

УДК 623.454.38+534.222.2

doi: 10.32620/akt.2024.6.07

О. А. ПАВЛЕНКО, О. В. ШИПУЛЬ, В. Б. МИНТЮК,
Д. А. ТКАЧЕНКО, Д. А. БРЕГА, В. О. ГАРІН

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

СТВОРЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ГАЗОДЕТОНАЦІЙНОГО РОЗМІНУВАЧА

Предметом дослідження є процеси знешкодження мін та інших вибухових пристроїв, а також обладнання, яке створюється на основі цих процесів. Нагальна потреба в ефективних рішеннях обумовлена значним забрудненням території України вибухонебезпечними об'єктами, що потребує використання сучасних технологій для гуманітарного розмінування. *Метою* роботи є розробка концептуальної моделі ефективного, безпечного, автономного та економічного у використанні газодетонаційного розмінувача, здатного забезпечити довготривалу роботу без дозуправлення чи додаткового обслуговування. Основні *завдання* дослідження включають аналіз існуючих методів розмінування, виявлення їх переваг і недоліків, вибір оптимального підходу для розробки обладнання, а також створення попередньої конструкції та формування конструктивної схеми пристрою. В ході роботи проведено огляд традиційних контактних та безконтактних методів розмінування. Встановлено, що ударно-хвильовий метод є найпридатнішим для гуманітарного розмінування, проте сучасні установки мають суттєві недоліки: використання одноразових вибухових матеріалів, висока вартість, низька точність та обмежені можливості. У результаті досліджень запропоновано принцип дії та конструкцію газодетонаційного розмінувача, що базується на використанні детонаційних труб. Основним джерелом ударних хвиль є процес згоряння паливно-кисневої та паливно-повітряної сумішей у двох окремих камерах згоряння. Такий підхід дозволяє знизити ризики та забезпечити стабільну роботу пристрою. Розроблено тривимірну модель основного органу розмінувача з урахуванням компактності, ремонтпридатності та вимог до безпеки в умовах впливу вибуху. У *висновках* наголошено, що використання газодетонаційного методу є перспективним рішенням для гуманітарного розмінування завдяки його ефективності, простоті експлуатації, безперервності технологічного процесу та низькій вартості витратних матеріалів. Представлена робота спрямована на вирішення актуальних завдань з очищення великих територій України, забруднених вибухонебезпечними об'єктами, що дозволить значно прискорити процеси гуманітарного розмінування та зменшити витрати.

Ключові слова: гуманітарне розмінування; безконтактне розмінування; газодетонаційний розмінувач; ґрунтонепроникаючі хвилі; детонаційні хвилі; вибухові хвилі.

Вступ

На жаль, наразі Україна входить до переліку країн, які найбільш забруднені мінами та вибухонебезпечними предметами. Дехто називає Україну «найбільшим мінним полем» у світі, адже за даними прес-служби Міністерства оборони України [1] на сьогодні близько 174 тис. квадратних кілометрів території країни є забрудненою, це майже 30 % її загальної площі. Проте війна триває, і ці цифри не є остаточними, відбуваються обстріли, нові мінування тощо. Відповідно, назвати точну площу територій, забруднених вибуховими пристроями, наразі дуже складно.

Гуманітарний підхід до розмінування вимагає повного очищення території від мін – так, щоб зробити її придатною для землекористування. Стандар-

том ООН визначається коефіцієнт надійності гуманітарного розмінування на рівні 99,6%. Існуючі засоби розмінування поділяються на засоби ручного і механізованого розмінування. Найбільш поширеним способом розмінування, що відповідає гуманітарним цілям, залишається ручний. Вочевидь такий спосіб розмінування має суттєві недоліки – висока небезпечність й низька продуктивність. На жаль наявні в Україні системи механізованого розмінування є високовартісними, і тому використовуються в обмеженій кількості.

У сьогоднішніх реаліях встановлення мінних загорож, як засобу запобігання просування військ противника або захисту недостатньо укріплених рубежів класичним ручним способом є досить тривалим процесом, який не відповідає умовам сучасних динамічних бойових дій. Саме тому останнім



часом все ширше використовується дистанційне мінування з використанням авіаційних чи ракетно-артилерійських боєприпасів.

Дистанційне мінування регламентується відповідною Наставною «Застосування сил і засобів дистанційного мінування» [2], яка визначає організацію та порядок застосування сил і засобів дистанційного мінування в ході виконання заходів інженерної підтримки військ (сил) Збройних Сил України. Важливим документом, що передбачений цією наставною є формуляр мінного поля, де вказується повна інформація про нього, зокрема тип мін, цільова точка мінного поля та розмір безпечної зони. Такий формуляр стає в нагоді, коли з'являється потреба у знятті мінного поля для проходження власних сил чи під час гуманітарного розмінування після закінчення бойових дій.

