

УДК 69.003

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.71.835

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТРАНШЕЙ У СКЛАДНИХ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ НА ОСНОВІ ТЕХНІЧНИХ ІННОВАЦІЙ<sup>1</sup>

ШАТОВ С. В.<sup>1\*</sup>, докт. техн. наук, доц.,  
МАЦЕНКО О. М.<sup>2</sup>, канд. екон. наук, доц.,  
СКРИПКА Є. О.<sup>3</sup>, студ.,  
БІЛЬГОВСЬКИЙ Д. В.<sup>4</sup>, студ.

<sup>1\*</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: [shatov.sv@ukr.net](mailto:shatov.sv@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup> Кафедра економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел. +38 (066) 921-55-91, e-mail: [matsenko@biem.sumdu.edu.ua](mailto:matsenko@biem.sumdu.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1806-2811

<sup>3</sup> Навчально-науковий інститут бізнесу, економіки та менеджменту, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел. +38 (099) 754-90-59, e-mail: [skrypkasumy@gmail.com](mailto:skrypkasumy@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0499-4597

<sup>4</sup> Факультет інформаційних технологій та механічної інженерії, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (099) 145-82-00, e-mail: [bilgovskiydanil@icloud.com](mailto:bilgovskiydanil@icloud.com), ORCID ID: 0000-0002-6123-8720

**Анотація. Постановка проблеми.** Виробництво траншей – досить енергоємний та витратний процес. Крім того, підготовка траншей в зимовий період забирає чимало часу. Актуальність статті зумовлена тим, що траншеї, необхідні у багатьох галузях (будівництво, сільське господарство, водне господарство, військова справа), доводиться виконувати і в зимовий період, що значно підвищує вартість та час їх виробництва. У військовій справі мова йде не лише про економічну ефективність, а й про безпеку особового складу, що особливо актуально у разі загрози повномасштабних бойових дій. Тому удосконалення машин і обладнання для ефективною розробки мерзлих та міцних ґрунтів для викопування траншей стало актуальним науково-технічним завданням сьогодення. **Мета статті** – обґрунтувати підвищення економічної ефективності виробництва траншей у складних природно-кліматичних умовах на основі технічних інновацій. **Результати.** Взимку ґрунти мають значно вищі показники механічних властивостей, у першу чергу з міцності, у порівнянні з іншими періодами року. Це спричинює підвищення енергоємності та вартості розробки ґрунтів землерийною технікою. У більшості випадків ці машини не здатні виконувати розробку мерзлих ґрунтів. Тому перед їх використанням виконують підготовчі роботи з розпушення. Використання лише екскаваторної техніки у зимовий період економічно недоцільне. Саме тому запропоновано для розробки мерзлого ґрунту удосконалений розпушник із двома зубцями під нахилом. Це обладнання порівняно з традиційним, по-перше, забезпечує зменшення у 2,8...3,0 рази об'єму непродуктивно розпушеного ґрунту, а по-друге, залежно від класу, підвищує продуктивність у 1,8...9,5 рази. **Наукова новизна і практична значимість.** Уперше здійснено економічне обґрунтування доцільності використання розпушника із зубцями з нахилом для розроблення мерзлих та міцних ґрунтів, що забезпечує зниження витрат на виконання траншеї як мінімум удвічі, при цьому значно зростає швидкість виконання робіт, що вкрай актуальне для збереження особового складу у воєнних умовах. Для більш наочної демонстрації ефективності роботи розпушників упроваджено коефіцієнти ефективності роботи обладнання, що показали економічну доцільність роботи такого розпушника.

**Ключові слова:** економічна ефективність; продуктивність; будівництво; траншея; розпушник; ґрунт

## INCREASING THE EFFICIENCY OF TRENCH PRODUCTION IN DIFFICULT NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS BASED ON TECHNICAL INNOVATIONS<sup>1</sup>

SHATOV S.V.<sup>1\*</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
MATSENKO O.M.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Economic), Assoc. Prof.,

<sup>1</sup> Публікація підготовлена в рамках виконання наукового проекту «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень» (№ держреєстрації 0121U109557), що фінансується з Державного бюджету України.

SKRYPKA Yev.O.<sup>3</sup>, *Stud.*,  
BILHOVSKIYI D.V.<sup>4</sup>, *Stud.*

<sup>1\*</sup> Department of Construction and Road Machinery, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-47, e-mail: [shatov.sv@ukr.net](mailto:shatov.sv@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup> Department of Economics, Entrepreneurship and Business Administration, Sumy State University, 2, Rymskoho-Korsakova St., 40007, Sumy, Ukraine, tel. +38 (066) 921-55-91, e-mail: [matsenko@biem.sumdu.edu.ua](mailto:matsenko@biem.sumdu.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1806-2811

<sup>3</sup> Academic and Research Institute of Business, Economics and Management, Sumy State University, 2, Rymskoho-Korsakova St., 40007, Sumy, Ukraine, tel. +38 (099) 754-90-59, e-mail: [skrypkasumy@gmail.com](mailto:skrypkasumy@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0499-4597

