

Троханяк О. М.

К.Т.Н., доцент

*Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України***Коломієць Л. П.**

К.С.Г.Н., С.Н.С.

*Національний науковий
центр «Інститут
землеробства Національної
академії аграрних наук
України»***Фурман В.А.**

К.С.Г.Н., С.Н.С.

*Державне підприємство
«Дослідне господарство
«Саливонківське» Інституту
біоенергетичних культур і
цукрових буряків***Сергєєва Н.В.**

К.Е.Н

*Інститут механіки та
автоматики
агропромислового
виробництва Національної
академії аграрних наук
України***Trokhaniak O**Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor*National University of
Bioresources and Nature
Management of Ukraine***Kolomiets L.**Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher*National Scientific Center
“Institute of Agriculture of the
National Academy of Agrarian
Sciences of Ukraine”***Furman V.**Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher*State Enterprise
“Salivonkovskoye
Experimental Farm” of the
Institute of Bioenergy Crops
and Sugar Beets***Serhieieva N.**Candidate of Sciences in
Economics.*Institute of Mechanics and
Automation of Agro-Industrial
Production of the National
Academy of Agrarian Sciences
of Ukraine***УДК 631.362.3:004.94****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-3-7****ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРИЙОМІВ, НАПРАВЛЕНИХ НА
ВІДНОВЛЕННЯ РЕЛЬЄФУ
ПОШКОДЖЕНИХ ВИБУХАМИ
ЗЕМЕЛЬ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ**

У статті досліджено та проаналізовано вплив збройної агресії та воєнних дій на ґрунтовий покрив сільськогосподарських угідь, зокрема механічне руйнування, забруднення та знищення родючого шару ґрунту внаслідок детонації ракет, авіабомб, артилерійських снарядів і вибухових предметів. Встановлено, що внаслідок обстрілів на полях утворюються вирви різного діаметра та глибини, а ґрунт у зоні вибуху зазнає ущільнення, перемішування, деградації структури та забруднення металевими уламками і токсичними речовинами. Обґрунтовано послідовність відновлення порушених земель, яка передбачає обстеження території, оцифрування пошкоджених ділянок із використанням супутникового, БПЛА- та наземного моніторингу, визначення геометричних параметрів вирв, відбір і лабораторний аналіз зразків ґрунту, видалення забрудненого шару та відновлення рельєфу. Запропоновано спеціальний робочий орган на стрілі екскаватора для механізованого зчищення пошкодженого шару ґрунту з внутрішньої поверхні вирви. Для транспортування зчищеного матеріалу рекомендовано використовувати гнучкий гвинтовий конвеєр із секційним шнековим робочим органом. На основі геометричних параметрів вирв передбачено визначення необхідних об'ємів мінерального та потенційно родючого ґрунту для їх засипання, ущільнення і планування поверхні. Подальше відновлення родючості передбачає внесення рослинних решток, біопрепаратів, гумінових речовин та проведення фіторе mediaції багаторічними травами. Запропонований комплекс технологічних прийомів дає змогу підвищити точність оцінювання пошкоджень, механізувати рекультиваційні роботи, скоротити строки їх виконання, зменшити витрати, відновити агрофізичні, агрохімічні та біологічні властивості ґрунту, повернути землі до сільськогосподарського використання та знизити екологічні ризики.

Ключові слова: ґрунти сільськогосподарського призначення, вирва, забруднення, рекультивація, робочий орган, гнучкий гвинтовий конвеєр..

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРИЙОМІВ, НАПРАВЛЕНИХ НА
ВІДНОВЛЕННЯ РЕЛЬЄФУ
ПОШКОДЖЕНИХ ВИБУХАМИ ЗЕМЕЛЬ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ © 2026 by Троханяк О.
М., Коломієць Л. П., Фурман В.А.,
Сергеева Н.В. is licensed under CC BY 4.0

Постановка проблеми. В сучасних умовах ведення сільського господарства стали можливими випадки, коли родючі землі стають значно пошкодженими внаслідок військових дій, зокрема завдяки потужним вибухам снарядів та мін, які залишають на їх поверхнях глибокі вирви. Навіть враховуючи ті обставини, що, під час вибухів, з відповідної глибини на поверхню піднімається пласти неродючого ґрунту, які розкидається навколо воронки на значну площу, у середині самих воронки з'являється значно забруднений зпекшийся ґрунт, який потрібно зібрати й вивезти для утилізації або дезактивації. Внаслідок вибухів сучасного озброєння внутрішня поверхня вирв містить дуже небезпечні речовини, такі як фосфор, важкі метали, навіть радіаційні компоненти.

Отже, в даному разі, не тільки механічне пошкодження родючого ґрунту, яке вимагає у подальшому кропітких та трудомістких дій по відновленню рельєфу поверхні, а й небезпечне хімічне, та навіть радіаційне забруднення ґрунтового покриву.

Аналіз останніх досліджень. Крім безпосередньої руйнації ґрунтового покриву від детонації ракет, авіабомб, артилерійських снарядів та інших вибухових предметів, значну територію земель сільськогосподарського призначення заміновано, на якій неможливо проводити сільськогосподарські роботи [1-3].

На полях, усіяних вирвами різного діаметра та глибини від вибухів, неможливо безпечно проводити механізовані роботи сільськогосподарською технікою. На рис. 1 показане поле, яке густо вкрите вирвами (воронками) від вибухів снарядів, мін, ракет внаслідок масованих ракетних та артилерійських обстрілів [4, 5].