Складність гуманітарного розмінування є зворотним боком високої бойової ефективності мінних полів, що встановлюються дистанційно. Незважаючи на наявність формулярів, інформація про розташування мінного поля, його глибину і протяжність не завжди може бути точною. На похибки можуть впливати різні чинники. Реальне положення і площа охоплення можуть відхилитися від теоретично очікуваних, оскільки параметри мінного поля задаються опосередковано, через координати наведення відповідного озброєння. Крім цього на точність розташування мінних полів впливають стан і якість боєприпасів, погодні й природні умови (сильний вітер, наявність лісових насаджень тощо). Ситуація ускладнюється тим, що для забезпечення безперервності мінного поля розташування ділянок, що утворюються окремими боєприпасами, призначаються з перекриттям, а це веде до змінної щільності мінування по протяжності загорожі. Підвищення бойової ефективності мінних полів часто вимагає доставляння на одне й теж місце мін різного призначення (протипіхотні, протитанкові тощо), що робить мінне поле ще більш непередбаченим. Іншим важливим чинником є те, що противник також захищає себе мінними полями на власний розсуд і, звісно, формулярів на них не надає.

З початку військової агресії в Україні значно збільшилася кількість територій, забруднених мінами, касетними боєприпасами та іншими вибухонебезпечними об'єктами. За даними міжнародного аналітичного центру безпеки Globsec [3], за теперішній час сапери очистили від мін близько 415 квадратних кілометрів (тобто менше ніж 6% від контрольованої Україною потенційно ураженої мінами землі або 2,5% від загальної площі). Ризик підірватися на міні в Україні зараз вищий, ніж в Афганістані чи Сирії. Донедавна очищали в середньому 64 квадратні кілометри на рік, причому основне наван-

таження в цьому несли підрозділи розмінування Міністерства оборони України та Міністерства внутрішніх справ України. Міжнародні неурядові оператори (HALO Trust, DDG та FSD) обробляли разом у середньому менше 2-х квадратних кілометрів на рік. На сьогодні найбільш забрудненими регіонами залишаються Харківська та Херсонська області. Не дивлячись на те, що в Україні вже зараз працює велика кількість команд із розмінування, за підрахунками експертів для очищення усїєї території України від боєприпасів існуючими темпами знадобиться близько 757 років, зазначає Deutsche Welle [4]. Тому розроблення нових, ефективних засобів розмінування є нагальним, відповідальним і важливим державним завданням, на вирішення якого у тому числі спрямована представлена робота. Завдання цього дослідження полягають у вивченні існуючих процесів знешкодження мін, з'ясуванні їх позитивних і негативних властивостей, виборі найбільш прийнятної з них для розроблення концептуальної моделі пристрою для гуманітарного розмінування.

1. Аналіз сучасних методів та обладнання для розмінування

На теперішній час існують два методи розмінування: ручний, коли пошук та знешкодження мін здійснюються саперами й механізований з використанням спеціальних машин і засобів. Перший метод є небезпечним, до того ж достатньо повільний і тривалий. Роботи ведуться людьми – фахівцями найвищої кваліфікації, життя яких становить виключну цінність. Саме тому вважається за доцільне використовувати їх на найскладніших рельєфах, що недосяжні для механізованих засобів.

Механізований метод знешкодження мін укрупнено можна поділити на контактний і безконтактний.

1.1. Розмінувачі контактної дії

У разі застосування контактної методи міни або просто викопуються з землі або підриваються завдяки механічному натискному чи ударному впливу на підривник. Прикладом такого розмінувача є інженерна машина розмінування M1 Assault Breacher Vehicle (M1 ABV) на базі шасі танка M1 Abrams (США), оснащена спереду клиноподібним мінним плугом з ножовим тралом [5] (рис. 1). Під час руху машини і поверхневі і заглиблені міни згрібаються на боки, створюючи безпечний прохід завширшки 4,5 метри. Глибина розмінування складає 0,36 м. Така машина добре зареко-

мєндувала себе на м'яких ґрунтах, але зовсім не придатна для робіт на скелястих ділянках. Значна маса цієї машини робить її недостатньо ефективною в весняний та осінній періоди, коли ґрунт просочений водою.



Рис. 1. Інженерна машина розмінування M1 Assault Breacher Vehicle (M1 ABV) [5]

Сьогодні в Україні налагоджено випуск колійних мінних тралів натискної дії [6]. Такий трал закріплюється спереду танка, і під час руху знешкоджує міни, утворюючи окремі проходи для правої та лівої гусениць (рис. 2).



Рис. 2. Танк Т-64БВ зразка 2017 року з колійним мінним тралом [6]

Вага такого тралу становить 6,5 тонн, що гарантовано достатньо для підриву будь якої протитанкової міни. Собівартість виготовлення одного комплексу з урахуванням додаткового обладнання, що потрібно для його монтажу становить близько 2,5 млн. грн. За нормативами ЗСУ один трал має витримувати 4-5 підривів протитанкових мін. Оскільки трали працюють у парі, обидва мають витримувати від 8 до 10 підривів. Як видно, знешкодження мін таким тралом хоча є швидким і ефективним, але коштує дорого.