<sup>4</sup> Faculty of Information Technologies and Mechanical Engineering, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (099) 145-82-00, e-mail: [bilgovskiydanil@icloud.com](mailto:bilgovskiydanil@icloud.com), ORCID ID: 0000-0002-6123-8720

**Abstract. Problem statement.** Trench production is a very energy-intensive and costly process. In addition, the preparation of trenches in the winter takes a long time. The article's relevance is because the trenches needed in many industries (construction, agriculture, water management, military affairs) have to be performed in the winter, which significantly increases the cost and time of their production. In military affairs, it is about economic efficiency and the safety of personnel, which is especially important in the event of a threat of full-scale hostilities. Therefore, improving machinery and equipment for the effective development of frozen and firm soils in the execution of trenches is an urgent scientific and technical task today. **The purpose of the article** is to substantiate the increase of economic efficiency of trench production in difficult natural and climatic conditions based on technical innovations. **Results.** In winter, soils have much higher mechanical properties, primarily in terms of strength, than other year periods. This leads to an increase in energy intensity and the cost of soil development by earthmoving equipment. In most cases, these machines are not able to develop frozen soils. Therefore, before using them, they perform preparatory work on loosening frozen soils. From the calculations given in the article, we can conclude that using only excavator equipment in the winter is economically impractical. That is why it was proposed to introduce an advanced cultivator with two teeth at an angle to develop frozen soil. Compared with traditional equipment, this type of equipment reduces 2,8–3,0 times unproductively loose soil, and secondly, depending on the class, increases productivity by 1,8–9,5 times. **Scientific novelty and practical significance.** For the first time, the feasibility of using a tusk with sloping teeth to develop frozen and strong soils reduces the cost of trenching at least 2 times while significantly increasing the speed of work, which is extremely important for maintaining personnel in military conditions. To demonstrate the efficiency of cultivators more clearly, efficiency coefficients of equipment were introduced, which showed the economic feasibility of introducing a cultivator with two teeth at an angle to the development of frozen soils in comparison, both for military and civilian purposes.

**Keywords:** *economic efficiency; productivity; construction; trench; loosener; soil*

**Постановка проблеми.** Один із видів земляних робіт – виробництво траншей під різноманітні інженерні споруди та технологічні комунікації, наприклад, для фундаментів та підпірних стінок. До технологічних комунікацій, які потребують виконання траншей у ґрунті, належать енергомережі, газопроводи, мережі зв'язку, водопроводи та мережі водовідведення.

У військовій справі траншеї вкрай актуальні для укриття особового складу та розташування техніки. Ці види земляних робіт можуть виконуватися у різні пори року. Взимку ґрунти мають значно вищі показники механічних властивостей, у першу чергу з міцності. Це зумовлює підвищення енергоємності та вартості розробки ґрунтів землерийною технікою: одноківшевіми екскаваторами, траншеєкопачами, скреперами, бульдозерами. У більшості випадків ці машини не здатні

розробляти мерзлі ґрунти. Тому перед їх використанням виконують підготовчі роботи з розпушення.

Існує значна кількість способів та відповідних засобів механізації для розробки мерзлих та міцних ґрунтів. Найбільш перспективний – використання розпушників статичної дії, які встановлюються на гусеничних тракторах. Вони розробляють мерзлі та міцні ґрунти шарово, розпушники по площині із зайвим обсягом розпушеного ґрунту, що збільшує енерговитрати на цих роботах.

Тому удосконалення машин і обладнання для ефективною розробки мерзлих та міцних ґрунтів під час копання траншей постає актуальним науково-технічним завданням сьогодення.

**Мета статті** – обґрунтувати підвищення економічної ефективності виробництва

траншей у складних природно-кліматичних умовах на основі технічних інновацій.

**Результати дослідження.** У будівництві важливу роль відіграє один із початкових етапів – проведення земляних робіт, які постають першоосновою будівельного процесу. Саме тоді прокладаються основні комунікації будівлі – водопровідні та газопровідні мережі, телефонні та інші телекомунікаційні кабелі. Від якості земляних робіт залежить також закладання основи будівлі – її фундаменту, що зводиться в котлованах чи виконаних траншеях.

Виконання траншей – надзвичайно відповідальна справа, що вимагає уважної підготовки. Від оцінювання фронту робіт і розуміння необхідного результату залежить рішення, яку техніку необхідно використовувати у подальшому.

Залежно від мети та призначення можна виділити такі різновиди траншей для:

- прокладання водопроводу;
- прокладання газопроводу;
- облаштування каналізації;
- протягування електричних та телефонних кабелів;
- укладання заземлення;
- облаштування водовідведення;
- будівельного фундаменту [1].

Отже, виконання траншей – це невід’ємна складова будь-якого будівельного процесу, адже майже всі комунікації майбутньої будівлі прокладаються саме в землі. Однак будівельна галузь не єдина, де застосовуються траншеї. Сільське господарство також активно використовує їх для зрошення полів та побудови дренажних систем.