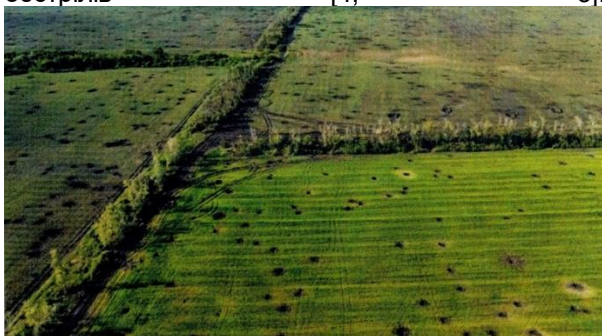


Рис. 1. Поле, понівечене вирвами артилерійських снарядів

Найбільший вплив на сільськогосподарські землі та ґрунтовий покрив має авіація та артилерія ворога (близько 80 %). Унаслідок ракетних та артилерійських обстрілів поля вкриті воронками (вирвами) від вибухів снарядів, мін, ракет. Вирви є різного діаметра та глибини. Воронки від снарядів калібру 220 мм (РСЗВ «Ураган») мають діаметр близько 7 м, 152 мм (гаубиці, самохідні гармати) – від 4 м до 6 м, 120 мм (РСЗВ «Град») – 2,5–3,5 м, 82 мм (міномети) – близько 1 м. Глибина вирв на полях становить від 30 см (міномет калібру 82 мм) до 8 м (крилаті ракети) і ґрунт, що залишається на місці удару, турбулізується, піддається динамічному ущільненню, а також містить численні металеві уламки із залишками вибухових токсичних речовин, тобто відбувається погіршення фізичних властивостей ґрунтів, зміни гранулометричного складу, ущільнення та знеструктурнення внаслідок зменшення вмісту агрономічно-цінних фракцій тощо [6, 7].

Великої шкоди завдається землям сільськогосподарського призначення від падіння та детонації бойових частин ракет, завдяки чому відбувається механічна деградація ґрунтів.

На рис. 2 показані вигляд вирв від авіабомб та БпЛА, на прикладі яких досліджували наслідки воєнних дій на ґрунтовий покрив.

Кожен вибух снаряду на полі утворює вибухову хвилю і хімічне забруднення, тобто утворюється вирва, ущільнення ґрунтів, знищення рослинності і загибель ґрунтової фауни. ґрунт, що залишається на місці удару не тільки турбулізується, піддається динамічному ущільненню, а також містить численні металеві уламки з залишками вибухових токсичних речовин, тобто відбуваються погіршення фізичних властивостей ґрунтів, зміни гранулометричного складу, ущільнення та знеструктурнення ґрунтів [8-10].

Згідно статті 52 Закону України «Про охорону земель» рекультивації підлягають землі, які зазнали змін у структурі рельєфу, екологічному стані ґрунтів і материнських порід та в гідрологічному режимі внаслідок проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт [11]. Тобто рекультивація проводиться на землях, порушених внаслідок цивільної

діяльності людей. Рекультивація земель, порушених вибухами ракет великої потужності не передбачена нормами чинного законодавства, а тому відсутнє практичне її застосування.

На сьогодні відомий спосіб відновлення родючості ґрунтів, пошкоджених внаслідок бомбардувань [12], яким окреслено загальний порядок робіт з відновлення ґрунтів, пошкоджених вибухами боєприпасів.

Недоліком запропонованого способу є відсутність конкретних рекомендацій, які

придатні для відновлення різних типів ґрунтів із різним ступенем ураження ґрунтового покриву.

Отже, необхідно створити спосіб рекультивації земель, пошкоджених вибухами ракетних боєприпасів, придатного для відновлення різних типів ґрунтів, які постраждали від вибухів ракет великої потужності, і яким буде здійснено очищення ґрунтів від токсичних забруднень, а також відновлено показники родючості ґрунтів.



а



б



в



г



д



е

Рис. 2. Вигляд вурв від авіабомб та БПЛА з різними діаметрами d та глибинами h :
а – вурва $d = 8 \text{ м}$ і $h = 6 \text{ м}$; б – $d = 6 \text{ м}$ і $h = 4,5 \text{ м}$; в – вурва $d = 3,6 \text{ м}$ і $h = 1,2 \text{ м}$; г – вурва $d = 4 \text{ м}$ і $h = 1 \text{ м}$; д – вурва $d = 0,6 \text{ м}$ і $h = 0,3 \text{ м}$; е – вурва $d = 1,4 \text{ м}$ і $h = 1 \text{ м}$

Перетворення забруднених земель у придатну для використання площу, та збереження

родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення є актуальною науково-технічною проблемою

Мета дослідження. Розроблення заходів направлених на відновлення рельєфу та збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення, пошкоджених вибухами ракетних боєприпасів, шляхом аналізу та оцінювання шкоди, завданої земельним ресурсам військовою агресією, а також розроблення нових конструкцій робочих органів для зчищення та переміщення ґрунту з середини вирви.

Виклад основного матеріалу дослідження. Здійснити відновлення рельєфу та збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення, пошкоджених вибухами ракетних боєприпасів забруднених земель можна механічно.

Для цього спочатку потрібно провести оцифрування ділянок за допомогою супутникового / БПЛА / наземного моніторингу з прив'язкою до системи координат. Оцифровувати потрібно всі ділянки незалежно від масштабу ураження. Навіть якщо фізичне пошкодження ґрунту незначне, можливе сильне хімічне забруднення. Якщо пошкодження поверхні ділянок складає 75–100 % площі, то можна законсервувати пошкоджені ділянки і дозволити природі запустити процес самовідновлення, оскільки подальше завезення ґрунту хорошої якості — це затратно.

Якщо ж пошкодження складає 50–75 % площі ділянок, то земля підлягає рекультивaciji.

Моніторинг земель для максимального охоплення всієї потенційно ураженої площі з використанням сучасних технологій:

- високоточні супутникові дані для дистанційного моніторингу і оцифрування ділянок, що зазнали впливу воєнних дій;

- дрони, як для фото- та відеофіксації, так і магнітометричної зйомки для дистанційного виявлення та ідентифікації металевих і вибухонебезпечних предметів із метою подальшого розмінування та знешкодження.