Аналогом танкового мінного трала є трал для експлуатації на мінозахищених колісних машинах. Прикладом такого є SPARK, що виробляється компанією Pearson Engineering, Великобританія (рис. 3) [7]. Гідравлічна підвіска дозволяє забезпечити високу швидкість переміщення трала – до 50 км/год. Загальна його вага становить 3005 кг, ширина 3,14 м. Зусилля тиску на котку приблизно 200 кг, що забезпечує спрацювання мін – як протипіхотних, так

і протитанкових. Котки трала мають покриття з поліуретану і витримують вибух до 12 кг вибухівки у тротиловому еквіваленті.

Іншим представником машин для розмінування є машини з бойково-фрезерним виконавчим інструментом. Типовим представником таких машин є дистанційна система розмінування словацького виробництва Vožena 5 (рис. 4) [8]. Зазвичай такі машини універсальні, й можуть комплектуватися роторами ланцюгового типу, роторними фрезами та іншим інженерним приладдям.



Рис. 3. Трал SPARK у парі з Utility Vehicle M998 Humvee [7]



Рис. 4. Дистанційна система розмінування Vožena 5 з ротором ланцюгового типу [8]

Ротор обертається зі швидкістю 300...500 об/с, а обтяжувачі з силою б'ють по поверхні ґрунту, проникаючи на глибину до 0,3 м. Міни знешкоджуються через удар по підривнику. На рис. 5 показано конструкцію ротора ланцюгового типу, який оснащено ціпами – відрізкамі ланцюга з обтяжувачем на кінці [9].

Роторна фреза (рис. 6) оснащена твердосплавними зубцями, і обертаючись розрихлює ґрунт на глибину до 0,35 м [8]. Міни знешкоджуються здебільшого за рахунок їх розривання на шматки. І ланцюговий ротор і фреза витримують силу вибуху,

еквівалентну 9 кг тротилу. Машини такого типу можуть керуватися як безпосередньо оператором з кабіни, так і дистанційно, з відстані до 5000 м. Ширина розмінованого проходу становить 2,6 м для обох варіантів виконання. Додатково прохід очищується від будь-якої рослинності з діаметром стовбура до 350 мм та висотою до 5 м. Швидкість пересування під час роботи сягає 9 км/год.



Рис. 5. Конструкція ланцюгового ротора [9]



Рис. 6. Дистанційна система розмінування Вожепа 5 з роторною фрезною [8]

1.2. Розміновувачі безконтактної дії

Розміновувачі безконтактної дії знешкоджують міни завдяки хвильовому впливу на підричники. Хвилі можуть генеруватися як вибуховими речовинами так і електронними генераторами (магнітних хвиль, мікрохвиль тощо). Розроблення і реалізація останніх ведеться в галузі радіоелектроніки, і розглядатися в цій роботі не будуть.

Принцип дії розміновувачів з вибуховим типом впливу полягає у використанні спеціального шнура, який викидається на значну відстань та підриваєть-

ся, ефективно діючи вибуховою хвилею на протипіхотні та протитанкові міни з підривиком натискної дії, утворюючи безпечний прохід. Їх використовують за необхідності швидкого та оперативного створення проходів у мінних полях. Однак дальність і точність позиціонування незначна, але простота і швидкість застосування роблять їх незамінними на полі бою.

Типовим представником таких систем є установка розмінування M58 MICLIC (Mine Clearing Line Charge, дослівно – лінійний заряд розмінування), виробництва США (рис. 7) [10]. Шнур довжиною до 100 метрів із зарядом вибухівки всередині вистрелюється на поле та підривається, що веде до вибуху мін, які опинилися вздовж заряду на полосі до 8 метрів завширшки. Установка M58 MICLIC виготовляється у вигляді колісного або гусеничного причепа, який приєднується до будь-якої броньованої техніки, має одноразову дію і після кожного пострілу її слід транспортувати в тил для перезарядження.



Рис. 7. Солдати на бронетранспортері M113 їдуть на полігон, щоб запустити M58 MICLIC. Форт Чаффі, Арканзас, 19 липня 2011 р. [10]

Інженерна машина розмінування M1 Assault Breacher Vehicle (M1 ABV), наведена на рис. 8, комплектується двома вбудованими установками M58 MICLIC [5]. Запуск детонуючого шнура системи MICLIC показано на рис. 9 [5].



Рис. 8. Інженерна машина розмінування M1 Assault Breacher Vehicle (M1 ABV) з відкритими відсіками M58 MICLIC (нагорі) [5]



Рис. 9. Запуск лінійного заряду розмінування M58 MICLIC зі штурмової машини розмінування M1 Assault Breacher Vehicle (M1 ABV) [5]

Перелічені машини розмінування безконтактної дії не можуть бути використані для гуманітарного розмінування через наступні недоліки: застосування одноразових вибухових зарядів, висока вартість доставки вибухівки ракетами; складність точного позиціонування точок доставки вибухівки ракетними засобами; вибух, що генерується цими машинами не є спрямованим що значно обмежує його енергоефективність.

