

УДК 621.879.33

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПРОДУКТИВНОСТІ ОДНОКІВШЕВИХ ЕКСКАВАТОРІВ З ТЕЛЕСКОПІЧНИМ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ

ДАХНО О.О.<sup>1\*</sup>, к. т. н., асистент

<sup>1\*</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 044-84-48, e-mail: [olegdakhno@gmail.com](mailto:olegdakhno@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

**Анотація. Постановка проблеми.** Удосконалення одноківшевих гідравлічних екскаваторів (ОГЕ) безпосередньо пов'язано зі збільшенням продуктивності, зниженням енерговитрат на розробку ґрунту та розширення технологічних можливостей за рахунок можливості змінювати геометричні параметри робочого обладнання (РО), тощо. Застосування інноваційного телескопічного робочого обладнання (ТРО) ОГЕ, дозволяє змінювати продуктивність розробки ґрунту, залежності від поставленої технологічної задачі, а також збільшувати глибину копання та висоту розвантаження збільшувати об'єм розроблюваного ґрунту з однієї стоянки та радіус робочої зони, швидко змінювати в широкому діапазоні геометричні параметри ТРО та використовувати широкий спектр змінних робочих органів. **Мета статті.** Дослідити зміну експлуатаційної продуктивності для ОГЕ, оснащених інноваційним ТРО в залежності від зміни технологічних параметрів. Запропонувати метод визначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ. **Висновок.** Застосування ТРО дозволяє збільшити об'єм розроблюваного з однієї стоянки ґрунту. Збільшення об'єму розроблюваного ґрунту призводить до збільшення експлуатаційної продуктивності на *i*-му виді робіт, а досягти максимальної продуктивності можливо при виконанні робіт на рівні 55-63% від максимальної глибини копання. Оцінка ефективності по запропонованій системі показників показала, що найкраще рішення по умовам раціоналізації та оптимізації знаходиться в межах застосування ТРО. Окрім цього застосування телескопічних механізмів для телескопування стріли дозволяє підвищити продуктивність у порівнянні традиційним РО на 28%...40%. Аналіз результатів дослідження продуктивності визначити оптимальні межі застосування ТРО ОГЕ. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначені раціональні межі основних геометричних параметрів ТРО від головного параметра ОГЕ.

**Ключові слова:** продуктивність, телескопічне робоче обладнання, дослідження, одноківшевий гідравлічний екскаватор

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

ДАХНО О.А.<sup>1\*</sup>, к. т. н., асистент

<sup>1\*</sup> Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (066) 044-84-48, e-mail: [olegdakhno@gmail.com](mailto:olegdakhno@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

**Аннотация. Постановка проблемы.** Совершенствование одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) непосредственно связано с увеличением производительности, снижением энергозатрат на разработку ґрунта и расширение технологических возможностей за счет возможности изменять геометрические параметры рабочего оборудования (РО) и т. д. Применение инновационного телескопического рабочего оборудования (ТРО) ОГЭ, позволяет изменять производительность разработки ґрунта в зависимости от поставленной технологической задачи, а также увеличивать глубину копанья и высоту разгрузки, увеличивать объем разрабатываемого ґрунта с одной стоянки и радиус рабочей зоны быстро менять в широком диапазоне геометрические параметры ТРО и использовать широкий спектр сменных рабочих органов. **Цель статьи.** Исследовать изменение эксплуатационной производительности для ОГЭ, оснащенных инновационным ТРО в зависимости от изменения технологических параметров. Предложить метод определения рациональных параметров ТРО ОГЭ. **Вывод.** Применение ТРО позволяет увеличить объем разрабатываемого с одной стоянки ґрунта. Увеличение объема разрабатываемого ґрунта приводит к увеличению эксплуатационной производительности на *i*-м виде работ, а достичь максимальной производительности возможно при выполнении работ на уровне 55-63% от максимальной глубины копанья. Оценка эффективности по предложенной системе показателей показала, что лучшее решение по условиям рационализации и оптимизации находится в пределах применения ТРО. Кроме этого применение телескопических механизмов для телескопирования стрелы позволяет повысить производительность в сравнении с традиционным РО на 28% ... 40%. Анализ результатов исследования производительности определил оптимальные границы применения ТРО ОГЭ. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные пределы основных геометрических параметров ТРО от главного параметра ОГЭ.

**Ключевые слова:** производительность, телескопический рабочее оборудование, исследования, одноковшовый гидравлический экскаватор

## FORMING AND EVALUATION OF INNOVATIVE TECHNICAL SOLUTIONS SINGLE-BUCKET EXCAVATOR WITH A TELESCOPIC WORKING EQUIPMENT

DAKHNO O.O.<sup>2\*</sup>, Ph. D., assistant

<sup>1\*</sup> Department of Building and road machines. State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (066) 044-84-48, e-mail: olegdakhno@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

**Summary. Raising of problem.** Improvement of hydraulic excavators is directly related to increased productivity, reduce energy consumption for soil development and the expansion of technological capabilities due to the possibility of changing the geometric parameters of the working equipment, etc. The use of the innovative telescopic working equipment of hydraulic excavators allows changing the productivity of the development of the soil depending on the set task, as well as increasing the depth of digging and the height of the discharge, increasing the volume of the developed soil from one parking area and the radius of the working area, quickly changing in a wide range geometric parameters of telescopic working equipment and use of a wide range of variable working bodies. **The purpose of the article.** To investigate the change of operational performance for excavators equipped with innovative telescopic working equipment, depending on changes in technological parameters. Propose a method for determining the rational parameters of the telescopic equipment of the excavator. **Conclusion.** The use of telescopic working equipment allows you to increase the amount of work to be developed from one parking lot. An increase in the volume of the developed soil leads to an increase in operational productivity on the i-th type of work, and to achieve maximum productivity is possible when performing work at the level of 55-63% of the maximum depth of digging. An evaluation of the effectiveness of the proposed system of indicators showed that the best solution under the conditions of rationalization and optimization is within the limits of the use of telescopic working equipment. In addition, the use of telescopic mechanisms for boom telescoping can increase productivity by 28% ... 40% compared to traditional work equipment. Analysis of the results of the research of the performance determine the optimal limits of the use of telescopic excavator work equipment. On the basis of theoretical and experimental researches, rational boundaries of the main geometric parameters of the telescopic work equipment from the main parameter of the excavator are determined.