Це дозволить зафіксувати, відцифрувати і встановити рівень шкоди кожної потенційно небезпечної ділянки поля. Прогресивні господарства, холдинги, які на своїх полях уже використовують елементи точного землеробства, можуть власними ресурсами відцифровувати пошкоджені ділянки, вирви тощо [4, 5].

Польові дослідження, ґрунтові обстеження та рекультивация порушених земель вирвами від вибухів ракет великої потужності проводиться тільки після обстеження їх (вирв) підрозділами ДСНС. У разі виявлення власником / користувачем земельної ділянки вирв (и) на цій ділянці, власник/користувач

земельної ділянки звертається до відповідного підрозділу ДСНС України, щодо проведення ним обстеження вирви та навколо неї на предмет виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів. ДСНС України піротехнічними підрозділами проводить обстеження вирв на предмет виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Після проведення відповідних робіт піротехнічний підрозділ ДСНС України письмово повідомляє власника/користувача земельної ділянки про те, що територія вирви і навколо неї є безпечною для подальшого використання.

Далі здійснюють польові дослідження вирви (рис. 3). Для цього заміряють параметри вирви: діаметр поверхні вирви d_1 і днища вирви d_2 , товщину виверженого ґрунту t , глибину вирви H . Також заміряють радіальний бруствер з виверженого вибухом ґрунту: висота h і ширина b , відстань розльоту ґрунту l поза бруствером та середню $l_{\text{сер}}$.



Рис. 3. Схема вирви в плані

Далі потрібно провести відбір зразків у зоні враження (окремо) та ділянки навколо (окремо) та проаналізувати на вміст забруднюючих речовин. Відбирають зразки виверженої ґрунтової маси для проведення лабораторних досліджень на предмет вмісту важких металів радіально по бортах вирви, на бруствері та радіально на відстані 5, 10, 20 метрів від бортів вирви. Виготовляються змішані зразки ґрунту для проведення лабораторних досліджень. Відбирають також зразок води, за наявності її у вирві, для проведення лабораторних досліджень.

На основі отриманих даних щодо рівня забруднення сільськогосподарських земель прийняти рішення щодо можливості ведення сільського господарства і подальшого цільового використання.

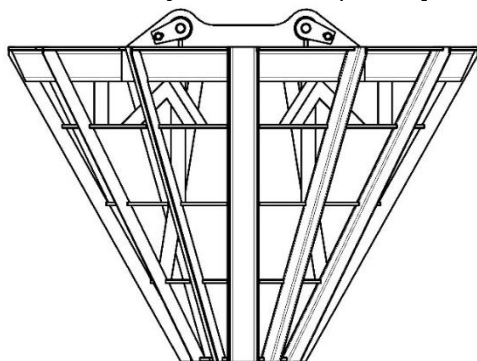
Після проведення очищення ділянок від джерела забруднення та уламків, необхідно відновлювати ґрунти, пошкоджені вибухами, тобто повернути ґрунту здоровий баланс та родючість.

Для відновлення ділянок, пошкоджених вибухами, необхідно зняти чи зчистити поверхневий шар ґрунту, оскільки окрім хімічного забруднення важкими металами, також вигорає родючий шар ґрунту, відбувається зневоднення і гинуть як патогенні мікроорганізми, так і корисна біота.

Якщо на поверхні воронки виявлено небезпечну концентрацію важких металів та інших небезпечних речовин, то знятий забруднений шар ґрунту необхідно утилізувати. Якщо знятий шар поверхні вирви містить допустиме значення концентрації забруднюючих речовин, то зчищений шар можна залишити на дні воронки.

Для зняття та зчищення пошкодженого поверхневого шару ґрунту у вирві, яка утворилася внаслідок вибухів, рекомендовано використовувати робочий орган для відновлення рельєфу земель сільськогосподарського призначення, який дозволить механізувати даний процес [13-15].

Робочий орган складається з рами у вигляді кругів, до яких приварено швелери та кутники (рис. 4). По висоті зварна конструкція підсилюється металевими кільцями. Зверху до робочого органа приварено кронштейн для кріплення до стріли екскаватора з можливістю повороту. Робочий орган закріплено на стрілі екскаватора за допомогою кронштейнів. За допомогою гідравлічної системи робочий орган може повертатися під кутом та здійснювати повороти навколо осі органа. Повертання робочого органа дає можливість підібрати кут нахилу робочого органу відносно поверхні вирви, поверхневий шар якої необхідно зчистити. Ребра полиць швелерів і кутників, які приварено на робочому органі, дадуть можливість зняти верхній шар поверхні вирви і таким чином звільнити її від пошкодженого оплавленого ґрунту, який містить важкі метали та інші шкідливі речовини.



а



б

Рис. 4. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) робочого органу для зчищення пошкодженого шару ґрунту в середині вирви

Для зчищення поверхневого шару ґрунту розроблений робочий орган було закріплено на стрілі екскаватора за допомогою кронштейнів.

Схема роботи екскаватора із встановленим робочим органом показана на рис. 5.