На підставі наведеного аналізу, можна зробити висновок, що, для гуманітарного розмінування найкраще підходить ударно-хвильовий метод. Але, на думку авторів, джерелом ударних хвиль має бути щось безпечніше ніж вибухові речовини. Тобто потрібно позбутися недоліків обох типів розмінувачів і об'єднати їх переваги: простоту експлуатації і безперервність технологічного процесу розмінувачів контактної дії та відсутність безпосереднього контакту з міною механічних частин розмінувача безконтактної дії. Остання перевага має вилитися в значне зменшення маси захисних пристроїв, оскільки навіть незначне віддалення від точки вибуху суттєво зменшує дію вибухової хвилі. Кількісно зменшення дії вибуху в залежності від відстані до місця вибуху можна оцінити по графіку, отриманому на основі експериментальних даних [11] і показаному на рис. 10. Як можна бачити при збільшенні відстані з 0,1 м до 0,5 м тиск у фронті вибухової хвилі зменшується більш ніж в 6 разів.

2. Розроблення концептуальної моделі газодетонаційного розмінувача

2.1. Обґрунтування принципу дії газодетонаційного розмінувача

Відомо, що найпотужнішою з ударних хвиль є детонаційна хвиля, що поширюється з надзвуковою

швидкістю і супроводжується екзотермічною хімічною реакцією перетворення вибухової речовини. Тиск, що створюється під час поширення детонаційної хвилі може сягати сотень і, навіть, тисяч кілопаскалів. Імовірно саме таку хвилю і слід застосовувати в пристрої для розмінування, що розробляється.

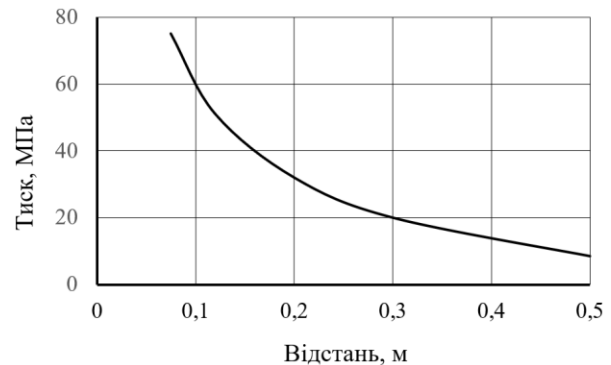


Рис. 10. Величина тиску у фронті вибухової хвилі в залежності від відстані до місця вибуху п'яти кілограм тринітролуолу

В науковому середовищі для вивчення ударно-хвильових процесів широко використовуються детонаційні труби. Їх конструкція проста і достатньо безпечна. В якості носія енергії в таких трубах використовують паливо-кисневі суміші. Вибір такого пристрою в якості базового аналога вирішує майже всі завдання, що поставлено: простота конструкції, безпечність, можливість тривалої роботи, мобільність, достатньо низька вартість витратних матеріалів.

Як було зауважено вище, в дослідних установках детонаційна хвиля генерується під час згорання паливно-кисневої суміші. Нажаль, портативних генераторів кисню не існує, і він постачається споживачеві у балонах високого тиску. Обмежений запас кисню зменшує час автономної роботи, а високий тиск у балоні робить його використання особливо небезпечним поряд з боеприпасами, що вибухають. Більш того, сама паливно-киснева суміш у великих об'ємах також виключно вибухонебезпечна. Приймаючи все це до уваги, в розмінувачі, що розробляється, пропонується використовувати паливно-повітряну суміш. Однак, отримати стійку детонацію в такій газовій суміші складніше. Енергія запалювання має бути значно вищою, ніж для паливно-кисневої суміші. В свою чергу, таку енергію можна отримати від ініціюючої детонаційної хвилі з переддетонаційної камери. Тобто розмінувач буде складатися з двох трубних камер згорання – переддетонаційної та основної детонаційної. Об'єм переддетонаційної камери в такому разі буде невеликим, і запасу кисню в балонах буде достатньо для тривалої роботи.

Таким чином можна визначити принцип роботи газодетонаційного розміновувача (рис. 11). Спершу переддетонаційна камера згорання заповнюється паливно-кисневою сумішшю. У той же час ведеться продування основної камери з метою очищення від відпрацьованих газів, що залишилися в ній після попереднього циклу й починається її заповнення паливно-повітряною сумішшю. Далі паливно-киснева суміш підпалюється, формуючи детонаційну хвилю, що пересувається в бік робочої труби. До цього моменту робоча труба вже заповнена паливно-повітряною сумішшю, яка і підпалюється ініціуючою детонаційною хвилею. Формується робоча детонаційна хвиля, спрямована на об'єкт, який слід знешкодити. Після чого цикл повторюється. З метою синхронізації перебігу робочого циклу переддетонаційна камера, основна детонаційна камера і магістраль наповнення відокремлюються одна від одної клапанами.

