілу навантаження по його довжині, $\mu=0,5$; $l_{п}$ – довжина прутка арматури в межах врубів, см.

Розрахунок дозволяється проводити не для кожного прутка, а для окремих груп прутків, симетрично розташованих відносно осі валки.

Напругу в арматурі цілика необхідно визначати за таких умов:

- уся арматура цілика розташована на найбільш віддаленій від умовного шарніра прутка відстані $г$;
- поворот труби спричиняє однакові деформації в усіх прутках;
- опір бетону на розрив дозволяється не враховувати.

За таких умов зусилля $P_{ц}$ розтягнення арматури цілика необхідно визначати за формулою:

$$P_{ц} = \frac{M_{тр} - M_{вр}}{г}, \quad (3)$$

де $P_{ц}$ – зусилля розтягнення арматури цілика, кгс; $г$ – відстань від умовного шарніра до арматури, м.

Кількість прутків арматури у цілику необхідно визначати за формулою:

$$N = \frac{\pi \cdot D_{т} \cdot \rho_{ц}}{360 \cdot a_1}, \quad (4)$$

де N – кількість прутків у цілику, шт.; $D_{т}$ – діаметр труби, м; $\rho_{ц}$ – сектор, у межах якого розташований цілик, град.; a_1 – крок арматури, м.

Сумарну площу перерізу прутків арматури необхідно визначати:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} N, \quad (5)$$

де S – сумарна площа перерізу прутків арматури, см^2 .

Напругу від початкового перекидного моменту необхідно визначати за формулою:

$$\sigma = \frac{P_{\text{ц}}}{S}, \quad (6)$$

де σ – напруга від початкового перекидного моменту, кгс/см^2 .

Труба втратить стійкість і обвалиться в напрямку валки за умови, якщо $\sigma > \sigma_{\text{вр}}$, де $\sigma_{\text{вр}}$ – тимчасовий опір арматури розриву.

Доречі, обвалення інших висотних споруд у заданому напрямку необхідно проводити в тому самому порядку, а розрахунки проводити за тією ж самою методикою, що і при валці труб. Для створення підбивки або утворення врубу необхідно використовувати шпурові та накладні заряди. В дослідженнях розглядалася реальна споруда, яка була зруйнована вибуховим способом у 2020 році з використанням розрахунків кількісних та геометричних параметрів зарядів вибухових речовин, наведених нижче – цегляна димохідна труба, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль, технічні характеристики якої наведено в табл. 1, зображення (фото) на рис. 3.



Рис. 3. Зображення цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль та була зруйнована вибуховим способом

Табл. 1. Технічні характеристики споруди, що підлягала руйнуванню

Споруда, що підлягає руйнуванню вибуховим способом та її характеристики:	Цегляна димохідна труба, виготовлена із цегляної кладки на цементному розчині
висота труби $H_{тр}$, м;	36,0
діаметр труби D біля основи, м;	3,10
товщина стіни споруди, м;	0,80
периметр споруди біля основи, м	9,75

Вагу заряду Q при підриванні конструкції з цегли (бетону або залізобетону), в загальному випадку необхідно визначати згідно із формулами:

– відповідно до [10]:

$$Q = A \cdot B \cdot R^3, \quad (7)$$

– відповідно до [11]:

$$Q = q \cdot W \sqrt{W}, \quad (8)$$

де Q – вага заряду в шпурі, кг; A – коефіцієнт, який залежить від властивостей матеріалу, що підривається, та характеристик ВР, що використовується, його величина приймається по відповідній таблиці; B – коефіцієнт, який залежить від розташування заряду і називається коефіцієнтом забивання, його величина приймається по відповідній таблиці; R – радіус руйнування, який приймається рівним половині товщини стіни споруди, м; q – питомий розхід вибухової речовини, кг/м³, при цьому для цегляної кладки повинен становити $q=0,4-0,6$ кг/м³; W – лінія найменшого опору (ЛНО), м; ЛНО також необхідно приймати рівною половині товщини стіни споруди.

Слід зауважити, що в [10] використовуються дещо інші позначення математичних та фізичних величин (наприклад, вага заряду ВР позначається буквою C , лінія найменшого опору – буквою h). Однак, для загального сприйняття в дослідженнях використовується єдине позначення, прийняте у [11].

При $W > 1$ м вага заряду повинна визначатися згідно з формулою:

$$Q = q \cdot W^3, \quad (9)$$

Заряд вибухової речовини в шпурі необхідно розміщувати таким чином, щоб його центр збігався із серединою стіни. Довжина заряду повинна становити не більше 1/3 товщини стіни (половина довжини шпуру). Вільну від заряду частину шпуру необхідно заповнити забивним матеріалом. Для забивки для всіх видів зарядів дозволяється застосовувати вологу глину, суміш вологої глини з піском.

Для проведення підривних робіт використовувалися наступні вибухові речовини та засоби підриву (ВР та ЗП):

- вибухова речовина – тротил пресований в бурових шашках Т-75 або тротилова шашка-детонатор гідроізолювана Т-400Г (рис. 4);
- засоби підриву – електродетонатор марки ЕДП-8-Ж-110.

Для забезпечення підривних робіт використовувалося наступне спеціальне обладнання: підривна машинка КПМ-3; саперний дріт СПП-2; малий омметр М-57; сумка мінера-підривника СМП.