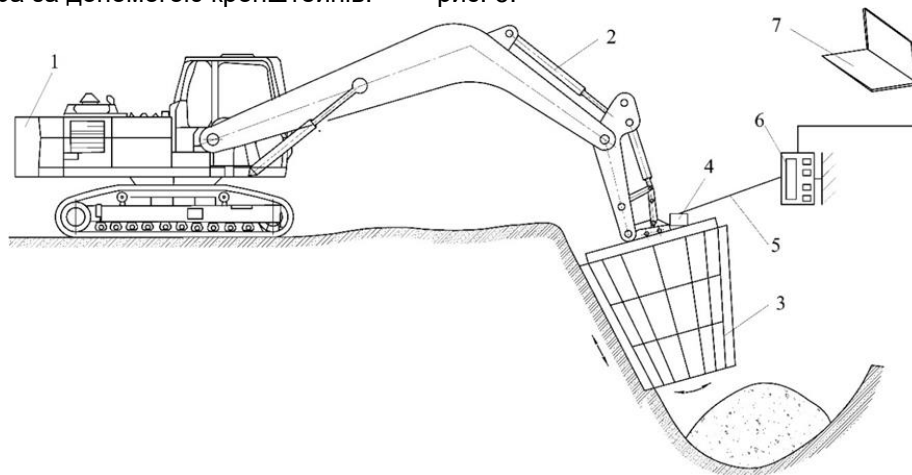


Рис. 5. Схема роботи екскаватора із встановленим робочим органом для зчищення пошкодженого ґрунту усередині вирви: 1 – екскаватор; 2 – стріла екскаватора; 3 – робочий орган; 4 – тензодатчик; 5 – трос; 6 – електронний динамометр; 7 – ноутбук

Під час утилізації знятого забрудненого шару ґрунту з середини вирви можна використовувати гнучкий гвинтовий конвеєр з секційним шнековим робочим органом [16-18].

На рис. 6 показана конструктивна схема такого конвеєра. Він містить з раму 1, на якій закріплено завантажувальну 2 та вивантажувальну 3 гнучкі магістралі, що складаються з нерухомих кожухів та гнучких гвинтових секційних шнеків.

Кожух завантажувальної магістралі 2 на одному кінці оснащено самозавантажувальним отвором 4, а кожух вивантажувальної магістралі 3 має отвір 5 для вивантаження матеріалу. З інших кінців обидва кожухи з'єднані з привідними валами перевантажувального патрубку 6. Співвісно з гнучкими кожухами магістралей, з іншого боку

патрубка 6, вали гвинтових секційних шнеків через ланцюгові передачі кінематично з'єднані з проміжним валом 7. На корпусі перевантажувального патрубку 6 закріплено нижній 8 і верхній 9 кронштейни, за допомогою яких конвеєр приєднано до валу відбору потужності навісної системи машинно-тракторного агрегату класу 1,4. Під час роботи кінематично зв'язані приводні вали гнучких гвинтових секційних шнеків, проміжний вал та вал відбору потужності машинно-тракторного агрегату забезпечують обертання даних робочих органів конвеєра. Встановлено, що цієї потужності вистачає для забезпечення обертання як завантажувальної так і вивантажувальної магістралі гнучкого гвинтового конвеєра.

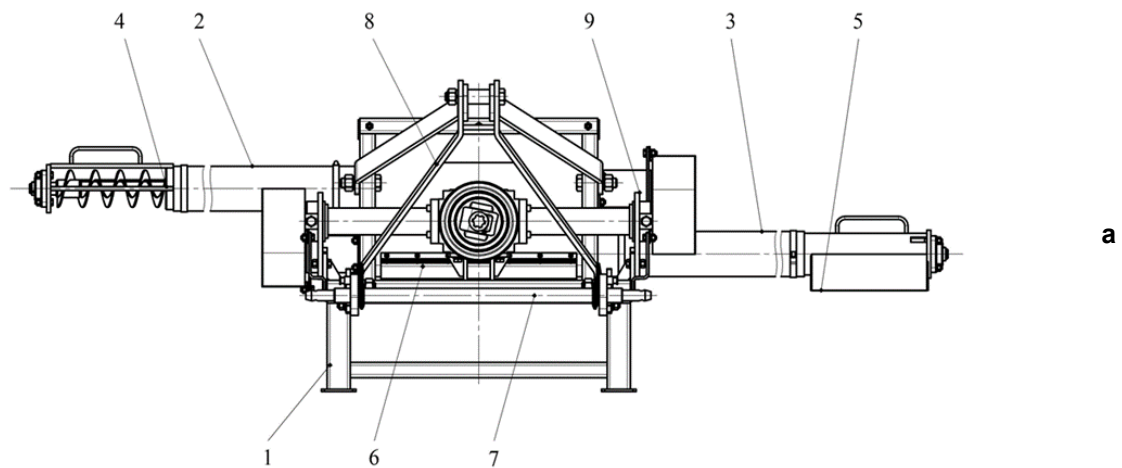


Рис. 6. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) гнучкого гвинтового конвеєра: 1 – рама; 2 – завантажувальна магістраль; 3 – вивантажувальна магістраль; 4 – отвір самозавантаження; 5 – отвір вивантаження; 6 – перевантажувальний патрубок; 7 – проміжний вал; 8 – нижній кронштейн; 9 – верхній кронштейн

Для транспортування сипкого зчищеного пошкодженого ґрунту завантажувальну магістраль із гнучким гвинтовим секційним шнеком

встановлювали у середині вирви. Робочий орган конвеєра захоплює ґрунт через самозавантажувальний отвір і під час обертання

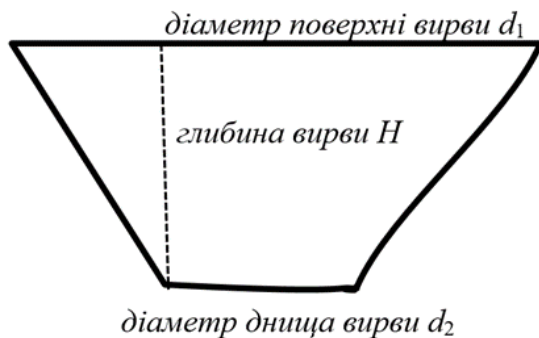
транспортує його всередині нерухомого гнучкого кожуха у бік перевантажувального патрубку транспортера, після чого через вивантажувальну магістраль з гнучким гвинтовим секційним шнеком подає матеріал у зону вивантаження – до кузова транспортного засобу.