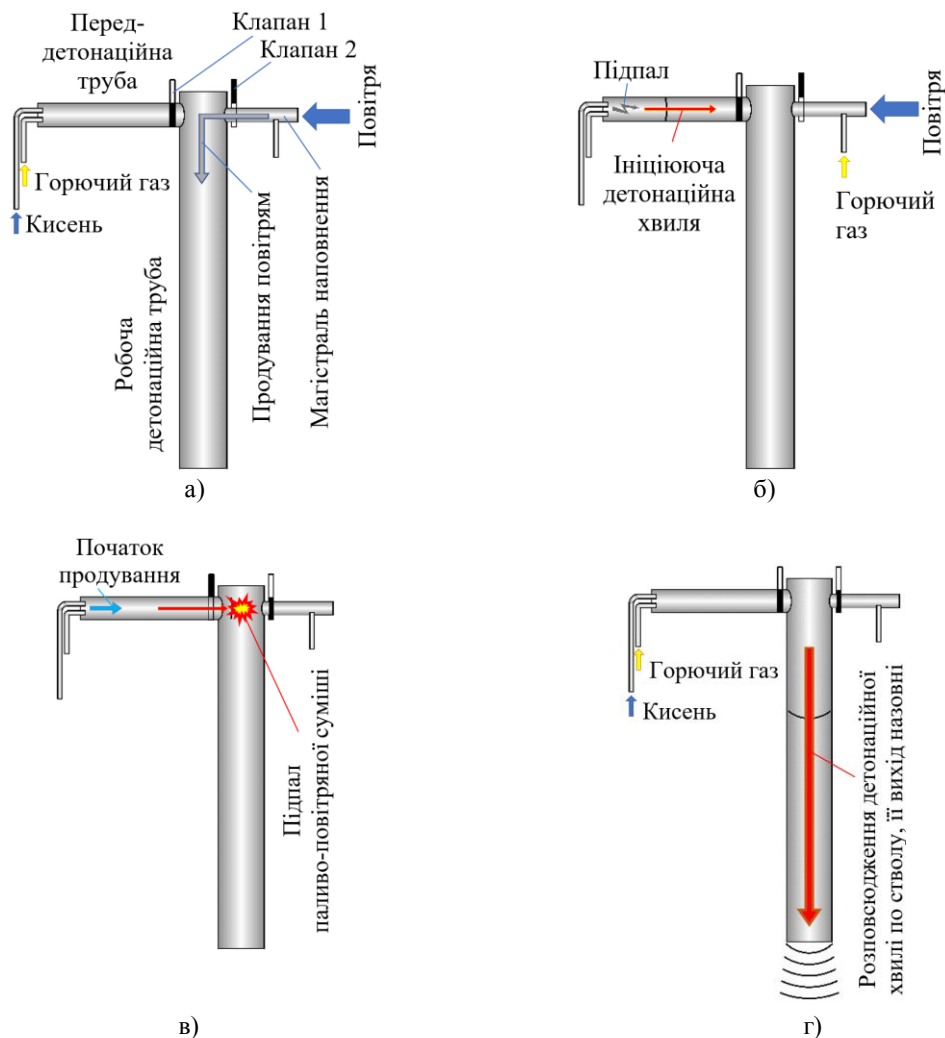


Рис. 11. Конструктивна схема та порядок роботи газодетонаційного розміновувача: а) наповнення переддетонаційної труби паливно-кисневою сумішшю; б) ініціювання детонаційної хвилі, наповнення основної детонаційної труби паливно-повітряною сумішшю; в) підпал основного паливно-повітряного заряду; г) розповсюдження детонаційної хвилі по стволу, її вихід назовні

2.2. Розроблення конструкції виконуючого органу газодетонаційного розміновувача

Тривимірну модель конструкції робочого органу газодетонаційного розміновувача (далі – розміновувача) будемо розробляти в системі автоматизованого проектування таким чином, щоб створити асоційовану модель, де усі деталі ув'язані одна з одною. В подальшому це спростить розроблення робочих креслеників та внесення змін до проекту після моделювання його роботи й розрахункового уточнення розмірів та форм.

З конструктивної схеми зрозуміло, що розміновувач складається з багатьох деталей: детонаційних труб, клапанів, магістралей подавання газоподібного палива, кисню й повітря. До цього ще буде додано системи кріплення й охолодження. А з урахуванням небезпечних умов роботи, коли окремі деталі

пристрою можуть бути пошкоджені (наприклад робочий ствол) слід забезпечити можливість швидкого відновлення. Через це конструкція розміновувача буде складаною (розбірною) з використанням болтових з'єднань.

Пошукові дослідження авторів та досвід їх попередньої роботи дають змогу орієнтовно призначити розміри як окремих конструктивних елементів так і майбутнього пристрою в цілому. Тривимірна модель газодетонаційного розміновувача наведено на рис. 12. Зважаючи на необхідність відносної компактності стволи основної детонаційної камери 1 переддетонаційної камери 2 пропонується встановлювати паралельно, а з'єднувати їх за допомогою кутової поворотної труби 3. Розділення робочої детонаційної труби на казенну частину 4 і ствол 1 підвищить ремонтпридатність розміновувача.

Подавання кисню і палива в переддетонаційну камеру ведеться через відсічні клапани 5 і 6. Подавання горючого газу в робочу трубу – через стандартні газові форсунки 8. Повітря нагнітається до магістралі наповнення 9 безперервно. Паливокиснева суміш в переддетонаційній камері підпалюється свічкою запалення 7. З метою спрощення системи управління клапанами пропонується виготовити розподільний клапан у формі стакану 10 з боковим отвором. Обертаючись, стакан буде послідовно приєднувати основну детонаційну камеру згорання то до магістралі наповнення, то до переддетонаційної камери. Більш того, стакан не матиме елементів, що під впливом високих температур можуть втратити працездатність. Обертання стакану і синхронізацію робочих циклів забезпечить кроковий двигун 11, встановлений на корпусі 12.