**Keywords:** excavator, excavators, telescopic working equipment, evaluation of the effectiveness, efficiency

**Постановка проблеми.** Удосконалення однокішневих гідравлічних экскаваторів (ОГЕ) безпосередньо пов'язано зі збільшенням продуктивності, зниженням енерговитрат на розробку ґрунту та розширення технологічних можливостей за рахунок можливості змінювати геометричні параметри робочого обладнання (РО), тощо [1, 2, 3, 11, 12, 13, 14].

В традиційних конструкціях ОГЕ підвищення продуктивності досягається за рахунок застосування змінних робочих органів більшої місткості, застосування різних РО (наприклад, змінної рукояті більшої довжини), але це має деякі недоліки: трудомісткість заміни одного робочого органу іншим, ступінчаста зміна геометрії робочої зони при заміні РО [2, 3, 4, 5, 6].

Застосування інноваційного телескопічного робочого обладнання (ТРО) ОГЕ, дозволяє змінювати продуктивність розробки ґрунту в залежності від поставленої технологічної задачі, а також збільшувати глибину копання та висоту розвантаження, збільшувати об'єм розроблюваного ґрунту з однієї стоянки та радіус робочої зони, швидко змінювати в широкому діапазоні геометричні параметри ТРО та використовувати широкий спектр змінних робочих органів. Окрім цього, ТРО ОГЕ дає змогу об'єднувати робочі операції з одночасною зміною лінійних розмірів ТРО, що дозволяє зменшувати час циклу а також виконувати роботи,

розосереджені роботи по зачистці та плануванню поверхонь земляних споруд у дорожньому будівництві.

**Мета статті.** Дослідити зміну експлуатаційної продуктивності для ОГЕ, оснащених інноваційним ТРО в залежності від зміни технологічних параметрів. Запропонувати метод визначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ.

**Основний матеріал.** Дослідження продуктивності та встановлення робочих розмірів ОГЕ безпосередньо пов'язані з об'ємом ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки [7, 8, 9]. Застосування ТРО ОГЕ дає змогу збільшити роботу зони ОГЕ та відповідно об'єм розроблюваного ґрунту у порівнянні з традиційними структурами РО. Поєднання робочих операцій з одночасною зміною геометричних параметрів дозволяє зменшити час на подолання робочих траєкторій обладнанням.

Попередній оціночний аналіз об'єму ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОГЕ –  $V_{\text{тех},i}$ , можна провести, знаючи технологічні параметри земляної споруди (ширину –  $B$  та глибину копання –  $H_K$ ), (рис. 1), та основні параметри машини-прототипу:

$$V_{\text{тех},i} \cong \left( 2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot r_2} \right) \cdot r_2 \cdot \Delta l_i \cdot H_K, \quad (1)$$

де  $\Delta l_i$  – відстань одного переміщення ОГЕ.

Відстань переміщення екскаватора та радіуси роботи ТРО та у площині стоянки ОГЕ та на дні забою (рис. 6) дорівнюють:

$$\Delta l_i = (r_2 - r_{2\text{поч.}}) \vee (r_2 - r_{1\text{поч.}}), \Delta l_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$r_1 = \sqrt{R_K^2 - (H_K + h_{\text{ш}})^2} - \sqrt{\left(\frac{H_K}{\sin \alpha_{\text{заб}}}\right)^2 - H_K^2}; \quad (3)$$

$$r_{1\text{поч.}} = \frac{1.2G^{1/3}}{2} + z; \quad (4)$$

$$r_2 = \sqrt{R_K^2 - (H_K + h_{\text{ш}})^2}; \quad (5)$$

$$r_{2\text{поч.}} = \sqrt{\left(\frac{H_K}{\sin \alpha_{\text{заб}}}\right)^2 - H_K^2} + \left(\frac{1.2G^{1/3}}{2} + z\right), \quad (6)$$

де  $R_K$  – радіус копання;  $h_{\text{ш}}$  – висота кріплення шарніру п'яти стріли;  $1.2G^{1/3}$  – поздовжня відстань між ходовими катками гусениці [8],  $G$  – маса екскаватора;  $z$  – мінімальна відстань від катка ходового пристрою (опор екскаватора) до верхньої брівки відкосу виїмки при умові дотримання допустимого кута відкосу забою  $\alpha_{\text{заб}} = 38^\circ \dots 90^\circ$  залежності від типу ґрунту, та дорівнює  $z=0.3 \dots 1$  [2, 3, 4].

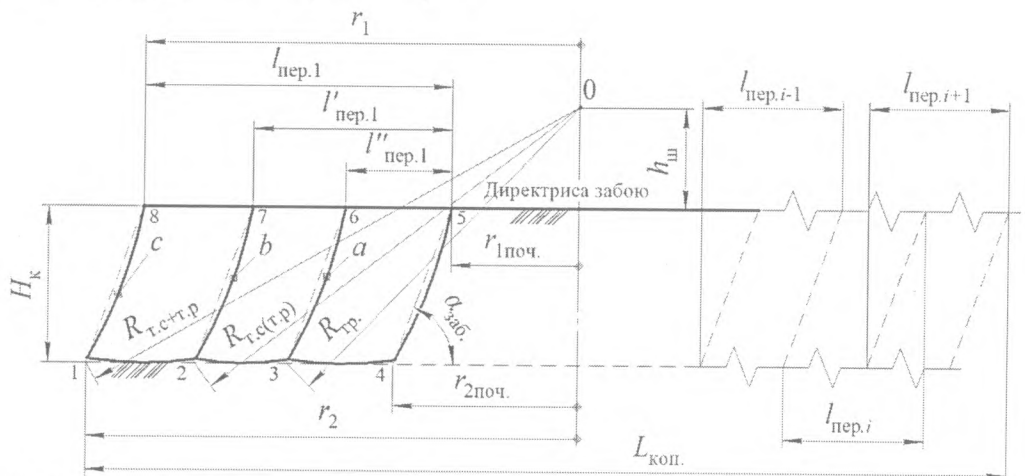


Рис. 1. Параметрична схема для визначення об'єму копання ґрунту ТРО та традиційним РО при заданій глибині копання  $H_K$ : а, b, с – траєкторії копання традиційним РО та з телескопічними стрілою (рукояттю), стрілою та рукояттю, відповідно;  $R_{TR}$ ,  $R_{TCTP}$ ,  $R_{TCTP}$  – радіуси копання традиційним РО та з телескопічними стрілою (рукояттю), стрілою та рукояттю, відповідно;  $l_{\text{пер.1}}$ ,  $l_{\text{пер.1-1}}$ ,  $l_{\text{пер.1}}$ ,  $l_{\text{пер.1+1}}$  – перша та наступні відстані переміщення екскаватора з телескопічними стрілою та рукояттю РО, відповідно;  $l'_{\text{пер.1}}$  – відстань переміщення екскаватора з традиційним РО;  $L_{\text{коп}}$  – довжина копання;  $h_{\text{ш}}$  – відстань від площини стоянки екскаватора до шарніру кріплення п'яти стріли; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – точки для позначення перетину робочих траєкторій