Далі для відновлення рельєфу та збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення, пошкоджених вибухами ракетних боєприпасів слід провести підготовку земель для їх подальшого використання. Для цього на підставі замірів параметрів вирв потрібно обчислити потребу у мінеральних та родючих ґрунтах.

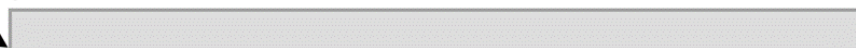
Для цього знаходять загальний об'єм ґрунту V_1 , виверженого вибухом, в який входить ґрунт, вивержений у бруствері V_2 , і ґрунт, що знаходиться поза бруствером V_3 .

Обчислюють теоретичний об'єм виверженого вибухом ґрунту з вирви. Вирва за своєю об'ємною фігурою має форму перевернутого зрізаного конусу (рис. 7), об'єм якого, визначено за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot H \cdot (d_1^2 + d_2^2 + d_1 \cdot d_2)}{12} \quad (1)$$



товщина ґрунту t



відстань розльоту ґрунту l

Рисунок 9. Схема поперечного перерізу прямокутного тороїда

Об'єм потенційно-родючого шару ґрунту товщиною $k = 0,3$ м для покриття ним мінерального ґрунту у вирві визначають за формулою об'єму зрізаного конусу:

$$V_4 = \frac{\pi \cdot k \cdot (d_1^2 + d_2^2 + d_1 \cdot d_2)}{12} \quad (5)$$

Необхідний об'єм потенційно-родючого шару ґрунту відділяють з виверженої ґрунтової маси і складають у бурт.

Вирву радіально загортають і засипають, розпочинаючи з відстані, що знаходиться поза межами бровки вирви (рис. 10), виверженим мінеральним ґрунтом, об'єм якого дорівнює $V_1 - V_4$

Рис. 7. Схема поперечного перерізу вирви

Далі обчислюють об'єм виверженого ґрунту в бруствері як Об'єм чотирикутного тороїда (тора з поперечним перерізом у формі чотирикутника) за другою теоремою Гульдіна: об'єм тіла обертання дорівнює добутку площі фігури, що обертається, на довжину кола, яке описує її центр мас (рис. 8).

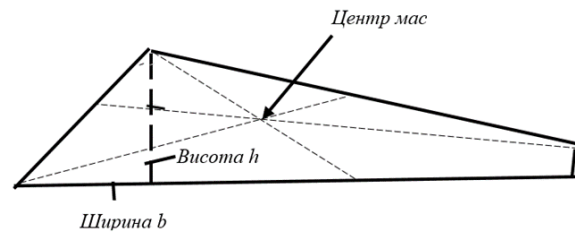


Рис. 8. Схема поперечного перерізу бруствера

Формула для визначення об'єму ґрунтової маси в бруствері:

$$V_2 = 2 \cdot \pi \cdot S \cdot R, \quad (2)$$

де S — площа чотирикутника (поперечного перерізу бруствера); R — відстань від осі обертання до центру мас (барицентра).

Далі розраховують об'єм виверженого ґрунту поза межами бруствера як в прямокутному тороїді шириною рівною відстані розльоту ґрунту l і товщиною виверженого ґрунту t (рис. 9) за формулою:

$$V_3 = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot t \cdot R_{\text{ср}}, \quad (3)$$

де $R_{\text{ср}}$ — середній радіус засипання, який визначають за формулою:

$$R_{\text{ср}} = \frac{d_1 + 2 \cdot b + 2 \cdot l}{2 \cdot d_1 + 4 \cdot b} \quad (4)$$

екскаватором-навантажувачем або іншою технікою з відвалом та ковшем, наприклад: екскаватор-навантажувач MBL-X 920 94P, ST3 або екскаватор-навантажувач JCB 4CX Sitemaster.

Загорнуту та засипану у вирву мінеральну ґрунтову масу періодично ущільнюють ковшем екскаватора-навантажувача. Загортають та засипають вирву мінеральним ґрунтом нижче на 0,3 м від поверхні ділянки. Мінеральний ґрунт на вирві покривають потенційно-родючим шаром ґрунту товщиною 0,3 м та ущільнюють.

Проводять вирівнювання (планування) території ділянки відвалом екскаватора-навантажувача.

Земельну ділянку розміром квадрата, сторона якого дорівнює $a = d_1 + 2 \cdot b + 2 \cdot l + 5 \text{ м}$ (5 м додається площа земельної ділянки на якій працювала техніка під час загортання вирви), переорюють.

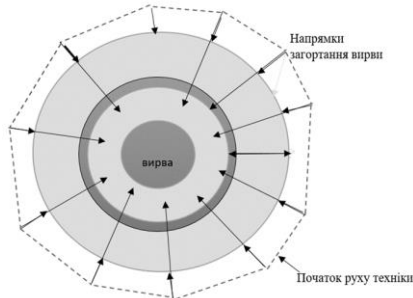


Рис. 10. Спосіб загортання та засипання вирви мінеральним ґрунтом

Внаслідок вибухів, термічного впливу, переміщення та перемішування ґрунтових мас, відбувається також біологічна деградація ґрунтів – знищення агрономічно корисних мікроорганізмів, від яких залежить утворення родючого шару ґрунту та його здоров'я.

З метою прискорення гумусоутворення потенційно-родючий ґрунт на земельній ділянці мульчують рослинними рештками. Готують суміш ґрунту з подрібненою (15–20 см) соломою злакових, зернобобових або інших рослинних решток з розрахунку 3 тони/га.