Конструкція шпурових зарядів. На сьогоднішній день групи піротехнічних робіт аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення ГУ ДСНС в об-

ластях та інші спеціалізовані підрозділи ДСНС централізовано забезпечуються конверсійною вибуховою речовиною – тротиловими шашками-детонаторами Т-400Г, та в підрозділи майже не надходять шашки із пресованого тротилу Т-75 (бурова тротилова шашка), Т-200 (мала тротилова шашка) та Т-400 (велика тротилова шашка), конструкцію зарядів приймають виходячи із виду наявних вибухових речовин, а саме: бурових тротилових шашок масою Т-75 гр., габаритні розміри яких складають: діаметр – 30 мм, довжина – 70 мм; тротилових шашок-детонаторів гідроізольованих Т-400Г, масою 400 гр., габаритні розміри яких: діаметр – 70 мм, довжина – 72 мм (рис. 4). При цьому слід врахувати два аспекти: по-перше – при переплавленні промислової ВР – тротил, вона втрачає порядку 20–25 % початкової потужності, по-друге – при встановленні шашки Т-400Г або кількох шашок на конструкцію, що підривається, не на торець, а на бокову поверхню шашок, вони прилягають до конструкції не площиною, а лінією, що також на 20–30 % знижує ефективність вибухового впливу на елементи конструкції, що перебиваються.

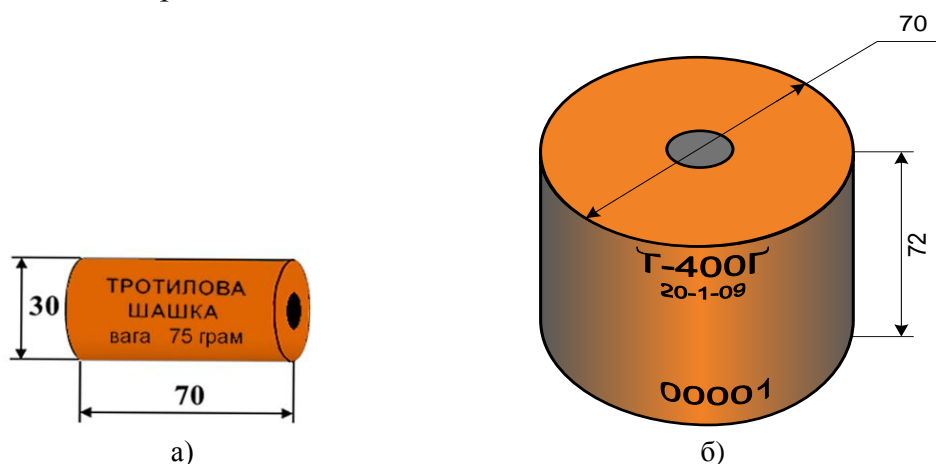


Рис. 4. Зовнішній вигляд та габаритні розміри тротилових шашок: а) бурова шашка Т-75 та б) шашка-детонатор гідроізольована Т-400Г

Виходячи з цього, вагу заряду, розрахованого за формулами (7) або (8), слід помножити на коефіцієнт зниження потужності k від 1,20...1,25 (що враховує зменшення потужності ВР при переплавленні), до 1,40...1,50 (що, в свою чергу, враховує як перший аспект, так і зменшення ефективності заряду ВР при вкладанні його на конструкцію на бокову поверхню). Також слід враховувати, що при остаточному визначенні ваги розрахованого заряду її слід заокруглити до величини, яка кратна або 75 гр., якщо використовуються шашки Т-75, або до 400 гр., оскільки шашки Т-400Г випускаються тільки вагою 400 гр.

5. Удосконалення методики розрахунку характеристик зарядів вибухових речовин

Результати досліджень в певній мірі було підтверджено в ході практичного виконання завдання щодо руйнування реальної цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль, яка була зруйнована вибуховим способом у 2020 році силами та засобами групи піротехнічних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення ГУ ДСНС України у Тернопільській області.

Удосконалення існуючих методик розрахунку кількісних і геометричних по-

казників зарядів вибухових речовин для обвалювання аварійних будівель та споруд полягало в урахуванні конструктивних показників зарядів вибухових речовин та якісних характеристик самих вибухових речовин, що використовуються піротехнічними підрозділами оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС під час виконання бойових завдань. Врахування в аналітичних залежностях існуючих методик коефіцієнту зниження потужності заряду вибухової речовини дозволяє з більшою точністю визначити кількісні показники зарядів ВР та гарантовано виконати поставлене підрозділу завдання, що в свою чергу дозволить знизити небезпечні та непередбачувані наслідки для персоналу підрозділів та оточуючого середовища.

Для демонстрації запропонованого підходу та елементів новизни у вирішенні практичних завдань далі наводяться результати розрахунків для руйнування вищезазначеної реальної споруди – димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль для обрушення її в заданому напрямку.

5.1. Визначення ваги зарядів для руйнування цегляної споруди

Вихідні дані:

Обрушенню підлягає димова труба, побудована із цегли на цементному розчині, висота якої дорівнює 36 м, діаметр біля основи на рівні руйнування – 3,1 м, товщина стінки – 0,8 м, довжина периметру труби – 9,75 м. Вагу зарядів для утворення наскрізного підбою стіни споруди визначаємо за формулами (7) та (8), оскільки товщина стіни на рівні руйнування 0,8 м, що менше 1 м:

– відповідно до [10]:

$$Q = A \cdot B \cdot R^3 = 1,2 \cdot 1,15 \cdot 0,4^3 = 0,088 \text{ кг},$$

де $A=1,2$, для цегляної кладки на цементному розчині; $B=1,15$, для заряду із забивкою всередині конструкції, яку підривають (у шпурі, рукаві, свердловині, камері); $R=0,4$ м.