Зменшення кількості переміщень  $n$  екскаватора відбувається за рахунок збільшення довжини одного переміщення  $l_{\text{пер.}}$ , що досягається збільшенням лінійних розмірів РО ОГЕ та максимального радіусу копання ( $R_K \rightarrow \max$ ).

$$L_{\text{коп}} = \sum_{i=1}^n \Delta l_i. \quad (7)$$

На рисунку 1 площа поперечного перетину елемента забою при роботі традиційним РО позначена точками 3, 4, 5, 6, при роботі РО з телескопічною стрілою (рукояттю) – точками 2, 4, 5, 7, а при роботі РО з телескопічними стрілою та рукояттю – 1, 4, 5, 8.

Об'єм розроблюваного ґрунту в забої  $V_{\text{тех.}i}$  дорівнюватиме:

$$V_{\text{заб.}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{тех.}i}. \quad (8)$$

Щоб розробити ОГЕ порцію ґрунту, необхідно виконати у визначеній послідовності комплекс технологічних операцій: відділення від масиву та захват ґрунту, переміщення ґрунту в межах дії ковша, вантаження ґрунту в транспортний засіб або укладання у відвал чи земляну споруду.

В реальних умовах виробництва земляних робіт, окрім названих технологічних операцій необхідно

виконувати додаткові операції, наприклад, власне переміщення екскаватора на нову стоянку після розробки забою в межах дії ковша.

Експлуатаційна продуктивність екскаватора для розробки ґрунту в періоді часу  $i$ -го переміщення ОГЕ на нове місце стоянки визначається за формулою [3]:

$$P_{e_i} = \frac{3600 \cdot V_{\text{тех.}i}}{T_i}; \quad (9)$$

де  $T_i$  – період часу при одному переміщенні, дорівнює:

$$T_i = t_{\text{пер}} + \sum_{j=1}^{m_j} t_{c_j}; \quad (10)$$

де  $m_j$  – кількість робочих циклів в періоді  $i$ -го переміщення;  $t_{\text{пер}}$  – час переміщення екскаватора на нову стоянку;  $T'$  – загальний час роботи екскаватора за  $n$  переміщень.

$$m_j = \frac{V_{\text{тех.}i}}{q_r}; \quad (11)$$

де  $q_r = q \frac{k_{\text{нап.}}}{k_{\text{роз.}}}$  – середній об'єм ґрунту в щільному тілі в ковші екскаватора,  $q$  – геометрична місткість ковша,  $k_{\text{нап.}}$ ,  $k_{\text{роз.}}$  – коефіцієнти наповнення та розпушення ґрунту, відповідно.

Таким чином, експлуатаційна продуктивність ОГЕ в періоді  $n$  переміщень, дорівнюватиме:

$$P_e = \frac{3600 \cdot \sum_{i=1}^n V_{\text{тех.}i}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{пер.}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_j} t_{\text{ц}}}, \quad (12)$$

Застосування РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками, таким як ТРО, дозволяє отримати низку змінних геометричних параметрів, а саме,  $H_K = [H_{K,\text{min}}^T, H_{K,\text{max}}^T]$  – глибини копанья та  $R = [R_{\text{min}}^T, R_{\text{max}}^T]$  – радіусів копанья.

$$[H_{K,\text{min}}^T, H_{K,\text{max}}^T] \stackrel{\text{def}}{=} \{H_K \in \mathbb{R}: H_{K,\text{min}}^T \leq H_K \leq H_{K,\text{max}}^T\}, H_K \rightarrow \text{max}; \quad (13)$$

$$[R_{\text{min}}^T, R_{\text{max}}^T] \stackrel{\text{def}}{=} \{R \in \mathbb{R}: R_{\text{min}}^T \leq R \leq R_{\text{max}}^T\}, R \rightarrow \text{max}. \quad (14)$$

Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОГЕ, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного

переміщення ОГЕ  $V_{\text{тех.}i} \rightarrow \text{max}$  та забезпечити максимальну продуктивність при роботі на майданчиках з обмеженими під'їздами та вузьких місцях. Виконання робочих операцій з одночасною зміною геометричних параметрів, яку дозволяє виконувати ТРО, забезпечує зменшення часу циклу та робочих операцій у порівнянні з ОГЕ з фіксованими геометричними параметрами  $t_{\text{ц}} \rightarrow \text{min}$ ,  $t_{\text{орк}} \rightarrow \text{min}$ .

Перевірочні розрахунки по математичним моделям (1) – (14), проводились для універсального ОГЕ, IV розмірної групи, оснащеного трисекційними телескопічними механізмами стріли і рукояті, при цьому ТРО поєднує в собі параметри ОГЕ оснащеного як традиційним РО, так і РО зі збільшеними геометричними параметрами, технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

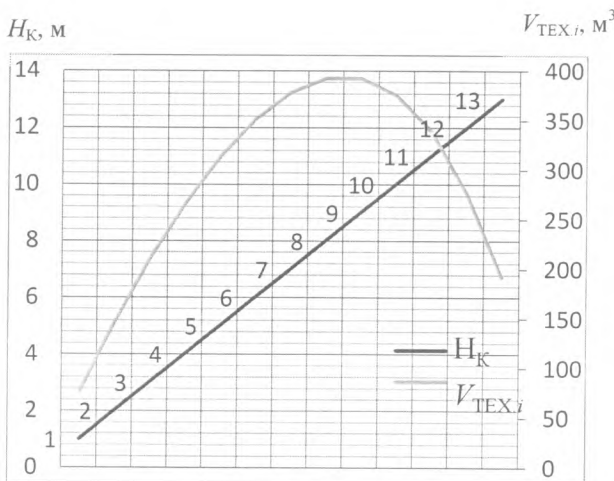
Технічні характеристики ОГЕ оснащеного ТРО