За часи незалежності України та розвитку технологій в сільському господарстві прокладання дрени на полях майже зупинилось [2]. Проте техніка, що виконувала ці роботи на полях, донині працює на приватних господарських ділянках, у кар’єрах та на об’єктах будівництва, де допомагає осушувати та відводити воду з болотистої та низовинної місцевості.

В окремих випадках та в екстремальних ситуаціях обмеженого часу таку техніку

долучають до копання траншей на фронті. Здебільшого військові залучають інженерні машини, багатокішєві та однокішєві екскаватори, роторно-метальні машини та малогабаритне обладнання. Ці машини спеціально пристосовані для риття траншей з необхідними заданими параметрами та швидко допомагають військовим спорудити захисні об’єкти.

Залежно від проектних вимог, траншеї мають різний переріз за формою та розмірами (рис. 1 а). Як правило, ґрунт, вилучений з траншеї, укладається поруч з нею з одного або обох боків для зворотного засипання після укладання інженерних комунікацій (рис. 1 б). Відстань відсипки ґрунту зумовлюється конструктивними особливостями землерийних машин та їх параметрами [3–5].

Траншеї викопують за двома типами: нормального та повного профілю. Рови нормального профілю мають глибину 1,10 м, а повного – 1,5 м. Вибір типу траншеї залежить від часу на її виконання. Звичайно спочатку викопують рів глибиною 1,1 м, а потім його поглиблюють до 1,5 м.

Ширина траншеї зверху складає від 0,9 м до 1,2 м та залежить від властивостей ґрунту: для більш міцного ширина наближається до 0,9 м, а для сипких ґрунтів – 1,2 м. Зверху рів звужують аби зменшити ймовірність влучення в нього снарядів та мін.

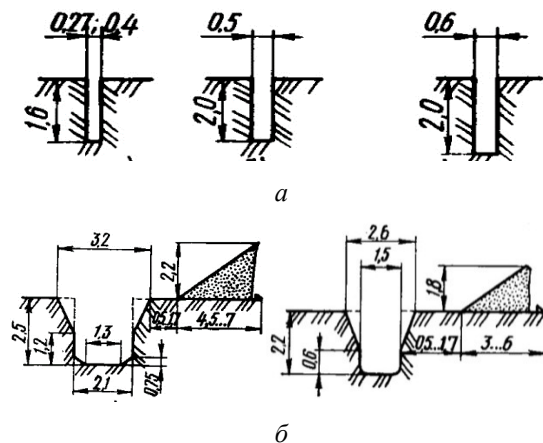


Рис. 1. Схеми траншей при будівельних роботах

Для механізованої розробки траншей використовують багатокішєві та однокішєві екскаватори, роторно-метальні машини, малогабаритне обладнання [6; 7].

Багатокішцеві екскаватори (рис. 2 а, б) та роторно-метальні машини (рис. 2 в, г) встановлюють на гусеничних та колісних машинах сільськогосподарського і спеціального призначення. Вони дуже продуктивні та забезпечують високу якість траншей, але енергоємні. Їх доцільно використовувати у разі значних обсягів робіт. Роторно-метальні машини використовують для риття траншей великого перерізу.

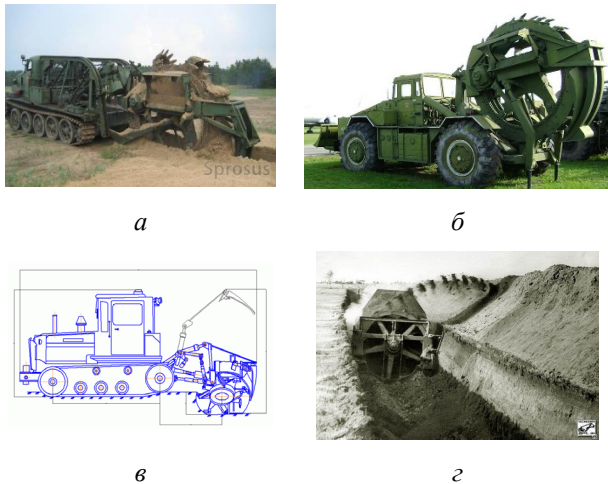


Рис. 2. Машини для виконання траншей

До недоліків машин безперервної дії слід віднести: значну масу, складність систем приводу (трансмисії) робочого органа та її низьку експлуатаційну надійність, зниження продуктивності під час розробки вологих ґрунтів, необхідність у додатковій техніці з причіпною платформою для транспортування екскаваторів.

Однокішцеві екскаватори (рис. 3) більш універсальні машини, ніж техніка безперервної дії, й можуть використовуватися для викопування траншей як значної протяжності, так і невеликі [8]. Ці машини також дозволяють робити інженере облаштування траншей – спеціальні місця для спостереження за противником та ведення бойових дій. Однокішцеві екскаватори маневрені і це дозволяє ефективно копати рови з ділянками (фасом) під різними кутами (рис. 3 а).

Колісні однокішцеві екскаватори (рис. 3 в) самостійно переїжджають на інше місце, не потребуючи додаткової транспортної техніки. Ці землерийні машини можуть використовувати різноманітні види змінного робочого

обладнання, що забезпечує виконання інших видів робіт: вантажопідйомних, планувальних тощо.