– відповідно до [11]:

$$Q = q \cdot W \sqrt{W} = 0,6 \cdot \sqrt{0,4} = 0,152 \text{ кг},$$

де $q=0,4 \dots 0,6$ (для цегляної кладки, приймаємо $q=0,6$); $W=0,4$ м.

Необхідна кількість вибухової речовини складає:

– відповідно до [10]:

для пресованого тротилу в бурових шашках Т-75 дорівнює $Q=0,150$ кг, з урахуванням скорочення до найближчої цілої кількості шашок Т-75 – 2 шашки;

для переплавленого конверсійного тротилу в шашках-детонаторах Т-400Г, слід врахувати коефіцієнт зниження потужності при переплавленні тротилу, приймаємо $k=1,25$, оскільки використовується внутрішній заряд із забивкою, при цьому ефективність його найбільша, отже маса заряду дорівнює: $Q=0,088 \cdot 1,25=0,110$ кг, що скорочуємо до ваги однієї шашки $Q=0,400$ кг, оскільки шашки іншої ваги не випускаються;

– відповідно до [11]:

для пресованого тротилу в бурових шашках Т-75 дорівнює $Q=0,225$ кг, з

урахуванням скорочення до найближчої цілої кількості шашок Т-75 – 3 шашки;

для переплавленого тротилу в шашках-детонаторах Т-400Г, знову ж таки враховуємо коефіцієнт зниження потужності при переплавленні тротилу, так само приймаємо $k=1,25$, отже маса заряду дорівнює: $Q=0,152 \cdot 1,25=0,190$ кг, що скорочуємо до ваги однієї шашки $Q=0,400$ кг.

Отже, загальна кількість ВР одного заряду в шпурі становить: 0,150 або 0,225 кг (дві або три бурові шашки Т-75, в залежності від того, яка методика використовується – викладена у [10] або [11] відповідно), або 0,400 кг (одна шашка-детонатор Т-400Г).

5.2. Визначення глибини шпура для цегляних конструкцій споруди

Виходячи з того, що заряд вибухової речовини в шпурі необхідно розміщувати таким чином, щоб його центр збігався із серединою стіни, розрахункова глибина шпура для наскрізного підбою визначаються за формулою:

$$L_{\text{шп}} = 0,5(C_{\text{ст}} + L_{\text{зар}}), \quad (10)$$

де $L_{\text{шп}}$ – довжина шпура, м; $C_{\text{ст}}$ – товщина стіни, м; $L_{\text{зар}}$ – довжина заряду, м.

Отже, довжина шпура дорівнює:

для заряду з бурових шашок Т-75:

$$L_{\text{шп}} = 0,5(C_{\text{ст}} + L_{\text{зар}}) = 0,5(0,8 + 0,14 \dots 0,2) = 0,47 \dots 0,51 \text{ м};$$

$$L_{\text{шп}} = 0,5(C_{\text{ст}} + L_{\text{зар}}) = 0,5(0,8 + 0,072) = 0,44 \text{ м},$$

для заряду з шашок-детонаторів Т-400Г.

5.3. Визначення кількості та відстані між зарядами

Для утворення підбивки шпурові заряди необхідно розташовувати у три ряди в шаховому порядку.

Заряд необхідно розміщувати так, щоб його центр збігався із серединою стіни, в даному випадку центр закладання зарядів в стіні знаходиться на глибині 0,4 м при глибині шпура 0,47–0,51 м (для Т-75) або 0,44 м (для Т-400Г). Заряди розташовуємо в три ряди, як показано на схемі (рис. 5).

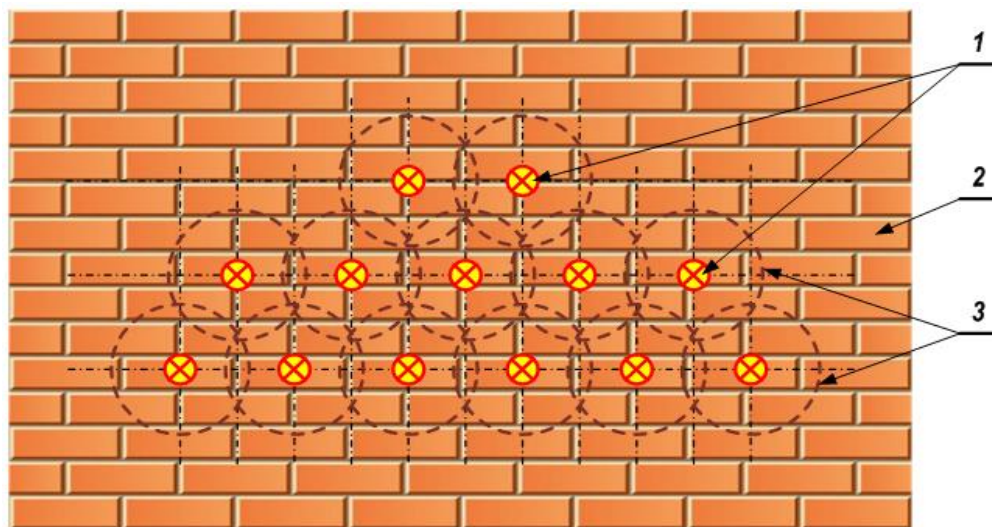


Рис. 5. Схема розташування шпурів та зарядів для влаштування наскрізного підбою: 1 – заряди ВР; 2 – цегляна конструкція; 3 – радіус руйнування