Параметр	Роз-мірн.	Умов. познач.	Значення	Примітки
Маса	т	$G$	29.4	
Двигун: потужність	кВт	$N$	140	
Тиск у гідравлічній системі: нормальний; максимальний	МПа МПа	$P_H$ $P_{\text{max}}$	34.0 38.0	
Діаметр штока гідроциліндрів: телескопічної стріли; телескопічної рукояті; ковша	мм мм мм	$D_{\text{ГЦТС}}$ $D_{\text{ГЦТР}}$ $D_{\text{ЦК}}$	100 110 65	2 шт.
Швидкість пересування	м/с	$v$	1.444	
Радіус повороту телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ківшом	м м	$R_{\text{ТС+ТР+Кmin}}$ $R_{\text{ТС+ТР+Кmax}}$	9.69(12.8) 18.2(19.2)	
Глибини копанья: - при втягнутих ТС стріли та рукояті; - при втягнутій ТС стріли та виштовхнутій ТС рукояті; - при виштовхнутій ТС стріли та втягнутій ТС рукояті; - при виштовхнутих ТС стріли та рукояті	м м м м	$H_{\text{КТС+ТР}}$ $H_{\text{КТРС+ТР}}$ $H_{\text{КТТС+ТР}}$ $H_{\text{КТРС+ТР}}$	6.94(7.2) 10.2(11.3) 10.7(11.3) 13.7(14.8)	моноблочна (шарнірно- зчленована) конструкція стріли
Місткість ковшів	м <sup>3</sup>	$q_1$ $q_2$ $q_3$ $q_4$ $q_5$ $q_6$ $q_7$ $q_8$ $q_9$ $q_{10}$ $q_{11}$	0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4	при $6\text{м} < H_K \leq 13.2\text{м}$  при $0 < H_K \leq 6\text{м}$

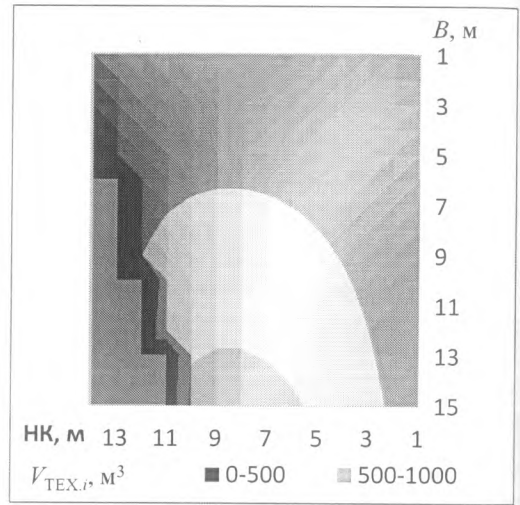


В якості ґрунтової споруди прийнято траншею, відвантаження ґрунту відбувається у відвал, копання відбувається торцевою проходкою з переміщенням по прямій. Технологічні параметри ґрунтової споруди: кут відкосу забою –  $\alpha_{заб}=70^\circ$ ; ширина проходки –  $B=0.8 \cdot R=15$  (м), для даного типу ґрунтової споруди такі як визначались з урахуванням, відповідно до рекомендацій приведених у [9]; довжина траншеї –  $L_{КОП}=500$  м. При цьому, для визначення оптимального режиму розглядаються різні глибини копання —  $[H_{K.min}, H_{K.max}] = \{1\text{м} \leq H_K \leq 13.2\text{м}\}$ . На рисунку 2

зображені графіки залежності об'єму ґрунту  $V_{ТЕХ}$  періоді одного переміщення ОґЕ від глибини копання  $H_K$ . Копання відбувається при виштовхнуті ТС стріли та рукояті з ківшом, місткістю 0.75. Графіки показують параболічний характер зростання об'єму розроблюваного ґрунту при лінійно збільшенні глибини копання. При цьому максимальне значення об'єму розроблюваного ґрунту досягається на глибині  $H_K=8.5\text{м}$ , що складає 64%...66% від глибини копання. Збільшення ширини проходки  $B$  має лінійний характер впливу зростання об'єму розроблюваного ґрунту.



а



б

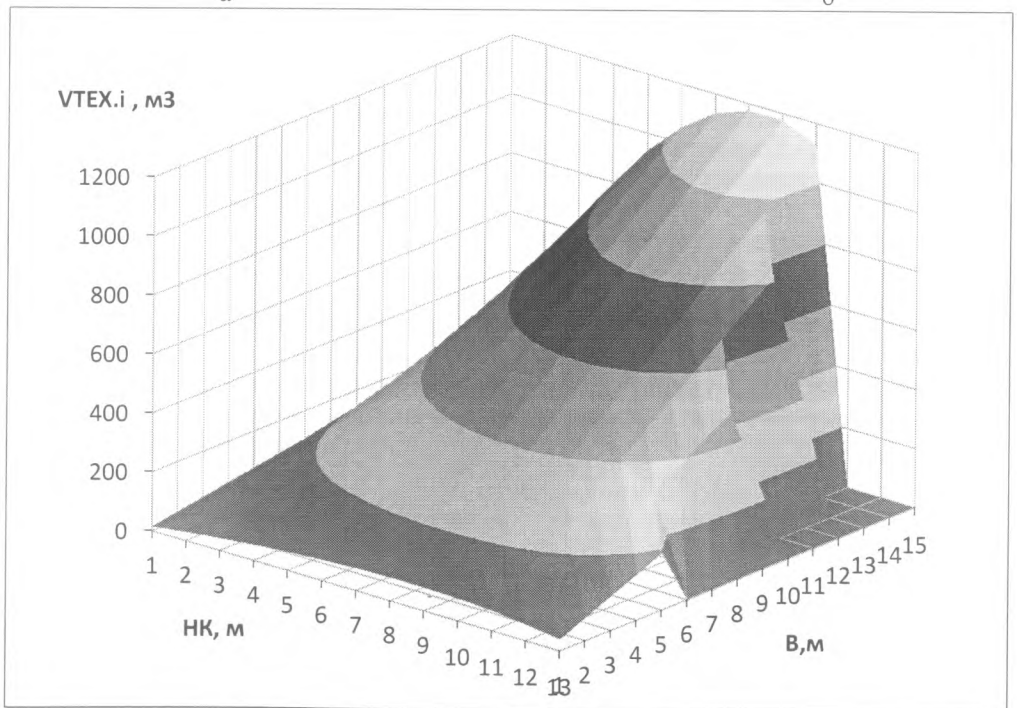


Рис. 2. Графіки залежності об'єму ґрунту  $V_{ТЕХ,i}$  в періоді одного переміщення ОґЕ від глибини копання  $H_K$  та ширини проходки  $B$ : а – лінійний графік; б – порівняльна схема; в – просторова схема

Найбільше значення об'єму розроблюваного ґрунту спостерігається при максимальній ширині проходки  $B$ , а найменше – при мінімальній ширині проходки  $B$ .