Вносять біопрепарати (деструктори), які прискорюють розкладання рослинних решток, перетворюють органіку, утворюючи гумус, пригнічують розвиток патогенів, сприяють покращенню водно-фізичних властивостей ґрунту. Біопрепарати вносяться у вологий ґрунт ввечері чи в похмуру погоду. Норма внесення деструктора 0,5–2 л/га, яка залежить від типу ґрунту та його механічного складу. Ділянку рівномірно обробляють робочим розчином.

Для підвищення родючості ґрунту вносять гумінові препарати та біоактиватори, які містять гумінові та фульвокислоти у поєднанні з мікрофлорою, які безпосередньо впливають на родючість. Норми внесення в ґрунт гумінових препаратів та біоактиваторів розраховуються на основі типу культури та початкового вмісту гумусу в ґрунті.

Після внесення біодобрих земельну ділянку культивують або дискують, вносять мінеральні добрива та проводять передпосівний обробіток ґрунту.

Не зважаючи на те, що вміст важких металів може не перевищувати ГДК, обов'язково здійснюють фіторе mediaцію ґрунту впродовж трьох років – висів однієї або кількох багаторічних трав, які поглинають важкі метали: райграс багаторічний або конюшина.

Висівають трави навесні під покривні культури – ячмінь ярий або пшениця яра. Під час сіви обов'язково збагачують мікробіоту ґрунту

біопрепаратами-мобілізаторами:

азотфіксуювальні добрива в своєму складі мають бактерії, які засвоюють молекулярний азот з повітря, перетворюють його в амонійну форму, яку можуть засвоювати рослини. Добрива вносяться 10–20 мл на сотку;

фосфат- і каліймобілізуючі добрива в своєму складі мають бактерії, які перетворюють важкодоступні сполуки фосфору і калію ґрунту в доступні для рослин форми. Вносяться 30–50 мл на сотку.

Після досягнення та скошування трав, підсушену рослинну масу вивозять та утилізують (спалюють) на спеціально відведених майданчиках, облаштованих на землях несільськогосподарського призначення.

Наявність важких металів у ґрунті визначають кожного року ремедіації після видалення та утилізації рослин.

Отже, даний метод відновлення рельєфу та збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення, пошкоджених вибухами ракетних боєприпасів, забезпечує підвищення точності оцінювання масштабів пошкоджень земельних ділянок, скорочення строків проведення рекультиваційних робіт, зменшення витрат на відновлення порушених територій, відновлення агрофізичних, агрохімічних і біологічних властивостей ґрунту, повернення земель до господарського використання та зниження екологічних ризиків, пов'язаних із наслідками вибухів ракетних боєприпасів. Застосування цього способу забезпечує повернення пошкоджених земель до сільськогосподарського використання, відновлення їх продуктивності та покращення екологічного стану територій.

Висновки. 1. Досліджено вплив воєнних дій на ґрунти сільськогосподарського призначення. Вивчено та проаналізовано вплив воєнних дій на ґрунтовий покрив, зокрема, пошкодження та знищення родючого шару ґрунту внаслідок детонації різного роду вибухових предметів (ракет, авіабомб, артилерійських снарядів тощо).

2. На основі досліджень впливу воєнних дій на ґрунти сільськогосподарського призначення отримано метод відновлення рельєфу та збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення, пошкоджених вибухами ракетних боєприпасів. На підставі замірів параметрів вирв від вибухів була визначена потреба у мінеральних та родючих ґрунтах для вирівнювання поверхні землі.

3. Для зняття та зчищення пошкодженого поверхневого шару ґрунту всередині вирви, що утворилася внаслідок вибухів, рекомендовано використовувати робочий орган, який дозволяє механізувати цей процес. Під час подальшої утилізації зчищеного забрудненого шару ґрунту, що буде знаходитись на дні вирви, можна

використовувати гнучкий гвинтовий конвеєр із секційним шнековим робочим органом, який дозволить його транспортування у кузов транспортного засобу.

Список використаних джерел

1. Meaza H., Ghebreyohannes T., Tesfamariam Z., Gebresamuel G., Demissie B., Gebregziabher D., Nyssen J. (2025). The effects of armed conflict on natural resources and conservation measures in Tigray, Northern Ethiopia, *International Soil and Water Conservation Research*, Volume 13, Issue 2, pp. 463-474, ISSN 2095-6339, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.11.004>.
2. Сплодинець А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна С. (2023). Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 32 с.
3. Балюк С.А., Кучер А.В., Солоха М.О., Соловей В.Б., Смірнов К.Б., Момот Г.Ф., Левін А.Я. (2022). Вплив збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриву, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення. Харків: ФОП Бровін О.В., 2022, 102 с.
4. Trokhaniak O. Impact of military operations on agricultural soils. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, Vol. 68 (2024), Issue 1. P.24-26.
5. Троханяк О.М., Коломієць Л.П. Обґрунтування робочих органів для рекультиваци ґрунтів. 2024. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва*. Випуск 4 (118), с. 24-36 <https://journal.imaap.org.ua/info/index.php?id=819>
6. Trokhanhak, O.M., Yaropud, V.M. Research on a Flexible Screw Conveyor for the Reclamation of Agricultural Land Damaged by Military Actions. 2024. *Technology, Energy, and Transportation in Agriculture*, No. 2 (125) / 2024, pp. 66–74 <http://tetapk.vsau.org/en/particles/research-of-a-flexible-screw-conveyor-for-disposal-of-agricultural-land-damaged-by-military-actions>
7. Pereira, P., Ba'si'c, F., Bogunovic, I., Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Sci. Total Environ.* 837, 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>
8. Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N., Rao, P.K., Hussain, C.M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: a perspective. *Sci. Total Environ.* 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
9. Balyuk S.A., Kucher A.V., Solokha M.O., Solovey V.B., Smirnov K.B., Momot G.F., Levin A.Ya. (2022). The impact of armed aggression and military actions on the current state of the soil cover, assessment of damage and losses, restoration measures. Kharkiv: FOP Brovin O.V., 102 p. [in