Відстань між зарядами визначаємо відповідно до радіуса руйнування, який дорівнює глибині розташування центру шпурових зарядів 0,40 м. Для більшої ефективності руйнування цегляної конструкції відстань між зарядами та рядами між ними зменшуємо в 1,5 рази.

Отже, виходячи з вищевказаного відстань між зарядами та рядами становить 0,27 м. Кількість зарядів визначаємо в залежності від довжини врубу, який необхідно виконати для обрушення цегляної споруди, в даному випадку становить 3,6 м. Кількість зарядів, яка необхідна для обрушення складає 13 од.

5.4. Визначення загальної кількості вибухової речовини

Відповідно до визначеної кількості зарядів ($n_{зар}=13$ од.), розраховуємо загальну кількість вибухової речовини:

$$Q_{зар} = Q \cdot n_{зар}, \quad (11)$$

де $n_{зар}$ – загальна кількість зарядів ВР, од.

Отже, загальна кількість вибухової речовини дорівнює:

– для зарядів з бурових шашок Т-75:

$$Q_{зар}=Q \cdot n_{зар}=0,150\dots0,225 \cdot 13=1,950\dots2,925 \text{ кг};$$

– для зарядів з шашок-детонаторів Т-400Г:

$$Q_{зар}=Q \cdot n_{зар}=0,4 \cdot 13=5,2 \text{ кг}.$$

Отже, загальна кількість вибухової речовини дорівнює для зарядів з бурових шашок Т-75: 1,950...2,925 кг; для зарядів з шашок-детонаторів Т-400Г: 5,2 кг.

5.5. Розрахунок та схема електровибухової мережі

З метою здійснення контрольованого підриву при руйнування будівель і споруд використовується електричний спосіб підриву. Для чого в нашому випадку необхідне наступне спеціальне обладнання у відповідній кількості (табл. 2), а схема влаштування електровибухової мережі наведена на рис. 6.

Табл. 2. Необхідна кількість спеціального обладнання для руйнування цегляної димової труби

Кількість електродетонаторів	13 од.;
Тип електродетонаторів	ЕДП-8-Ж-110 ($R_{дет.}=4,2$ Ом)
Довжина дільничних дротів	100 м;
Довжина магістральних дротів	300 м;
Тип дротів	СПП-2 ($R_{оп.др.}=0,0375$ Ом/пог.м – для 1 м довжини однієї жили)

Визначення загального опору електровибухової мережі.

Загальний опір електровибухової мережі розраховується за формулою:

$$R_{зар} = R_{маг} + R_{дйл} + R_{дет} \cdot n_{дет}, \quad (12)$$

де $R_{зар}$ – загальний опір електровибухової мережі, Ом; $R_{маг}$ – опір магістральних дротів, $R_{маг}=300\dots0,0375\dots2=22,5$ Ом; $R_{дйл}$ – опір всіх дільничних дротів, $R_{дйл}=100\dots0,0375=3,75$ Ом; $R_{дет}$ – опір ЕДП разом з кінцівками, $R_{дет}=4,2$ Ом; $n_{дет}$ – кількість послідовно з'єднаних ЕДП, $n_{дет}=13$ од.