На рисунку 3 представлено графік залежності відстані одного переміщення  $l_{\text{ПЕР}}$  від глибини копання  $H_K$  для максимального значення радіусу копання ТРО  $R_{T,C+T,P+Kmax}$ . При збільшенні глибини копання  $H_K$  починає зменшуватись по параболічній відстань переміщення  $l_{\text{ПЕР}}$ .

На рисунках 4 та 5 представлені у вигляді просторових поверхонь графіки зміни експлуатаційної продуктивності  $Pe_i$  в залежності від довжини проходки  $L_{\text{КОП}}$  та ширини проходки  $B$  (рис. 4 а), від довжини проходки  $L_{\text{КОП}}$  та глибини копання  $H_K$  (рис. 4 б) та від глибини копання та  $H_K$  ширини проходки  $B$  (рис. 5) при розробці ґрунту ківшом, місткістю  $q_i=0,75 \text{ м}^3$ . При дослідженні впливу довжини проходки  $L_{\text{КОП}}$  та ширини проходки  $B$  (рис. 4, а) на зміну експлуатаційної продуктивності  $Pe_i$  глибина копання встановлювалась на рівні  $H_K=8,5\text{м}$ , що відповідає максимальному значенню об'єму розроблюваного ґрунту (рис. 2, а). Збільшення довжини проходки  $L_{\text{КОП}}$  призводить до падіння експлуатаційної продуктивності, яке має лінійний характер, це пояснюється збільшенням кількості періодів часу перемішень ОґЕ. Збільшення ширини проходки  $B$  призводить до зростання експлуатаційної продуктивності  $Pe_i$  по параболічній залежності. Оптимальний діапазон зміни ширини проходки  $B$  при використанні ТРО з максимальним вильотом позначено та жовтим кольором на рисунку 4.3, а, та відповідно дорівнює  $B_{\text{ОПТ}} = \{4,8\text{м} \leq B \leq 15\text{м}\}$ , що пояснюється максимізацією об'єму розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОґЕ. Зміна глибини копання від  $[H_{K,min}, H_{K,max}] = \{1\text{м} \leq H_K \leq 13,2\text{м}\}$  показує наявність екстремуму на рівні  $H_K=8,5\text{м}$ , що складає 64%...66% від глибини копання, та наступне падіння продуктивності із зростанням глибини копання (рис. 4, б). Максимальні значення продуктивності  $Pe_i$  пояснюються максимальним об'ємом розроблюваного ґрунту в періоді одного

переміщення ОґЕ, а наступне падіння продуктивності із збільшенням глибини копання пояснюється зменшенням відстані одного переміщення  $l_{\text{ПЕР}}$  ОґЕ (рис. 3), та відповідним збільшенням сумарного часу на переміщення ОґЕ на нове місце стоянки у забої.

Просторовий графік зміни експлуатаційної продуктивності  $Pe_i$  в залежності від глибини копання та  $H_K$  ширини проходки  $B$ , зображений на рисунку 5 вказує на існування оптимального діапазону глибин копання  $H_{\text{КОП}} = \{5\text{м} \leq H_K \leq 9\text{м}\}$  та ширини проходки  $B_{\text{ОПТ}} = \{2,8\text{м} \leq B \leq 15\text{м}\}$  для цього діапазону глибин при забезпеченні максимальної експлуатаційної продуктивності  $Pe_i$  на  $i$ -му виді робіт та позначено синім кольором на рисунку 4.4. Характер просторового графіку (рис. 5) пояснюється об'ємом розроблюваного ґрунту  $V_{\text{ТЕХ},i}$  на  $i$ -му виді робіт [10, 11].

На рисунку 4.5 представлено порівняльну гістограму зміни експлуатаційної продуктивності  $Pe_i$  в залежності від місткості ковша  $q_i$  для максимального  $R_{T,C+T,P+Kmax}$  та мінімального  $R_{T,C+T,P+Kmin}$  (геометричні параметри відповідають традиційній конструкції РО ОґЕ) радіусів копання. Аналіз проводився для оптимальної глибини копання (відповідно до рисунку 2, а) на рівні 62% максимальної глибини копання  $H_K$ , що складає 8 та 4 метри, відповідно. Гістограма (рис 6) показує, що максимізація об'єму розробки ґрунту в періоді одного переміщення за рахунок збільшення геометричних параметрів ТРО ОґЕ призводить до оптимізації продуктивності по місткості ковша. Так, виконання робіт з максимальним радіусом копання ТРО обладнаного ківшом місткістю  $q_5 = 0,6 \text{ м}^3$  на глибині копання  $H_K = 8\text{м}$  здатне забезпечити експлуатаційну продуктивність аналогічну при виконанні робіт з мінімальним радіусом копання ТРО обладнаного ківшом місткістю  $q_9 = 0,8 \text{ м}^3$  на глибині копання  $H_K = 4\text{м}$ , при  $q_8 = 0,75 \text{ м}^3$ ,  $R_{T,C+T,P+Kmax}$  та  $H_K = 8\text{м}$  – аналогічним  $q_{13} = 1,2 \text{ м}^3$ ,  $R_{T,C+T,P+Kmin}$  та  $H_K = 4\text{м}$ .