Кріплення розміновувача здійснюється за корпус 12 зверху та захисну плиту 13 знизу. На сторону захисної плити, що орієнтована на об'єкт знищення прикріплено додатковий еластичний захист у вигляді листа поліуретану 14, стійкого до враження осколками.

З метою спрощення системи управління клапанами пропонується виготовити розподільний клапан у формі стакану 10 з боковим отвором. Обертаючись, стакан буде послідовно приєднувати основну детонаційну камеру згорання то до магістралі наповнення, то до переддетонаційної камери. Більш того, стакан не матиме елементів, що під впливом високих температур можуть втратити працездатність. Обертання стакану і синхронізацію робочих циклів забезпечить кроковий двигун 11, встановлений на корпусі 12.

Конструкція розроблювального розміновувача забезпечує підвищення надійності його роботи в умовах дії вибуху міни на розміновувач тому, що відсутні рухомі частини зі сторони безконтактно-ударної дії детонаційної труби на міну. За рахунок

включення магістралі подачі суміші палива з киснем та її підключення до переддетонаційної камери досягається надійне ініціювання детонації.

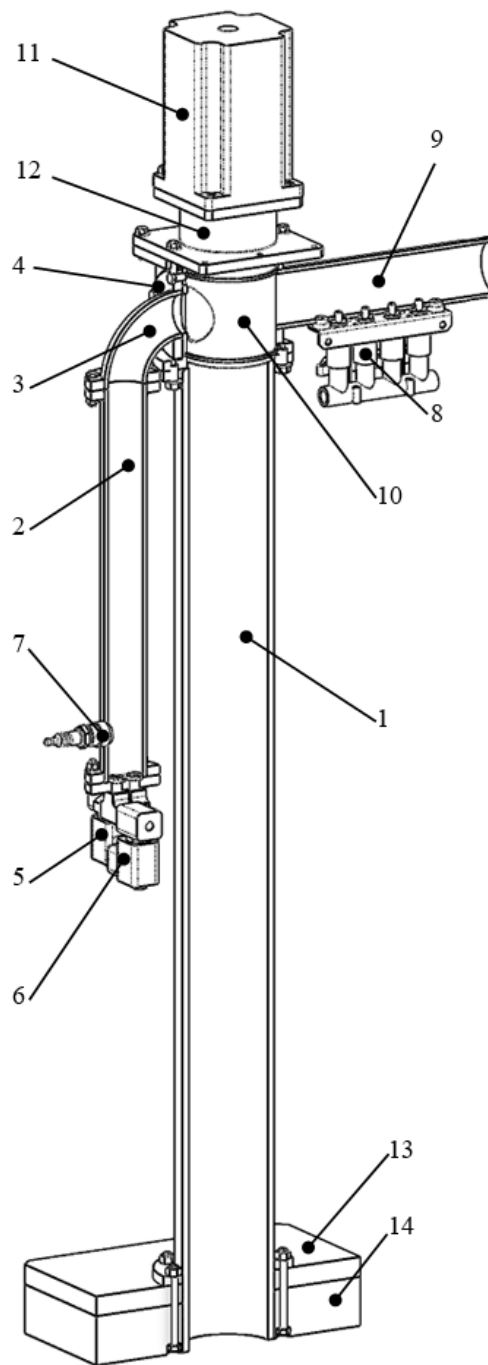


Рис. 12. Тривимірна модель газодетонаційного розміновувача:
1 – ствол робочої детонаційної труби;
2 – переддетонаційна труба; 3 – кутова поворотна труба; 4 – казенна частина розміновувача;
5 – відсічний газовий клапан; 6 – відсічний кисневий клапан; 7 – свічка запалювання;
8 – блок газових форсунок; 9 – магістраль наповнення; 10 – розподільний клапан;
11 – кроковий двигун; 12 – корпус; 13 – захисна плита; 14 – додатковий еластичний захист

З'єднання переддетонаційної камери згоряння з основною камерою з протилежної сторони до магістралі подачі суміші палива з повітрям таким чином, щоб клапан почергово з'єднував основну детонаційну камеру згоряння з магістраллю подачі суміші палива з повітрям або з переддетонаційною трубою, дає змогу формувати стабільно однаковий хімічний склад горючої суміші за концентрацією реагуючих компонентів як у переддетонаційній камері, так і у основній камері згоряння. Це досягається завдяки відокремленому формуванню суміші палива з киснем у переддетонаційній та суміші палива з повітрям у основній камерах.

Висновки

У результаті проведених робіт встановлено, що найпридатнішим методом для гуманітарного розмінування є метод дистанційного підриву мін. Виявлено, що сучасні установки дистанційного підриву потребують для роботи вибухових матеріалів, є одноразовими, мають низьку точністю та вузьку полосу розмінування. З метою подолання цих недоліків запропоновано застосувати інший метод генерації ударних хвиль – за допомогою детонаційних труб. Базуючись на цьому розроблено принцип роботи та конструкція газодетонаційного розмінувача. Побудовано попередню детальну тривимірну модель його робочого органу, розміри якого далі будуть остаточно визначені шляхом досліджень методами інженерного аналізу процесів згоряння та детонації, міцнісних, втомних розрахунків тощо.