Рис. 3. Однокішцеві екскаватори на базі ходового обладнання

Недолік розглянутих машин та обладнання для виконання траншей – це низька ефективність або неможливість їх використання взимку та для розробки міцних ґрунтів (граніти, вапняки). У зимовий період міцність ґрунтів збільшується у 30–40 разів, зростає у 4–5 разів абразивний знос робочих органів. Глибина промерзання ґрунтів складає 0,5...0,9 метра, тому перед використанням землерийної техніки потрібно виконувати підготовчі роботи з розпушення мерзлих та міцних ґрунтів.

Існує багато способів та відповідних засобів механізації для розробки мерзлих та міцних ґрунтів [5; 6]. Найбільш перспективний – використання розпушників статичної дії (рис. 4), які встановлюються на гусеничних тракторах – це навісне обладнання до бульдозерів або навантажувачів [7; 9; 10].

Найчастіше розпушники встановлюють у задній частині тракторів, оснащених бульдозерним обладнанням. Така компоновка вирівнює тиск гусениць бульдозерно-розпушувального агрегата на опорну поверхню, що поліпшує його тягові характеристики та дозволяє обійтися однією машиною для поєднання бульдозерних і розпушувальних робіт на одному об'єкті. Розпушники мають нескладне та надійне обладнання, невисоку вартість, достатню продуктивність (70...200 м<sup>3</sup>/год) та якість роботи.

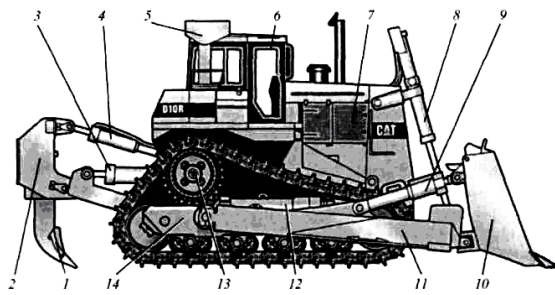


Рис. 4. Розпушник на базі гусеничного бульдозера:  
 1 – зуб із наконечником; 2 – робоча балка;  
 3 – гідроциліндр підйому/опускання розпушника;  
 4 – гідроциліндр нахилу зуба; 5 – захист кабіни;  
 6 – кабіна; 7 – двигун; 8 – гідроциліндр підйому/опускання відвала; 9 – гідравлічний підкіс;  
 10 – бульдозерний відвал; 11 – штовхальний брус;  
 12 – гідроциліндр натягнення гусениці;  
 13 – провідне колесо; 14 – рама

Для розроблення мерзлих та міцних ґрунтів залежно від їх стану (міцність, тип ґрунтів тощо) використовують бульдозери-розпушники визначеного тягового класу у межах 10...35 т (рис. 5). Залежно від технологічних вимог розпушення ґрунтів виконують: на максимальну глибину за один прохід розпушника з одним зубом (рис. 5 а, б); на найбільшу ширину розпушення розпушниками з декількома зубцями (рис. 5 в, г). Зубців може бути два, три, п'ять.



Рис. 5. Типи розпушників

Окрім зниження міцності ґрунту розпушники доцільно використовувати з економічної точки зору, адже мерзлий стан ґрунту ускладнює технологію виконання траншей, обмежує застосування деяких типів землерийних (екскаваторів) та землерийно-транспортних машин (бульдозерів, скреперів, грейдерів), зменшує продуктивність транспортних засобів, спричинює швидке зношування деталей машин, особливо їх робочих органів.

За збільшення трудомісткості розробки ґрунту також значно збільшуються фінансові витрати на виконання траншей. Наприклад, якщо взяти екскаваторну машину JCB з об'ємом ковша в 0,18 м<sup>3</sup> у зимовий період порівняно з літнім, розробка замерзлого ґрунту уповільниться майже удвічі та негативно відобразиться на кількості виробленого об'єму ґрунту з траншей.

Проте орендна плата за екскаватор буде незмінною та становитиме близько 700 грн/год. [11].

Отже, можемо порахувати вартість та ефективність роботи екскаваторної машини в літній та зимовий час відповідно до фінансових витрат на одиницю часу (табл. 1).

Таблиця 1

**Ефективність роботи екскаваторної машини в літній та зимовий час відповідно до фінансових витрат на одиницю часу**

Характеристика	Літній період	Зимовий період
Погодинна орендна плата оренди екскаватора JCB, грн/год	700	700
Об'єм ковша, м <sup>3</sup>	0,18	0,18
Щільність ґрунту (рослинний ґрунт, що переважає в Донецькій області), кг/м <sup>3</sup>	1 300	1 300*35 = = 45 500
Середній час виконання одного робочого циклу екскаватором (від початку набирання ґрунту в ківш до вивантаження ґрунту на бруствері та повернення ковша до вихідної точки) за умови, що екскаватор переміщається вздовж траншей з однаковою швидкістю як у літній, так і в зимовий період, с	17	37
Кількість робочих циклів, що здійснює екскаватор за годину	3 600/17 = 211	3 600/37 = 97
Об'єм ґрунту, який може виконати одна екскаваторна машина, м <sup>3</sup> /год	211*0.18 = 37,98	97*0.18 = 17,46

Із розрахунків, наведених в таблиці 1, видно, що об'єм виробленого ґрунту екскаваторною машиною за одиницю часу в літній період (37,98 м<sup>3</sup>) більше ніж удвічі перевищує об'єм виробленого ґрунту у зимовий (17,46 м<sup>3</sup>). Виходячи з цього, можна оцінити вартість вироблення 1 м<sup>3</sup> ґрунту в літній та зимовий періоди.