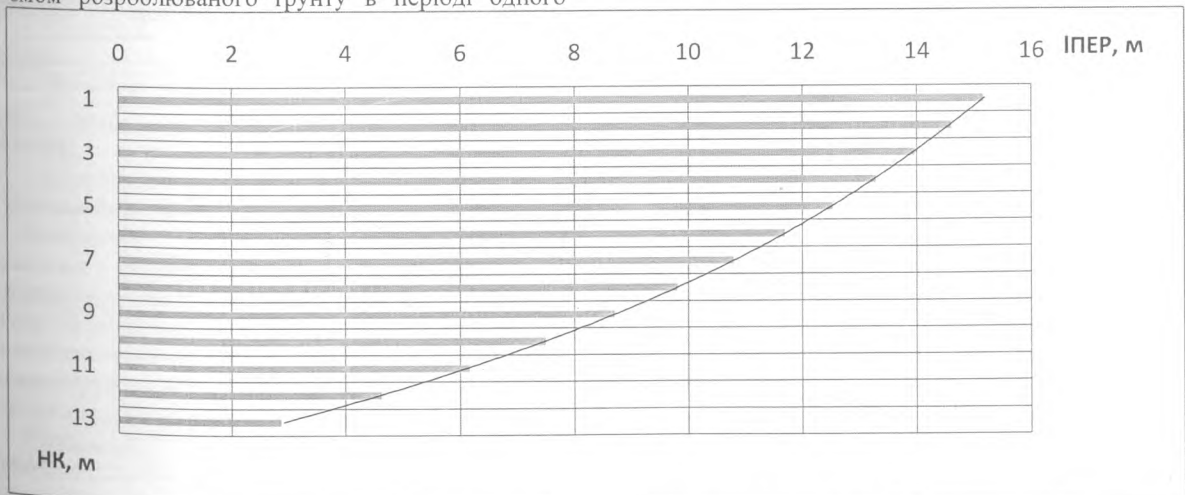
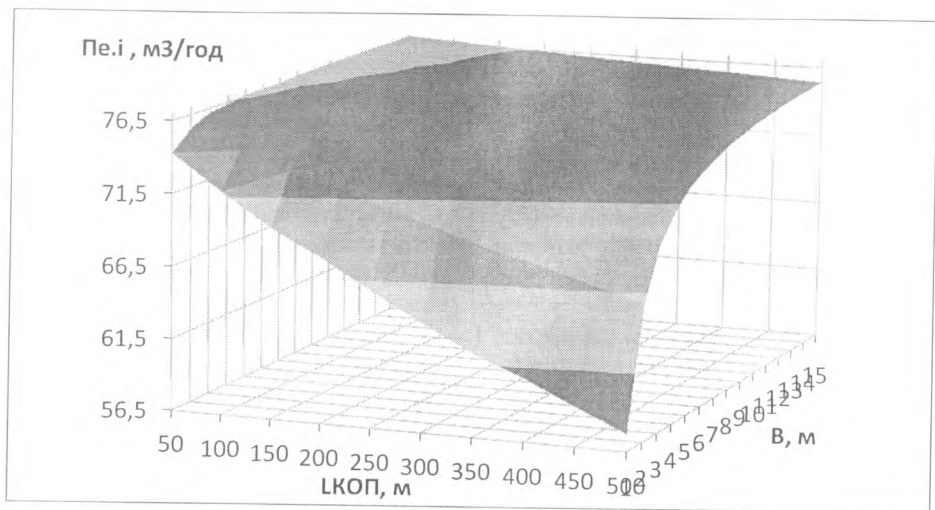
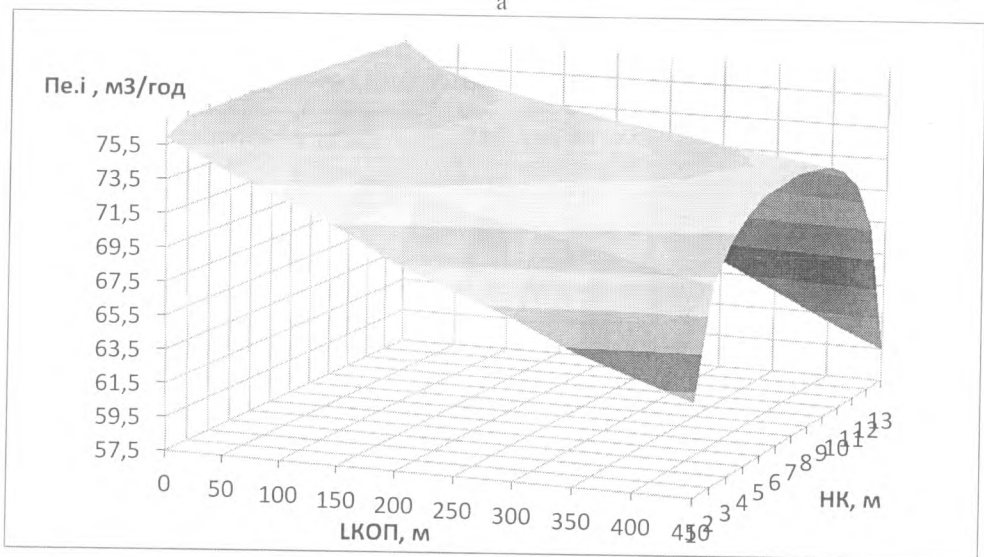


Рис. 3. Графік залежності відстані одного переміщення  $l_{\text{ПЕР}}$  від глибини копання  $H_K$



а



б

Рис. 4. Графіки зміни експлуатаційної продуктивності  $P_{e,i}$  в залежності: а – від довжини проходки  $L_{kop}$  та ширини проходки  $B$ ; б – від довжини проходки  $L_{kop}$  та глибини копання

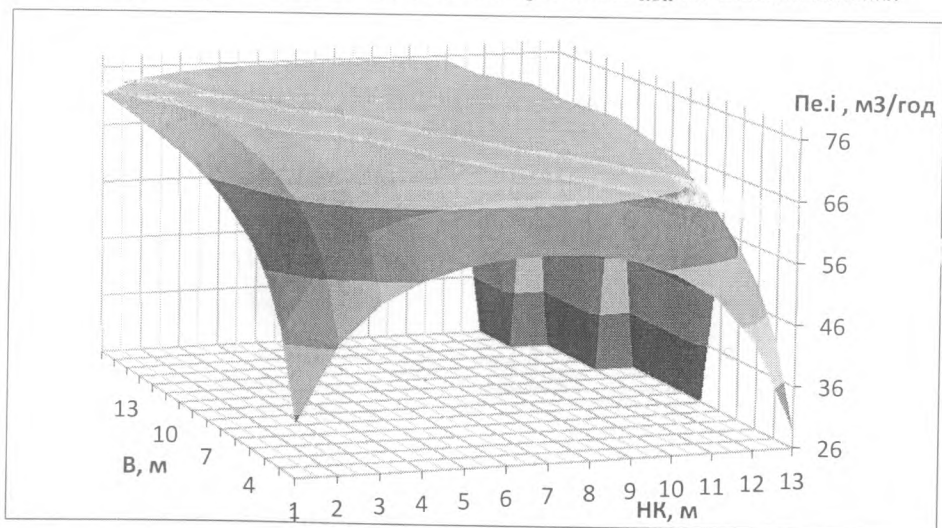


Рис. 5. Графік зміни експлуатаційної продуктивності  $P_{e,i}$  в залежності від глибини копання та  $H_k$  ширини проходки  $B$