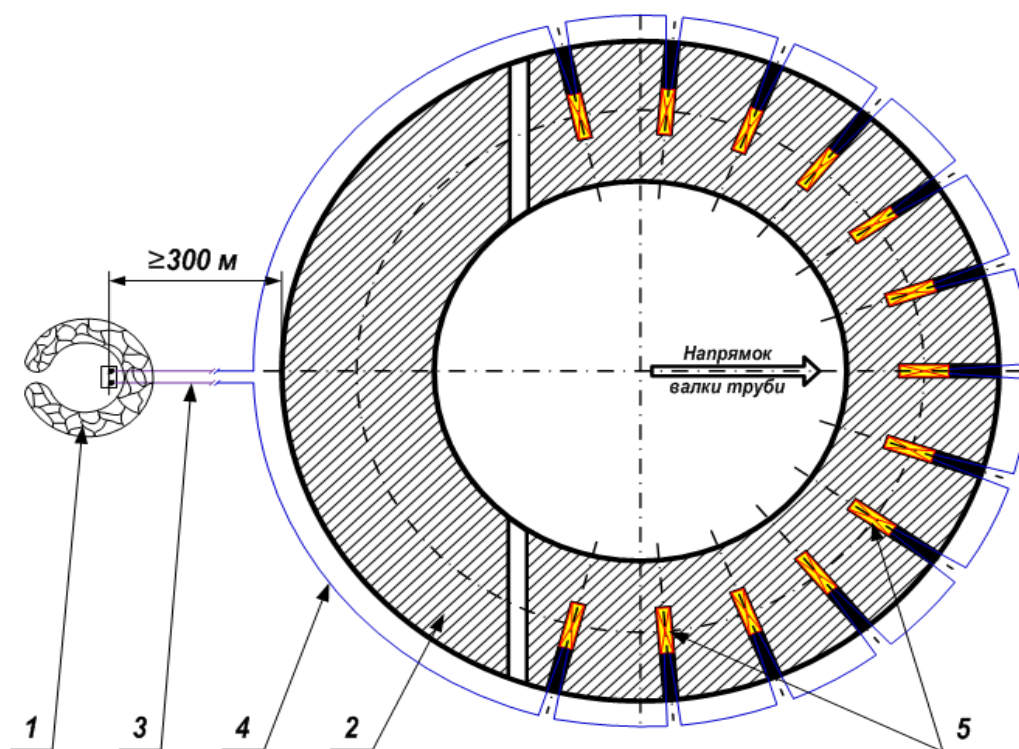


Рис. 6. Схема електровибухової мережі для підриву цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль та була зруйнована вибуховим способом: 1 – підривна станція; 2 – цегляна споруда; 3 – магістральні дроти; 4 – ділянкові дроти; 5 – заряди ВР

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{маг}} + R_{\text{діл}} + R_{\text{дет}} \cdot n_{\text{дет}} = 22,5 + 3,75 + 4,2 \cdot 13 = 395,85 \text{ Ом.}$$

Визначення потрібної напруги U для одночасного ініціювання всіх зарядів ВР. Потрібна напруга U для одночасного ініціювання всіх зарядів ВР визначається за формулою:

$$U = I \cdot R_{\text{заг}}, \quad (13)$$

де U – напруга, що потрібна для одночасного ініціювання всіх зарядів ВР, В;
 I – розрахунковий струм, який прийметься $I=1,0$ А для підривання послідовно з'єднаних електродетонаторів.

Відповідно:

$$U = I \cdot R_{\text{заг}} = 1,0 \cdot 395,85 = 395,85 \text{ В.}$$

Отже, виходячи з отриманих розрахункових даних, для надійного проведення підривних робіт використовується підривна машинка КПМ-3, яка за своїми характеристикам відповідає вимогам електровибухової мережі (за допомогою підривної машинки КПМ-3, яка видає напругу 1600 В, можливо підірвати 200 од. послідовно з'єднаних ЕДП із загально допустимим електричним опором 600 Ом).

5.6. Визначення безпечних відстаней по дії повітряної ударної хвилі

Для захисту людей, споруд, будівель від вражаючого впливу повітряної ударної хвилі (ПУХ) між місцями знаходження особового складу повинні вводитись

і дотримуватись відповідні відстані, величина яких визначається за даними розрахунків. У разі проведення спеціальних вибухових робіт необхідно враховувати можливість пошкодження конструкційних елементів споруджень під дією ПУХ, що відбувається при досягненні у фронті цієї хвилі критичного рівня тиску або питомого імпульсу у фазі стиску.

Для найбільш слабкого конструкційного елемента споруди (засклення) дозволяється використовувати припустиме значення питомого імпульсу 2,5 Па і надлишкового тиску 500 Па. Відповідно до наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 №469 «Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України від 05.08.2013 р. №1320/23852, радіус небезпечної зони по дії ПУХ на засклення необхідно визначати за формулою:

$$r_{\text{ПУХ}} = 65\sqrt{Q_e}, \text{ при } Q > 2 \text{ кг}, \quad (14)$$

де $r_{\text{ПУХ}}$ – радіус небезпечної зони по дії ПУХ, м; Q_e – маса еквівалентного заряду, кг.

Відповідно:

для зарядів з бурових шашок Т–75:

$$r_{\text{ПУХ}} = 65\sqrt{Q_e} = 65\sqrt{1,950 \dots 2,925} = 90,77 \dots 111,17 \text{ м};$$

для зарядів з шашок-детонаторів Т–400Г:

$$r_{\text{ПУХ}} = 65\sqrt{Q_e} = 65\sqrt{5,2} = 148,22 \text{ м}.$$

Безпечні відстані для людей при проведенні вибухових робіт приймаються такими, що виключають можливість виникнення нещасних випадків.

6. Обговорення результатів дослідження кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин

Отримані в дослідженнях результати розрахунків показали, що, спираючись на проведений порівняльний аналіз існуючих методик визначення кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин, що використовуються для обґрунтування рішень, що приймаються керівниками піротехнічних підрозділів ОРС ЦЗ ДСНС для обрушення аварійних будівель і споруд, непридатних для подальшої експлуатації. Визначено, що загальна кількість ВР одного заряду в шпурі становить: 0,150 або 0,225 кг (дві або три бурові шашки Т–75, в залежності від того, яка методика використовується – викладена у [10] або [11], відповідно) або 0,400 кг (одна шашки-детонатор Т–400Г), а з урахуванням загальної кількості зарядів, отримано загальну кількість ВР за двома використаними методиками:

– для зарядів з бурових тротилових шашок Т–75 – 1,950...2,925 кг, у відповідності до методик викладених у [10] або [11], відповідно;

– для зарядів з тротилових шашок-детонаторів Т–400Г – 5,2 кг для обох вищезазначених методик.