Внесок авторів: формулювання мети та постановка задач досліджень – О. В. Шипуль; огляд та аналіз інформаційних джерел – О. А. Павленко, В. О. Гарін; визначення принципу дії газодетонаційного розмінувача Д. А. Брега, В. Б. Минтюк, Д. А. Ткаченко; розроблення тривимірної моделі О. А. Павленко; аналіз результатів, формулювання висновків – О. В. Шипуль, О. А. Павленко.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо матеріалів цієї публікації, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Робота виконана в рамках Проєкту № 2023.04/0027 за грантовим фінансуванням Національним фондом досліджень України.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Міністерство оборони України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://t.me/ministry_of_defense_ua/7632 (дата звернення: 11.10.2024).

2. Застосування сил і засобів дистанційного мінування: Настанова // Командування сил підтримки збройних сил України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sprotyv7.com.ua/wp-content/uploads/2023/12/2_ВКДП-10-9003.01-НАС-ЗАСТ-СИЛЗАС-ДИС-МІН.pdf (дата звернення 11.10.2024).

3. Osmolovska, I. *Walking on Fire: Demining in Ukraine* [Electronic resource] / I. Osmolovska. – Bratislava, Globsec, 2023. – 27 p. – Available at: <https://www.globsec.org/sites/default/files/2023-07/Demining%20in%20Ukraine%20Report.pdf> (accessed 11.10.2024).

4. Лебедева, О. За нинішніх темпів розмінування України займе 757 років [Електронний ресурс] / О. Лебедева. – Режим доступу: <https://www.dw.com/uk/za-nininih-tempiv-rozminuvanna-ukraini-zajme-757-rokiv-globsec/a-65455764> (дата звернення 11.10.2024).

5. Збройні Сили України мають на озброєнні штурмові машини розмінування М1150 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/zbrojni-syly-ukrayiny-mayut-na-ozbroyenni-shturmovi-mashyny-rozminuvannya-m1150/> (дата звернення 11.10.2024).

6. “Метінвест” розпочав виробництво танкових тралів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/metinvest-rozpochav-vyrobnytstvo-tankovyh-traliv/> (дата звернення 11.10.2024).

7. Сапери України опановують протимінні трали SPARK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/sapery-ukrayiny-opanovuyut-protyminni-traly-spark/> (дата звернення 11.10.2024).

8. *Bozena-5* допомагає розмінувати деокуповані території Харківщини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/bozena-5->

dopomagaye-rozminovuvaty-deokupovani-terytoriyi-harkivshhyni/ (дата звернення 11.10.2024).

9. Ожго, В. Стало відомо, скільки тракторів розмінування виконують гуманітарну місію в Україні [Електронний ресурс] / В. Ожго. – Режим доступу: https://auto.24tv.ua/stalo_vidomo_skilky_traktoriv_rozminuvannia_vykonuiut_humanitarnu_misiu_v_ukraini_n52599 (дата звернення 11.10.2024).

10. Україна отримала комплекси розмінування M58 MICLIC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayina-otrymala-kompleksy-rozminuvannya-m58-miclic/>. (дата звернення 11.10.2024).

11. Kingery, C. *Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst [Text]* / C. Kingery. – US Army Armament and Development Center, Ballistic Research Laboratory, 1984. – 51 с.

References

1. *Ministestvo oborony Ukrainy* [Ministry of Defense of Ukraine]. – Available at: https://t.me/ministry_of_defense_ua/7632 (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

2. *Zastosuvannya syl i zasobiv dystantsiynoho minuvannya: Nastanova. Komanduvannya syl pidtrymky zbroynykh syl Ukrainy* [The use of forces and means of remote mining: A manual. Command of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine]. 55 с. Available at: https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/12/2_VKDP-10-9003.01-NAS-ZAST-SYLZAS-DYS-MIN.pdf (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

3. Osmolovska, I. *Walking on Fire: Demining in Ukraine*. Bratislava, Globsec, 2023. 27 p. Available at: <https://www.globsec.org/sites/default/files/2023-07/Demining%20in%20Ukraine%20Report.pdf> (accessed 11.10.2024).