Ukrainian]

10. Kaminskyi V.F., Tkachenko M.A., Kolomiets M.P. (2023). Methodological recommendations for the restoration of agricultural lands damaged as a result of military operations. Kyiv: NNC "IAE", 84 p. [in Ukrainian]
11. Bonchkovskyi O., Ostapenko P., Bonchkovskyi A., Shvaiko V. (2025). War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change, *Science of The Total Environment*, 2025, Volume 964, 178594, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>.
12. Kussul N., Drozd S., Yailymova H., Shelestov A., Lemoine G., Deininger K. (2023). Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 125, 103562, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562>
13. Trokhaniak O., Kovalchuk S. Determination of the energy consumption of cutting by the working body of the damaged soil layer in the center of the crater. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. Vol. 69 (2025), Issue 5. P. 49-52.
14. Kiernicki, Z ; Bulgakov, V ; Gadzalo, I ; Rucins, A ; Demydenko, O ; Holovach, I ; Trokhaniak, O ; Kaminska, V ; Dubrovina, O. Study and quantification of the internal energy of the humus and soil moisture in agrocenosis from an agroecological position. *Journal of Ecological Engineering*, 26 (12), pp. 114-125
15. Pascuzzi S., Bulgakov V., Adamchuk V., Trokhaniak O., Nowak J., Rucins A., Ruzhilo Z., Paciolla F. Improved Design of the Working Body of a Flexible Sectional Screw Conveyor. *Lecture Notes in Civil Engineering*. pp. 367 – 377.
16. Булгаков В. М., Головач І. В., Троханяк О. М. Теоретичне дослідження параметрів гнучкого гвинтового конвеєра для транспортування знятого забрудненого шару ґрунту у вирві. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН*; за заг. ред. В. В. Адамчука. Глеваха, 2024. Вип. 5 (119). С. 39-50.
17. Bulgakov V., Glazunova O., Holovach I., Trokhaniak O., Ruzhylo Z., Rucins A., Aboltins A., Popov G., Beloev I., Vasileva V. (2025). Investigation in Working Body Power Parameters and Energy Capacity for Removing Damaged Soil from Surface of Craters. *Engineering for Rural Development*, 24, pp. 139 – 146.
18. Olt J., Bulgakov V., Trokhaniak O., Klendii M., Gadzalo I.A., Ptashnik M., Tkachenko M. (2022). Harrow with screw-type operating tools: Optimisation of design and process parameters. *Agronomy Research*, 20 (4), pp. 751 – 763.

References

1. Meaza H., Ghebreyohannes T., Tesfamariam Z., Gebresamuel G., Demissie B., Gebregziabher D., Nyssen J. (2025). The effects of armed conflict on natural resources and conservation measures in Tigray, Northern Ethiopia, *International Soil and Water Conservation Research*, Volume 13, Issue 2, pp. 463-474, ISSN 2095-6339, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.11.004>.

2. Splodynets A., Golubtsov O., Chumachenko S., Sorokina S. (2023). The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Kyiv: NGO "Ekodiya Center for Environmental Initiatives", 32 p.

3. Balyuk S.A., Kucher A.V., Solokha M.O., Solovei V.B., Smirnov K.B., Momot G.F., Levin A.Ya. (2022). The influence of armed aggression and military operations on the current state of the soil cover, damage and loss assessment, restoration measures. Kharkiv: FOP Brovin O.V., 2022, 102 p.

4. Trokhaniak O. Impact of military operations on agricultural soils. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*, Vol. 68 (2024), Issue 1. P.24-26

5. Trohanшak, O.M., Kolomiets, L.P. Design Basis for Working Tools Used in Soil Reclamation. 2024. *Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production*. Issue 4 (118), pp. 24–36 <https://journal.imaap.org.ua/info/index.php?id=819>

6. Trokhanшak, O.M., Yaropud, V.M. Research on a Flexible Screw Conveyor for the Reclamation of Agricultural Land Damaged by Military Actions. 2024. *Technology, Energy, and Transportation in Agriculture*, No. 2 (125) / 2024, pp. 66–74 <http://tetap.k.vsau.org/en/particles/research-of-a-flexible-screw-conveyor-for-disposal-of-agricultural-land-damaged-by-military-actions>

7. Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Sci. Total Environ.* 837, 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>

8. Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N., Rao, P.K., Hussain, C.M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: a perspective. *Sci. Total Environ.* 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>

Зуев Н.М. Методика исследований качества работы свеклоборочных машин. – К.: ВНИС, 1989. – 75 с.

9. Balyuk S.A., Kucher A.V., Solokha M.O., Solovei V.B., Smirnov K.B., Momot G.F., Levin A.Ya. (2022). The impact of armed aggression and military actions on the current state of the soil cover, assessment of damage and losses, restoration measures. Kharkiv: FOP Brovin O.V., 102 p. [in Ukrainian]

10. Kaminskyi V.F., Tkachenko M.A., Kolomiets M.P. (2023). Methodological recommendations for the restoration of agricultural lands damaged as a result of military operations. Kyiv: NNC "IAE", 84 p. [in Ukrainian]

11. Bonchkovskiy O., Ostapenko P., Bonchkovskiy A., Shvaiko V. (2025). War-induced soil

disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change, *Science of The Total Environment*, 2025, Volume 964, 178594, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>.

12. Kussul N., Drozd S., Yailymova H., Shelestov A., Lemoine G., Deininger K. (2023). Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 125, 103562, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562>

13. Trokhaniak O., Kovalchuk S. Determination of the energy consumption of cutting by the working body of the damaged soil layer in the center of the crater. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. Vol. 69 (2025), Issue 5. P. 49-52.