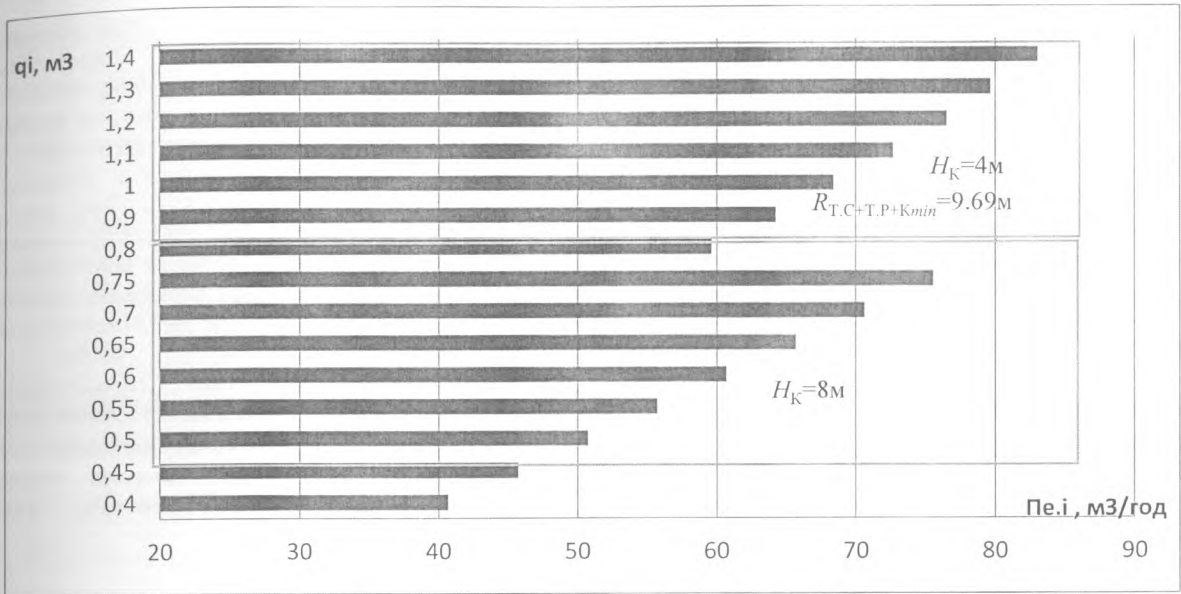


Рис. 6. Порівняльна гістограма зміни експлуатаційної продуктивності  $P_{e.i}$  в залежності від місткості ковша  $q_i$

Збереження традиційних плеч прикладання дотичного зусилля копання  $P_{01}$ , що дає змогу використовувати ківші місткістю  $[q_9, q_{15}] = \{0.8 \leq q \leq 1.4\}$ , (м³), а обмеження по застосуванню ТРО та відповідних робочих органів зводяться до забезпечення стійкості ОГЕ. Таким чином, при використанні технологічних схем ТРО ОГЕ  $A_2^0 B_2^0$ ,  $A_2^1 B_2^0$  та  $A_2^2 B_2^0$  можливе застосування ковшів  $q_7, q_8, q_9$ , при  $A_2^0 B_2^1, A_2^1 B_2^1$  та  $A_2^2 B_2^1 - q_9, q_{10}, q_{11}$ , при  $A_2^0 B_2^2, A_2^1 B_2^2$  та  $A_2^2 B_2^2 - q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8$ .

**Вибір і призначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ.** При виборі раціональних параметрів ТРО ОГЕ ставиться завдання забезпечення високої продуктивності при мінімальній енергоємності та собівартості робіт. Для ОГЕ обладнаного ТРО головним параметром є експлуатаційна маса з основним РО, а основні геометричні параметрами є похідними від експлуатаційної маси:

- довжина нижньої частини стріли (при шарнірно-зчленованій конструкції стріли);
- довжина телескопічної частини стріли, при одно-, дво- та трисекційних телескопічних системах;
- довжина телескопічної рукояті при одно-, дво- та трисекційних телескопічних системах.

Похідними від основних геометричних параметрів є технологічні параметри, такі як глибина та радіус копання, та відповідно типорозмір робочого органу. Основними обмеженнями, які впливають на основні геометричні параметри є умови забезпечення стійкості ОГЕ та розвивання максимально можливого зусилля копання на ріжучій кромці робочого органу.

Визначення раціональних конструктивних параметрів ТРО ОГЕ базується на результатах виконаних теоретичних та експериментальних досліджень [10, 11, 12,].

Конструктивна схема ковша із зазначенням основних розмірів наведена на рис. 7.

Для визначення раціональних параметрів приймаємо ОГЕ IV розмірної групи з шарнірно-зчленованою конструкцією стріли (технічні характеристики представлені в таблиці 1), який оснащений ТРО зі структурною схемою  $(A_n B_k E_w) = A_2 \times B_2 \times \{E_e\}$ . Параметри гідромеханізмів – плечі прикладання сил до виконавчих ланок лишаються незмінними.

Формули для визначення параметрів ТРО ОГЕ та відповідні параметри традиційного РО наведені у таблиці 2.

Рекомендовані параметри підтверджені експериментальними дослідженнями та забезпечують отримання максимального ефекту:

- при втягнутих ТС стріли та виштовхнутих ТС рукояті доцільно застосовувати на ґрунтах 1 і 2 категорій, а на ґрунтах 3 категорії при копанні з мінімальною товщиною вирізаної стружки чи з попереднім розпушенням;
- при виштовхнутих ТС стріли та втягнутих ТС рукояті доцільно застосовувати на ґрунтах 1-3 категорій в усіх режимах.

При виконанні земляних робіт ТРО для забезпечення максимального ефекту по запропонованим показникам оцінки ефективності та забезпечення максимальної продуктивності слід обирати технологічні схеми з виштовхуванням ТС стріли та втягнутими ТС рукояті. Подібні структури забезпечують максимальні робочу зону та об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення, при збереженні традиційних плеч прикладання зусиль.