Особливості запропонованих удосконалень існуючих методик і отриманих на

їх підставі результатів в порівнянні з існуючими полягають у врахуванні масо-габаритних показників зарядів вибухових речовин та порядку їх застосування. Зокрема було запропоновано при здійсненні розрахунків кількісних показників зарядів ВР враховувати коефіцієнт зниження потужності зарядів ВР, в яких використовуються шашки-детонатори Т-400Г, оскільки слід врахувати два аспекти: по-перше – при переплавленні промислової ВР – тротилу, вона втрачає порядку 20–25 % початкової потужності, по-друге – при встановленні шашки Т-400Г або кількох шашок на конструкцію, що підривається, не на торець, а на бокову поверхню шашок, вони прилягають до конструкції не площиною, а лінією, що також на 20–30 % знижує ефективність вибухового впливу на елементи конструкції, що перебувають. Це дозволяє з більшою точністю визначати кількісні показники зарядів вибухових речовин та гарантовано виконувати поставлені піротехнічному підрозділу завдання, що в свою чергу знижує небезпечні та непередбачувані наслідки для персоналу підрозділів та оточуючого середовища.

Вищезазначені результати дозволяють визначити певні організаційні та інженерно-технічні обмеження у застосуванні удосконалених методик та показують, що при використанні бурових тротилових шашок Т-75 більш прийнятною для використання лишається методика, викладена у [10], оскільки методика [11] дає збільшення необхідної кількості ВР приблизно на 30–33 %. Для зарядів з шашок-детонаторів Т-400Г кількість однакова тільки за рахунок скорочення ваги одиничного заряду до ваги, яка кратна 400 гр. (тобто ваги однієї шашки Т-400Г), що в свою чергу дає перевитрату ВР на 37–39 % (у 2,5...2,7 разів за рахунок застосування коефіцієнта зниження потужності цих зарядів).

Масо-габаритні характеристики зарядів ВР, виготовлених із шашок різних типів, також доводять очевидну перевагу у використанні тротилових шашок Т-75, які мають наступні розміри: діаметр – 30 мм та довжина 70 мм, в порівнянні з зарядами з шашок-детонаторів Т-400Г, у якої діаметр – 70 мм та довжина 72 мм. Більше проблемних питань виникає при використанні шашок-детонаторів Т-400Г, оскільки бурове обладнання, яким оснащені ГПР (мотоперфоратори, електроперфоратори тощо), укомплектоване буровими коронками діаметром 32–43 мм, а використання коронок зі збільшеним діаметром понад 70 мм потребує збільшення потужності двигунів цього обладнання, тобто збільшення експлуатаційних витрат та переоснащення підрозділів більш потужним, в тому числі і самохідним обладнанням.

Зміна геометричних та конструктивних параметрів шашок обох типів неприпустима (наприклад, механічне їх розрізання на частини для надання більш прийнятної форми, як це робиться при використанні пластичних ВР), тому перевитрати ВР в найбільш критичних варіантах можуть наближатися навіть майже до 95–99 %, коли розрахункова вага одиничного заряду на кілька грамів перевищує вагу однієї шашки (якщо для створення такого заряду необхідна лише одна шашка), то зменшення ваги на ці кілька грамів може призвести до зриву виконання завдання та багаторазового зростання ступеню небезпеки для персоналу підрозділу.

На майбутнє для вирішення вищезазначених недоліків та проблемних питань можна запропонувати наступні рекомендації:

– особливо відповідальні завдання щодо руйнування будівель і споруд вибуховим способом пріоритетно виконувати з використанням тротилових шашок Т-75, що майже не призводить до перевитрат ВР, навіть і у випадку наявності умов, викладених у вищезазначеному п. 3;

– менш відповідальні завдання, такі як, наприклад, знищення вибухонебезпечних предметів, виконання вибухових робіт в ґрунтах, де для створення зарядів використовується значна вага ВР, руйнування дерев'яних та металевих конструкцій в повітрі та під водою тощо, виконувати з використанням тротилових шашок-детонаторів гідроізолюваних Т-400Г;

– запропонувати виробникові конверсійної продукції – тротилових шашок-детонаторів гідроізолюваних Т-400Г – збільшити модельний ряд виробів, що випускається та виготовляти шашки вагою 100 гр., габаритні розміри яких будуть дорівнювати: діаметр 30 мм та довжина – приблизно 100 мм та 200 гр. у яких діаметр дорівнюватиме 40 мм, а довжина – приблизно 115 мм, що дасть можливість використовувати наявне бурове обладнання з діаметрами бурових коронок 32...43 мм без переоснащення підрозділів (хоча з іншого боку це питання може бути вирішене шляхом разового використання промислового бурового обладнання зі збільшеними діаметрами бурових коронок, наприклад, 75...78 мм).

Розвиток даного дослідження може полягати у створенні в подальшому універсальної методики для визначення кількісних та геометричних показників зарядів вибухових речовин, що використовуватимуться для руйнування аварійних будівель і споруд. Однак, слід врахувати, що при підтвердженні адекватності запропонованих в подальшому математичних або фізичних моделей можна стикнутися з труднощами експериментального характеру, оскільки, з одного боку, кожна аварійна будівля або споруда має свою унікальну конструкцію та якісні характеристики, наприклад, вид будівлі та її елементів, якість будівельних матеріалів, ступінь фізичного зносу конструкційних матеріалів тощо, а з іншого – для конверсійних вибухових матеріалів, зі заздалегідь невідомими і не стандартизованими якісними характеристиками, досить важко передбачити поведінку цих матеріалів при виконанні відповідальних завдань.