4. Lebedyeva, O. *Za nynishnikh tempiv rozminuvannya Ukrainy zajme 757 rokiv* [At the current rate, it will take 757 years to demine Ukraine]. Available at: <https://www.dw.com/uk/za-ninishnikh-tempiv-rozminuvanna-ukraini-zajme-757-rokiv-globsec/>

a-65455764 (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

5. *Zbrojni Syly Ukrainy mayut' na ozbroyenni shturmovi mashyny rozminuvannya M1150* [The Armed Forces of Ukraine have M1150 assault demining vehicles in service]. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/zbrojni-syly-ukrainy-mayut-na-ozbroyenni-shturmovi-mashyny-rozminuvannya-m1150/> (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

6. *“Metinvest” rozpochav vyrobnytstvo tankovykh traliv* [“Metinvest” starts production of tank trawls]. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/metinvest-rozpochav-vyrobnytstvo-tankovykh-traliv/> (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

7. *Sapery Ukrainy opanovuyut' protyminni traly SPARK* [Ukraine's sappers are learning how to operate SPARK mine trawlers]. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/sapery-ukrainy-opanovuyut-protyminni-traly-spark/> (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

8. *Bozena-5 dopomahaye rozminovuvaty deokupovani terytoriyi Kharkivshchyny* [Bozena-5 helps demine the de-occupied territories of Kharkiv region]. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/bozena-5-dopomagaye-rozminovuvaty-deokupovani-terytoriyi-harkivshhyny/> (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

9. *Ozhho, V. Stalo vidomo, skil'ky traktoriv rozminuvannya vykonuyut' humanitarnu misiyu v Ukraini* [It became known how many demining tractors are performing a humanitarian mission in Ukraine]. Available at: https://auto.24tv.ua/stalo_vidomo_skilky_traktoriv_rozminuvannia_vykonuiut_humanitarnu_misiyu_v_ukraini_n52599 (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

10. *Ukrayina otrymala kompleksy rozminuvannya* [Ukraine receives M58 MICLIC demining systems]. *Military*. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayina-otrymala-kompleksy-rozminuvannya-m58-miclic/> (accessed 11.10.2024). (in Ukrainian).

11. Kingery, C., Bulmash, G. *Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst*. US Army Armament and Development Center, Ballistic Research Laboratory, 1984. 51 p.

Надійшла до редакції 10.10.2024, розглянута на редколегії 18.11.2024

DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL MODEL FOR A GAS DETONATION DEMINER

Oleksiy Pavlenko, Olga Shypul, Vitalii Myntiuk, Denys Tkachenko, Dmytro Brega, Vadym Garin

The subject of this study is the neutralization processes of mines and other explosive devices, as well as the equipment created based on these processes. The urgent need for effective solutions is due to the significant contamination of Ukrainian territory with explosive objects, which requires the use of modern technologies for humanitarian demining. **The aim** of this work is to develop a conceptual model of an effective, safe, autonomous, and economical gas-detonation deminer that can provide long-term operation without refueling or additional maintenance. **The main objectives** of the study include an analysis of existing demining methods, identification of their ad-

vantages and disadvantages, selection of the optimal approach for the development of equipment, as well as the creation of a preliminary design and formation of a structural diagram of the device. During the work, a review of traditional contact and non-contact demining methods was conducted. It was established that the shock-wave method is the most suitable method for humanitarian demining; however, modern installations have significant drawbacks: the use of disposable explosive materials, high cost, low accuracy, and limited capabilities. **Because of this research**, the principles of operation and design of a gas-detonation deminer based on the use of detonation tubes were proposed. The main source of shock waves is the combustion process of fuel-oxygen and fuel-air mixtures in two separate combustion chambers. This approach reduces risks and ensures stable device operation. A three-dimensional model of the main body of the deminer was developed considering its compactness, maintainability, and safety requirements under explosion exposure conditions. The conclusions emphasize the use of the gas detonation method as a promising solution for humanitarian demining because of its efficiency, ease of operation, continuity of the technological process, and low cost of consumables. The present work is aimed at solving the current problems of clearing large territories of Ukraine contaminated with explosives, which will significantly accelerate humanitarian demining processes and reduce costs.

Keywords: humanitarian demining; non-contact demining; gas detonation deminer; ground-penetrating waves; detonation waves; blast waves.

Павленко Олексій Анатолійович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Шипуль Ольга Володимирівна – д-р техн. наук, доц., доц. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Минтюк Віталій Борисович – канд. техн. наук, доц. каф. проектування літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Ткаченко Денис Анатолійович – старш. викл. каф. міцності літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Брега Дмитро Андрійович – канд. техн. наук, доц., проф. каф. аерогідродинаміки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Гарін Вадим Олегович – канд. техн. наук, старш. досл., старш. наук. співроб. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Oleksiy Pavlenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Aircraft Manufacturing Department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: pavlenko.aleksey@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1628-2239, Scopus AuthorID: 57220201408.

Olga Shypul – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of the Technologies of Aircraft Manufacturing, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.shipul@khai.edu, ORCID: 0000-0002-1356-5831, Scopus AuthorID: 57192959380.

Vitalii Myntiuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Aircraft Design, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: vitalii.myntiuk@khai.edu, ORCID: 0000-0002-4047-0192, Scopus AuthorID: 57201067344.

Denys Tkachenko – Lecturer of the Department of Aircraft Strength, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: d.tkachenko@khai.edu, ORCID: 0000-0002-5006-6775, Scopus AuthorID: 57463439000.

Dmytro Brega – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Aerodynamic Department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: brega10.04@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5134-4351, Scopus AuthorID: 57209302559.

Vadym Garin – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of the Technologies of Aircraft Manufacturing, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: v.garin@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7788-0593, Scopus AuthorID: 57219015898.