Як критерій ефективності роботи екскаваторної техніки пропонуємо використовувати вартість вироблення 1 м<sup>3</sup> ґрунту:

$$T_1 = \frac{Z}{V}, \quad (1)$$

де:  $T_1$  – тариф роботи екскаваторної машини, грн/м<sup>3</sup>;  $Z$  – вартість виконання робіт екскаваторною машиною, грн/год;  $V$  – об'єм вийнятого ґрунту з траншеї за 1 годину роботи екскаваторної машини, м<sup>3</sup>/год.

Так, улітку вартість виконання 1м<sup>3</sup> ґрунту буде становити  $700/37,98 = 18,43$  грн/м<sup>3</sup>. В той же час вартість таких же робіт у зимовий період робіт становитиме  $700/17,46 = 40,09$  грн/м<sup>3</sup>. Отже, вартість земельних робіт взимку значно збільшується.

Для більш глибокого аналізу можна розрахувати коефіцієнт ефективності роботи екскаваторної машини, що дасть змогу об'єктивно порівняти підходи до виконання траншей у зимовий період. Даний коефіцієнт доцільно розрахувати за формулою:

$$E = \frac{V}{Z}, \quad (2)$$

де:  $E$  – коефіцієнт ефективності роботи екскаваторної машини, м<sup>3</sup>/грн;  $V$  – об'єм вийнятого ґрунту з траншеї за 1 годину роботи екскаваторної машини, м<sup>3</sup>/год;  $Z$  – вартість виконання робіт екскаваторною машиною, грн/год.

У зимовий період коефіцієнт ефективності роботи екскаваторної машини складе:

$$E = 17,46/700 = 0,025 \text{ м}^3/\text{грн}.$$

Отже, ефективність виконання земляних робіт екскаватором у зимовий період буде становити 0,025 м<sup>3</sup> на 1 грн витрат.

Економічні розрахунки вартості виконання траншей у мерзлому ґрунті показують, що використання однієї екскаваторної техніки в умовах розробки мерзлих ґрунтів економічно недоцільне. Однак воєнні дії на сході України змушують військових копати траншеї для особового складу в будь-яку пору року за будь-якої погоди та за будь-яких економічних витрат. Тому, для підвищення швидкості виконання робіт та для оптимізації фінансових витрат на виконання траншей доцільно впровадити додаткову техніку у вигляді розпушників, які в змозі перетворити мерзлий тип ґрунту

на розпушений та такий, з яким екскаваторна техніка зможе впоратись без зайвого зносу основних робочих деталей екскаватора та втрати дорогоцінного часу.

Так, для розрахунку економічної доцільності впровадження розпушувача треба визначити додатковий ефект впливу розпушеного ґрунту на роботу екскаваторної машини. Для початку необхідно встановити середню продуктивність роботи розпушувача за 1 годину. Як відомо, розпушники, залежно від потужності та кількості зубів, можуть значно підвищити свою продуктивність.

Для прикладу візьмемо трактор Т-170 та встановлений на його базі розпушник на два зуби, розташовані вертикально, що мають продуктивність роботи в середньому 20 м<sup>3</sup>/год та глибину розпушення, близьку до глибини промерзання ґрунту, а саме 500 мм. Також відомо, що середня вартість оренди трактора в середньому по Україні становить 700 грн/год [11].

З отриманих даних цілком можна обчислити вартість виконання траншеї для особового складу протяжністю 1 000 м глибиною 1,1 м та шириною 1 м. Об'єм виробки ґрунту з траншеї для екскаваторної техніки в цілому буде становити  $1\ 000 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1\ 100 \text{ м}^3$ , а для розпушника складе  $1\ 000 \cdot 1/2 \cdot 1,1 \cdot 1 = 550 \text{ м}^3$  (де 1/2 м – глибина промерзання ґрунту). Тоді, за використання розпушника, загальна кількість часу на виконання траншеї з указаними параметрами складатиме:

$$550 \text{ м}^3 / 20 \text{ м}^3/\text{год} \approx 27,5 \text{ год}.$$

Вартість робіт із розпушення ґрунту для воєнної траншеї з вищевказаними параметрами буде становити:

$$700 \text{ грн} \cdot 27,5 \text{ год} = 19\ 250,00 \text{ грн}.$$

У разі подрібнення мерзлого ґрунту розпушником з'являється додатковий об'єм за рахунок утворення пустот між замерзлим грудками. Цей об'єм доцільно обчислювати за допомогою коефіцієнта розпушування ґрунту за нормативами ДБН. За державними будівельними нормами коефіцієнт із розпушення мерзлих чорноземів складає 1,25 (для Донецької області). Отже, визначення об'єму розпушеного ґрунту, який необхідно