14. Kiernicki, Z.; Bulgakov, V.; Gadzalo, I.; Rucins, A.; Demydenko, O.; Holovach, I.; Trokhaniak, O.; Kaminska, V.; Dubrovina, O. Study and quantification of the internal energy of the humus and soil moisture in agrocenosis from an agroecological position. *Journal of Ecological Engineering*, 26 (12), pp. 114-125

15. Pascuzzi S., Bulgakov V., Adamchuk V., Trokhaniak O., Nowak J., Rucins A., Ruzhilo Z., Paciolla F. Improved Design of the Working Body of a Flexible Sectional Screw Conveyor. *Lecture Notes in Civil Engineering*. pp. 367 – 377.

16. Bulgakov, V.M., Holovach, I.V., and Trokhaniak, O.M. Theoretical study of the parameters of a flexible screw conveyor for transporting the removed contaminated soil layer from a pit. *Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production: National Collection / IMA APV NAAS*; edited by V. V. Adamchuk. Hlevakha, 2024. Issue 5 (119). pp. 39–50.

17. Bulgakov V., Glazunova O., Holovach I., Trokhaniak O., Ruzhilo Z., Rucins A., Aboltins A., Popov G., Beloev I., Vasileva V. (2025). Investigation in Working Body Power Parameters and Energy Capacity for Removing Damaged Soil from Surface of Craters. *Engineering for Rural Development*, 24, pp. 139 – 146.

18. Olt J., Bulgakov V., Trokhaniak O., Klendii M., Gadzalo I.A., Ptashnik M., Tkachenko M. (2022). Harrow with screw-type operating tools: Optimisation of design and process parameters. *Agronomy Research*, 20 (4), pp. 751 – 763.

JUSTIFICATION OF ENGINEERING METHODS AIMED AT RESTORING THE TOPOGRAPHY OF AGRICULTURAL LANDS DAMAGED BY EXPLOSIONS

The article investigates and analyzes the impact of armed aggression and military operations on the soil cover of agricultural lands, in particular mechanical destruction, contamination, and degradation of the fertile soil layer caused by the detonation of missiles, aerial bombs, artillery shells, and other explosive devices. It has been established that shelling results in the formation of craters of various diameters and depths in

agricultural fields, while the soil within the explosion zone undergoes compaction, mixing, structural degradation, and contamination with metal fragments and toxic substances. A sequence of measures for restoring disturbed lands has been substantiated, including site inspection, digital mapping of damaged areas using satellite, UAV, and ground-based monitoring, determination of crater geometric parameters, soil sampling and laboratory analysis, removal of the contaminated soil layer, and restoration of the land surface. A special working body mounted on an excavator boom has been proposed for the mechanized removal of the damaged soil layer from the inner surface of a crater. For transporting the removed material, the use of a flexible screw conveyor equipped with a sectional auger working body is recommended. Based on the geometric parameters of the craters, the required volumes of mineral and

potentially fertile soil for backfilling, compaction, and surface leveling are determined. Further restoration of soil fertility involves the incorporation of plant residues, biological preparations, humic substances, and the application of phytoremediation using perennial grasses. The proposed set of technological measures makes it possible to improve the accuracy of damage assessment, mechanize reclamation operations, reduce the time required for their implementation and associated costs, restore the agrophysical, agrochemical, and biological properties of the soil, return damaged lands to agricultural use, and reduce environmental risks associated with the consequences of explosive impacts.

Keywords: agricultural land, crater, contamination, reclamation, working body, flexible screw conveyor.

Відомості про авторів

Троханяк Олександра Миколаївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри механіки Національного університету біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041; e-mail: klendii_o@ukr.net)

Коломієць Лариса Петрівна – к.с.г.н., старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи з питань землеробства та рослинництва Національного наукового центру «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України» (вул. Машинобудівників 2-Б, смт. Чабани, Фастівський район, Київська область, Україна, 08162, e-mail: erosia-stop@ukr.net)

Фурман Валерій Анатолійович – к.с.г.н., с.н.с., директор Державного підприємства «Дослідне господарство «Саливонківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків» (Київська обл., Білоцерківський р-н, с.м.т. Гребінки, вул. Білоцерківська, 24; e-mail: dpdg_saliyvonkivske@ukr.net)

Сергєєва Наталя Валеріївна – к.е.н., заступник директора з науково - інноваційної та виробничої діяльності Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України ((вул. Вокзальна, 11/1, с-ще Глеваха, Фастівський район, Київська область, 08631; e-mail: natushka1988@gmail.com)

Trokhaniak Oleksandra – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine (15 Heroiv Oborony St., Kyiv, Ukraine, 03041; e-mail: klendii_o@ukr.net)

Kolomiets Larysa – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Fellow, Deputy Director for Scientific Work on Agriculture and Crop Production at the National Scientific Center "Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine" (2-B Mashynobudivnykiv St., Chabany, Fastiv District, Kyiv Region, Ukraine, 08162, e-mail: erosia-stop@ukr.net)

Furman Valerii – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Scientist, Director of the State Enterprise "Salivonkovskoye Experimental Farm" of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets (Kyiv Oblast, Bila Tserkva District, Grebinky (urban-type settlement), 24 Bila Tserkva St.; e-mail: dpdg_saliyvonkivske@ukr.net)

Serhieieva Natalia – Candidate of Sciences in Economics., Deputy Director for Research, Innovation, and Production at the Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (11/1 Vokzalna St., Hlevakha Village, Fastiv District, Kyiv Region, 08631; e-mail: natushka1988@gmail.com)

Стаття надійшла 30.08.2026

Стаття прийнята 10.09.2026

Опубліковано 12.10.2026