Тому, в подальшому при створенні універсальної методики слід наполягати на якісному проведенні експериментальних випробувань, особливо при використанні тротилових шашок-детонаторів гідроізолюваних Т-400Г, що досить широко застосовуються в піротехнічних підрозділах ОРС ЦЗ ДСНС.

7. Висновки

1. В роботі досліджено кількісні та геометричні показники зарядів вибухових речовин, які використовуються при обрушенні аварійних будівель і споруд, що дало змогу здійснити порівняльний аналіз існуючих методик визначення цих характеристик. Дослідження підтвердили доцільність та прийнятність використання обох методик, що застосовуються керівниками піротехнічних підрозділів оперативно-рятувальних сил цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій, однак, за певних умов: для організації виконання особливо відповідальних завдань щодо руйнування будівель і споруд вибуховим способом більш прийнятною є методика, викладена у Керівництві по підривним роботам, а для виконання менш відповідальних завдань щодо руйнування конструкцій і матеріалів вибуховим способом з достатньою точністю можна використовувати положення, викладені у наказі Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 р. № 469 «Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні».

2. Удосконалено методику визначення необхідної кількості вибухових речовин та засобів підриву для руйнування аварійної споруди на прикладі цегляної димохідної труби, що знаходилась на території підприємства ТОВ «ТЕРЕН ІНВЕСТ» в м. Тернопіль. Проведено розрахунки з використанням удосконаленої методики для визначення необхідної кількості вибухових речовин та засобів підриву для руйнування аварійної споруди. Отримані результати показують, що при використанні бурових тротилових шашок Т–75 більш прийнятною для використання лишається методика, викладена у Керівництві по підривним роботам, оскільки методика, затверджена наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 р. № 469 «Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні» дає збільшення необхідної кількості вибухової речовини приблизно на 30–33 %. Для зарядів з шашок-детонаторів Т–400Г кількість однакова тільки за рахунок скорочення ваги одиничного заряду до ваги, яка кратна 400 гр. (тобто ваги однієї шашки Т–400Г), що в свою чергу дає перевитрату ВР на 37–39 % (у 2,5...2,7 разів). За результатами дослідження запропоновані рекомендації для підвищення ефективності робіт щодо обрушення аварійної будівлі або споруди, непридатної для подальшого використання, вибуховим способом.

Література

1. Liu C., Pun S., Itoh Y., Technical development for deconstruction management. Proc. 11th Rinker Inter. Conf. On Deconstruction and Materials Reuse, Gainesville, USA. 2003. P. 86–203. URL: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB868.pdf>
2. Dantana N., Touran A., Wang J. An analysis of cost and duration for deconstruction and demolition of residential buildings. Resources, Conservation and Recycling. 2005. Vol. 44(1). P. 1–15. URL: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-c689a977-8b8d-3c82-a0ea-be06935605f7>
3. Arpita R. Naik. Demolition of the Building – Review. International Journal of Science and Research (IJSR). Vol. 8. Issue 10, October 2019. P. 642–644. URL: https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=ART20201611
4. Jayeshkumar R., Jaydevbhai J., Pranav Patel. Demolition: methods and comparision. International Conference on: «Engineering: Issues, opportunities and Challenges for Development». (ISBN: 978-81-929339-1-7). Umrakh, Bardoli: S.N. Patel Institute of Technology & Research Centre, 11th April. 2015. URL: [file:///C:/Users/User/Downloads/15CE020PNP-JRP-JJBDEMOLITION METHODS 11-03-2015%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/15CE020PNP-JRP-JJBDEMOLITION%20METHODS%2011-03-2015%20(1).pdf)
5. Amrutha Mary A., Vasudev R. Demolition of Structures Using Implosion Technology. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (ISO 3297: 2007). International Conference On Innovations & Advances In Science, Engineering & Technology Technology. Arakunnam, Kerala, India: during 16th-18th July. 2014. Vol. 3. Special Issue 5. P. 401–407. URL: http://www.ijirset.com/upload/2014/special/iciaset/54_ICIASET_2014_amru.pdf
6. Rodrigues David José Bento. Controlled demolition of reinforced concrete buildings by the use of explosives. The Armed Forces Hospital building C5 case study. Lisboa: Academia Militar. 2014. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/Extended%20Abstract%20.pdf>
7. Özmen Hakan, Soyuluk Kurtuluş, Anil Özgür. Analysis of RC structures with civil security. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-6

different design mistakes under explosive based demolition (IF3.131), 15-th December. 2020. <https://doi.org/10.1002/suco.201900367>

8. McKenzie Graeme, Samali Bijan, Zhang Chunwei. Design criteria for a controlled demolition (implosion). *International Journal of GEOMATE*. ISSN: 2186-2982 (Print), 2186-2990 (Online). Australia, Japan: Geotec., Const. Mat. & Env., Jan. 2019. Vol. 16. Issue 53. P. 101–112. doi: <https://doi.org/10.21660/2019.53.90374>

9. Іванець Г. В., Толкунов І. О., Букін М. П. та ін. Математичне моделювання та алгоритм розрахунку зарядів бризантних вибухових речовин для підриву аварійних цегляних будівель та споруд. Системи озброєння і військова техніка. Серія: Безпека життєдіяльності та ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій (ISSN 1997-9568). Х.: ХНУПС. 2015. № 1(41). С. 159–164. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2583>

10. Руководство по подрывным работам (РПР-69). М.: Воениздат МО СССР. 1969. 464 с.

11. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні: затв. Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 р. № 469, зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 05.08.2013 р. № 1320/23852. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE23852.html

I. Tolkunov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

H. Ivanets, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

I. Popov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

O. Smirnov, Senior Lecturer of the Department

National University of Civil Defence Of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF CALCULATION OF EXPLOSIVE CHARGES FOR DESTRUCTION OF EMERGENCY BUILDINGS

A comparative analysis of existing methods for determining the quantitative and geometric indicators of explosive charges used to justify the decisions made by the heads of pyrotechnic units of the Central Command of the SES of Ukraine for the collapse of emergency buildings and structures unsuitable for further use. Based on the analysis, the method of calculating the mass and dimensions of explosive charges for the collapse of emergency buildings and structures was improved, which consisted in taking into account both the structural indicators of explosive charges and qualitative characteristics of explosives used by pyrotechnic units. The analytical dependencies of the existing methods take into account the value of the charge reduction factor of the explosive, which allows to more accurately quantify the charges of explosive charges and guaranteed to perform tasks for the pyrotechnic unit, which in turn reduces dangerous and unpredictable consequences for personnel and environment. The results of research and proposed improvements were confirmed during the practical implementation of the task of destroying the real brick chimney, located on the territory of «TEREN INVEST» in Ternopol, which was destroyed by explosives in 2020 by forces and means of pyrotechnic emergency. rescue squad of special purpose of the State Emergency Service of Ukraine in Ternopol region. This allowed to develop recommendations for improving the efficiency of demolition of an emergency building or structure unsuitable for further use, explosive method, which is to take into account the characteristics and importance of the task solved by the pyrotechnic unit, design characteristics of explosive charges and their spatial location, and quality characteristics of the substances themselves, which will allow a more balanced and accurate implementation of engineering decisions on the collapse of emergency buildings and structures in an explosive manner.

Keywords: explosive, explosive method of destruction of emergency buildings, TNT drill

References

1. Liu, C., Pun, S., Itoh, Y. (2003). Technical development for deconstruction

management. Proc. 11th Rinker Inter. Conf. On Deconstruction and Materials Reuse, Gainesville, USA, 86–203. Retrieved from <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB868.pdf>

2. Dantana, N., Touran, A., Wang, J. (2005). An analysis of cost and duration for deconstruction and demolition of residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 44(1), 1–15. Retrieved from

3. Arpita, R. Naik. (2019). Demolition of the Building – Review. / *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 8, 10, October 2019, 642–644. Retrieved from https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=ART20201611

4. Jayeshkumar, R., Jaydevbhai, J., Pranav, Patel. (2015). Demolition: methods and comparison. *International Conference on: «Engineering: Issues, opportunities and Challenges for Development»* (ISBN: 978-81-929339-1-7). Umrakh, Bardoli: S.N. Patel Institute of Technology & Research Centre, 11th April, 2015. Retrieved from [file:///C:/Users/User/Downloads/15CE020PNP-JRP-JJBDEMOLITION METHODS11-03-2015%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/15CE020PNP-JRP-JJBDEMOLITION_METHODS11-03-2015%20(1).pdf)

5. Amrutha, Mary A., Vasudev, R. (2014). Demolition of Structures Using Implosion Technology. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (ISO 3297: 2007)*. International Conference On Innovations & Advances In Science, Engineering & Technology Technology. Arakunnam, Kerala, India: during 16th-18th July, 2014, 3, 5, 401–407. Retrieved from http://www.ijirset.com/upload/2014/special/iciaset/54_ICIASSET_2014_amru.pdf

6. Rodrigues, David, José, Bento. (2014). Controlled demolition of reinforced concrete buildings by the use of explosives. The Armed Forces Hospital building C5 case study. Lisboa: Academia Militar. Retrieved from <file:///C:/Users/User/Downloads/Extended%20Abstract%20.pdf>

7. Özmen, H., Soyuluk, K., Anil, Ö. (2020). Analysis of RC structures with different design mistakes under explosive based demolition (IF3.131), 15-th December, 2020. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/suco.201900367>

8. McKenzie, G., Samali, B., Zhang, C. (2019). Design criteria for a controlled demolition (implosion). *International Journal of GEOMATE* ISSN: 2186-2982 (Print), 2186-2990 (Online). Australia, Japan: Geotec., Const. Mat. & Env., Jan. 2019, 16, 53, 101–112. doi: <https://doi.org/10.21660/2019.53.90374>

9. Ivanets, G. V., Tolkunov, I. O., Bukin M. P. (2015). Mathematical modeling and algorithm for calculating the charges of high explosives for detonation of emergency brick buildings and structures. *Weapons systems and military equipment. Series: Life safety and emergency response*. Kh.: KhNUAF, 1(41), 159–164. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2583>

10. Guidelines for demolition work (RPR-1969). M.: Voenizdat MO SSSR, 464.

11. Technical rules for conducting blasting operations on the day surface: approved Order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine dated 18.07.2013. № 469, registered in the Ministry of Justice of Ukraine dated 05.08.2013, 1320/23852. Retrieved from http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE23852.html

Надійшла до редколегії: 19.04.2022

Прийнята до друку: 13.06.2022