додатково виробити екскаваторною машиною, становитиме:

$$550 \text{ м}^3 \cdot 1,25 = 687,5 \text{ м}^3.$$

У такому випадку вартість виконання траншеї екскаватором за умови розпушення ґрунту становитиме:

$$(687,5 \text{ м}^3 + 550 \text{ м}^3) \cdot 18,43 \text{ грн/м}^3 = 12\,670,63 + 10\,136,50 = 22\,807,13 \text{ грн.}$$

Отже, залучення екскаватора та розпушника обійдеться в  $19\,250 + 22\,807,13 = 42\,057,13$  грн, у той час як розробка траншеї лише екскаватором буде коштувати  $1\,100 \text{ м}^3 \cdot 40,09 \text{ грн/м}^3 = 44\,099$  грн.

Економічну доцільність залучення розпушувача до розробки мерзлих ґрунтів для копання траншей можемо розрахувати за формулою:

$$T_2 = \frac{Z+Z_1}{V}, \quad (3)$$

де  $T_2$  – тариф спільної роботи екскаваторної машини та розпушувача, грн/м<sup>3</sup>;  $Z_1$  – вартість виконання робіт розпушувачем, грн.

Тоді:

$$T_2 = \frac{19\,250 + 22\,807,13}{687,5 + 550} = 33,99 \text{ грн/м}^3$$

Отже, ефективність виконання земляних робіт екскаватором та розпушувачем у зимовий період буде вищою на  $40,09 - 33,99 = 6,10$  грн/м<sup>3</sup> без урахування затримки на початок виконання робіт розпушувачем.

Для збільшення продуктивності роботи розпушника, а також для підвищення економічного ефекту від застосування такої техніки для розробки мерзлих ґрунтів запропоновано впровадження удосконаленої конструкції, а саме експлуатація розпушника із зубцями під нахилом (рис. 6). Така конструкція дозволяє підвищити продуктивність до 9 разів залежно від умов навколишнього середовища.

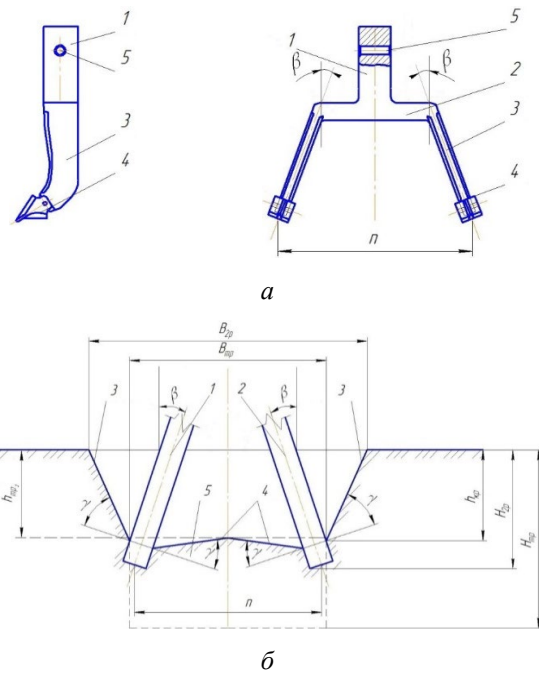


Рис. 6. Розробка ґрунтів розпушником із зубцями з нахилом: а – робочий орган: 1 – стійка; 2 – консоль; 3 – зубці; 4 – наконечник; 5 – отвір кріплення; б – схема розробки ґрунтів: 1, 2 – зубці; 3 – бокові поверхні прорізи; 4 – внутрішні поверхні прорізи; 5 – нерозпушена зона

Результати дослідження показали, що площа середньої частини розпушування становить  $0,038 \text{ м}^2$ , однак у разі, коли ми застосовуємо розпушник із двома зубцями під нахилом, ця площа зростає до  $0,36 \text{ м}^2$ . Якщо дані показники перевести у продуктивність роботи розпушника за годину, можна побачити, що удосконалений розпушник із зубцями під нахилом має більшу продуктивність (в 9,5 разів) порівняно з базовим за рахунок нової конструкції робочого органа із зубцями з нахилом.

#### **Розпушник із двома вертикально розташованими зубцями**

Годинна продуктивність:

$$P_{\text{Бгод}} = F \cdot V \cdot k_{\text{в}} = 0,038 \times 370 \times 0,85 = 11,95 \text{ м}^3/\text{год.}$$

#### **Розпушник із зубцями під нахилом**

Годинна продуктивність:

$$P_{\text{Нгод}} = F \cdot V \cdot k_{\text{в}} = 0,39 \times 370 \times 0,85 = 113,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

де  $F$  – площа розпушеного ґрунту, м<sup>2</sup>;  $V$  – швидкість розпушувача, м/год;  $k_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання розпушувача за часом.

Із цих даних доцільно порахувати економічний ефект залучення модернізованого розпушника до розробки мерзлих ґрунтів за допомогою наведеної методики розрахунку, а саме  $113,2 \text{ м}^3/\text{год}$ . – продуктивність роботи модернізованого розпушника.

Нехай необхідно виконати воєнну траншею за зазначеними вище параметрами  $1\ 000 \times 1 \times 1,1 = 1\ 100 \text{ м}^3$ , а для розпушника –  $1\ 000 \times \frac{1}{2} \times 1,1 \times 1 = 550 \text{ м}^3$ . Необхідний час для розпушення ґрунту під виконання траншеї:

$$550 \text{ м}^3 / 113,2 \text{ м}^3/\text{год} \approx 4,9 \text{ год.}$$

За таких умов вартість розпушення ґрунту буде становити:

$$700 \text{ грн} \times 4,9 \text{ год.} = 3\ 430,00 \text{ грн.}$$

Отже, залучення екскаватора та модернізованого розпушника обійдеться в  $3\ 430,00 + 22\ 807,13 = 26\ 237,13 \text{ грн}$ . В такому випадку економічну доцільність залучення даної техніки можемо розрахувати за формулою (2):

$$T_3 = \frac{26237,13}{687,5 + 550} = 21,20 \text{ грн/м}^3$$

З наведених розрахунків можна зробити висновок, що використання лише екскаваторної техніки у зимовий період економічно недоцільне. Саме тому запропоновано застосування для розробки мерзлого ґрунту розпушника, який подрібнює верхній замерлий шар ґрунту та дозволяє екскаватору викопати траншею у зимовий період за розцінками літнього.

Запропоновано удосконалений розпушник із двома зубцями під нахилом. Цей вид обладнання, за розрахунками, показав значну економічну ефективність у розробці мерзлих ґрунтів порівняно з традиційним обладнанням, а саме, удосконалений розпушник дозволяє підвищити виробництво ґрунту у 9,5 раза.

У таблиці 2 наведено тарифи та коефіцієнти ефективності роботи трьох варіантів залученого обладнання.

Завдяки розрахованому коефіцієнту ефективності роботи обладнання вдалося наочно проілюструвати доцільність упровадження саме екскаваторної техніки з

модернізованим розпушником до розробки мерзлого ґрунту, як в умовах війни, так і для інших робіт.

Таблиця 2

#### Порівняння коефіцієнтів ефективності роботи різних варіантів залученого обладнання для розробки мерзлого ґрунту в зимовий період

Екскаватор	Екскаватор із розпушником	Екскаватор із модернізованим розпушником
$T_1 = 40,09 \text{ грн/м}^3$	$T_2 = 33,99 \text{ грн/м}^3$	$T_3 = 21,20 \text{ грн/м}^3$
$E_1 = 0,025 \text{ м}^3/\text{Грн}$	$E_2 = 0,029 \text{ м}^3/\text{Грн}$	$E_3 = 0,047 \text{ м}^3/\text{Грн}$

**Висновки.** У будівництві та військовій справі існує необхідність у виконанні траншей під різноманітні інженерні споруди, технологічні комунікації, а також окопів для укриття особового складу та розташування техніки.

Виконання робіт узимку спричинює підвищення енергоємності та вартості розробки ґрунтів землерийною технікою. Існує значна кількість способів та відповідних засобів механізації для розробки мерзлих і міцних ґрунтів. Найбільш перспективним визнано використання розпушників статичної дії, які встановлюються на гусеничних тракторах. Традиційні розпушники для підготовчих робіт у копанні траншей розробляють ґрунт по площині із зайвим обсягом розпушеного ґрунту, що збільшує енерговитрати на цих роботах.

Запропоновано як обладнання розпушників використовувати робочий орган із зубцями з нахилом, що забезпечує:

- зменшення у 2,8...3,0 рази непродуктивно розпушеного ґрунту;
- залежно від їх класу підвищує продуктивність у 1,8...9,5 раза порівняно з розпушниками традиційної конструкції.

Також виконано економічний розрахунок доцільності використання розпушника статичної дії в зимових умовах. Установлено, що завдяки розпушенню ґрунту вартість виконання військової траншеї знижується на  $6,10 \text{ грн/м}^3$ .

Для досягнення більш вагомого економічного ефекту запропоновано залучення екскаватора з модернізованим розпушником статичної дії до розробки мерзлих ґрунтів. Установлено, що розпушник із зубцями з нахилом забезпечує



зниження витрат на виконання траншеї майже вдвічі.

Для більш наочної демонстрації ефективності роботи розпушників впроваджено коефіцієнти ефективності

роботи обладнання, що показали економічну доцільність застосування модернізованого розпушника статичної дії до розробки мерзлих ґрунтів, як в умовах війни, так і в мирному господарюванні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Для чого потрібні траншеї [Текст з екрана]. URL: <http://www.luaz-auto.ru/news/dlya-chego-nuzhni-transhei.html> (дата звернення: 05.01.2022).
2. Восстановление плана дренажной системы по материалам съёмки с БПЛА [Текст з екрана]. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/blog/vosstanovlenie-plana-drenazhnoy-sistemy-po-materialam-semki-s-bpla> (дата звернення: 05.01.2022).
3. Гарбузов З. Е., Донской В. М. Экскаваторы непрерывного действия. Москва : Высшая школа, 1987. 288 с.
4. Производство земляных работ. Свод правил по сооружению магистральных газопроводов. СП 104-34-96. Москва : Минстрой РФ, 1996. 28 с.
5. Лівінський О. М. та ін. Технологія будівельного виробництва (Книга 1: загальні відомості про будівництво, роботи підготовчого періоду, земляні роботи та ін.) : навч. посіб. Київ : УАН, «МП Люся», 2012. 416 с.
6. Ветров Ю. А. и др. Машины для земляных работ. Київ : Вища школа, 1981. 384 с.
7. Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М. П. та ін. Машины для земляных работ : підручник. За заг. ред. Л. А. Хмари та С. В. Кравця. Харків : ХНАДУ, 2014. 548 с.
8. Глазков А. А., Манакон Н. А., Панкратов А. В. Строительная, дорожная и специальная техника отечественного производства : краткий справочник. Москва : ЗАО «Бизнес-Арсенал», 2000. 816 с.
9. Захарчук Б. З. и др. Бульдозеры и рыхлители. Москва : Машиностроение, 1987. 240 с.
10. Техничко-експлуатационная характеристика машин фирмы «Caterpillar» : справочник. Иллинойс, США: Caterpillar Inc, 1999. 724 с.
11. Услуги погрузчика AMKADOR и экскаватора JCB в Сумах [Текст з екрана]. URL: <http://abb.sumy.ua/arenda-frontalnogo-pogruzchika.html> (дата звернення: 05.01.2022).

## REFERENCES

1. *Dlia choho potribni transhei* [What do you need trenches for]. (Text from the screen). URL: <http://www.luaz-auto.ru/news/dlya-chego-nuzhni-transhei.html> (date of application : 05.01.2022) (in Ukrainian).
2. *Vosstanovlenie plana drenazhnoy sistemy po materialam s'emki s BPLA* [Restoration of the plan of drainage system on materials of shooting from the UAV]. (Text from the screen). URL: <https://www.geoscan.aero/ru/blog/vosstanovlenie-plana-drenazhnoy-sistemy-po-materialam-semki-s-bpla> (date of application : 05.01.2022). (in Russian).
3. Garbuzov Z. and Donskoi V. *Ekskavatoryi nepreryivnogo deystviya* [Continuous excavators]. Moscow : "Vysshaya Shkola", 1987, 288 p. (in Russian).
4. *Proizvodstvo zemlyanykh rabot. Svod pravil po sooruzheniyu magistralnykh gazoprovodov* [Production of earthworks. Code of Rules for the Construction of Main Gas Pipelines]. SP 104-34-96. Moscow : Ministry of Construction of the RF, 1996, 28 p. (in Russian).
5. Livinskyi O. et al. *Tekhnolohiia budivelnoho vyrobnytstva (Knyha 1: zahalni vidomosti pro budivnytstvo, roboty pidhotovchoho periodu, zemliani roboty ta in.)* [Technology of construction production. Book 1: general information about construction, preparatory work, earthworks, etc.]. Kyiv : UAN, "MP Liusi", 2012, 416 p. (in Ukrainian).
6. Vetrov Yu. et al. *Mashiny dlya zemlyanykh rabot* [Earthmoving machines]. Kyiv : "Vyshcha Shkola", 1981, 384 p. (in Russian).
7. Khmara L., Kravets S., Skobliuk M. et al. *Mashyny dlia zemlianykh robot* [Earthmoving machines]. Textbook. Eds by L.A. Khmara та S.V. Kravets. Kharkiv : KNAHU, 2014, 548 p. (in Ukrainian).
8. Hlazkov A., Manakov N. and Pankratov A. *Stroitel'naya, dorozhnaya i spetsial'naya tehnikha otechestvennogo proizvodstva* [Construction, road and special equipment of domestic production]. Quick Reference. Moscow : ЗАО "Biznes-Arsenal", 2000, 816 p. (in Russian).
9. Zakharchuk B. et al. *Buldozeryi i ryihliteli* [Bulldozers and rippers]. Moscow : Mashinostroenie, 1987, 240 p. (in Russian).
10. *Tekhniko-ekspluatatsionnaya harakteristika mashin firmy "Caterpillar"* [Technical and operational characteristics of Caterpillar machines] Directory. Illinois, USA : Caterpillar Inc., 1999, 724 p. (in Russian).
11. *Uslugy pogruzchika AMKADOR i ekskavatora JCB v Sumah* [Services of AMKADOR loader and JCB excavator in Sumy]. (Text from the screen). URL: <http://abb.sumy.ua/arenda-frontalnogo-pogruzchika.html> (date of application: 05.01.2022). (in Russian).

Надійшла до редакції: 15.01.2022.