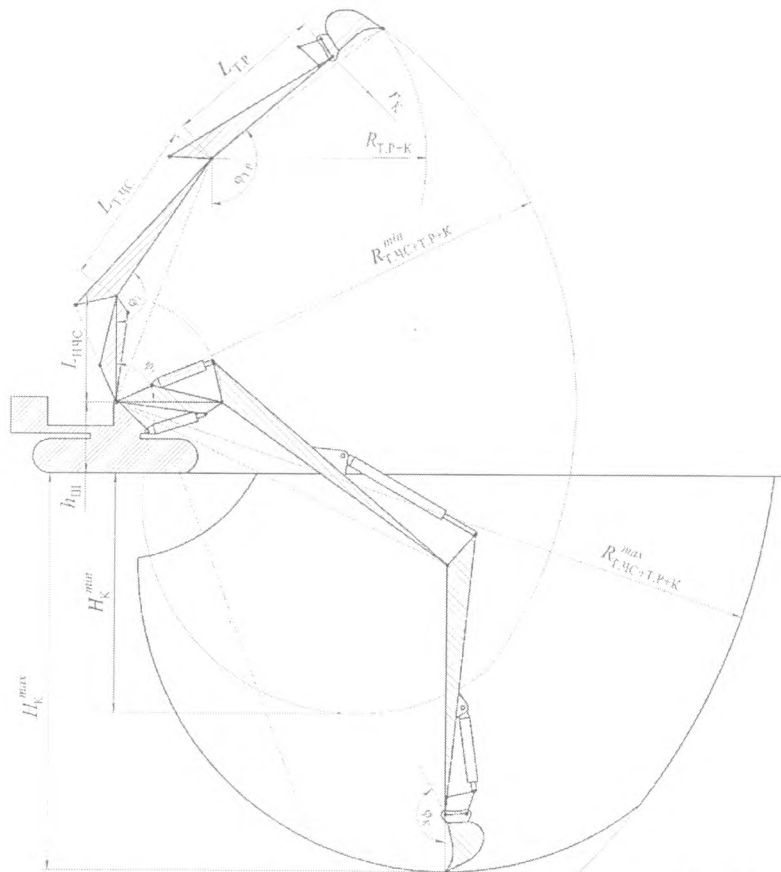


Рис. 7. Схема для визначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ

Таблиця 1

Раціональні параметри ОГЕ з ТРО

Параметр	Роз-мірн.	Ум. поз.	Формула	Примітки
Довжина нижньої частини стріли	м	$L_{HЧC}$	$L_{HЧC} = L_{HЧC}^{TP}$	
Довжина телескопічної частини стріли: - при втягнутих ТС; - при одній виштовхнутій ТС; - при двох виштовхнутих ТС	м м м	$L_{TЧC_0}$ $L_{TЧC_1}$ $L_{TЧC_2}$	$L_{TЧC_0} = (1.06 \dots 1.22)l_P^{TP}$ $L_{TЧC_1} = (1.38 \dots 1.41)l_P^{TP}$ $L_{TЧC_2} = (1.7 \dots 1.76)l_P^{TP}$	$l_P^{TP} = 1.35G^{\frac{1}{3}}$ , де $G$ – експлуатаційна маса ОГЕ, т
Довжина телескопічної рукояті: - при втягнутих ТС; - при одній виштовхнутій ТС; - при двох виштовхнутих ТС	м м м	$L_{T.P_0}$ $L_{T.P_1}$ $L_{T.P_2}$	$L_{T.P_0} = l_P^{TP}$ $L_{T.P_1} = (1.2 \dots 1.29)l_P^{TP}$ $L_{T.P_2} = (1.53 \dots 1.58)l_P^{TP}$	
Радіус копання поворотом телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ківшом	м	$R_K$	$[R_{Kmin}, R_{Kmax}] = \{(3.1 \dots 4.1)G^{\frac{1}{3}} \leq R_K \leq (5.8 \dots 6.2)G^{\frac{1}{3}}\}$	
Глибина копання телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ківшом	м	$H_K$	$[H_{Kmin}, H_{Kmax}] = \{(2 \dots 2.2)G^{\frac{1}{3}} \leq H_K \leq (3.9 \dots 4.2)G^{\frac{1}{3}}\}$	
Кути різання, загострення, та ін.	град.	$\alpha_i^{TPO}$	$\alpha_i^{TPO} = \alpha_i^{TP}$	
Кути повороту стріли, рукояті, ковша, та ін.	град.	$\phi_i^{TPO}$	$\phi_i^{TPO} = \phi_i^{TP}$	

**Висновок.** Застосування ТРО дозволяє збільшити об'єм розроблюваного з однієї стоянки ґрунту. Збільшення об'єму розроблюваного ґрунту призводить до збільшення експлуатаційної

продуктивності  $P_{e,i}$  на  $i$ -му виді робіт, а досягти максимальної продуктивності можливо при виконанні робіт на рівні 55-63% від максимальної глибини копання.

Оцінка ефективності по запропонованій системі показників показала, що найкраще рішення по умовам раціоналізації та оптимізації знаходиться в межах застосування ТРО. Окрім цього, застосування телескопічних механізмів для телескопування стріли дозволяє підвищити продуктивність у порівнянні з традиційним РО на 28%...40%.

Аналіз результатів дослідження продуктивності визначити оптимальні межі застосування ТРО ОГЕ для:

- глибини копання  $H_{\text{КОПТ}} = \{5\text{м} \leq H_{\text{К}} \leq 9\text{м}\}$  та ширини проходки  $B_{\text{ОПТ}} = \{2,8\text{м} \leq B \leq 15\text{м}\}$  для цього діапазону глибин при забезпеченні

максимальної експлуатаційної продуктивності  $P_{e,i}$  на  $i$ -му виді робіт.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначені раціональні межі основних геометричних параметрів ТРО від головного параметра ОГЕ, серед яких:

- довжина нижньої частини стріли; довжина телескопічної частини стріли; довжина телескопічної рукояті (таблиця 2); радіус та глибина копання; технологічні та конструктивні кути;

- визначені типорозміри ковшів для усіх можливих варіацій висування втягування ТС ТРО ОГЕ.

Використання ТРО дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон робіт, які виконуються.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт. 1993. – 383с.
2. Хмара Л. А., Дахно О. О. Инновационное телескопичное рабочее оборудование однокорневых гидравлических экскаваторов. – Дніпро.: Літограф, 2017. – 170с.
3. Дахно О. О. Підвищення ефективності однокорневого гидравлического экскаватора створенням телескопичного робочого обладнання: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Дахно Олег Олександрович. – Дніпро, 2017. – 216 с.
4. Дахно О. О. Энергетична оптимізація процесу копання ґрунту однокорневим экскаватором, оснащеним телескопичним робочим обладнанням / Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. – Вып. 88 = С. 50 – 58.
5. Баловнев В. И. Физическое моделирование резания грунтов / Баловнев В. И. – М.: Высшая школа, 1969. – 159 с.
6. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учебн. Пособие для студентов высших учебных заведений. 2-е изд., перераб. / Баловнев В. И. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.
7. Daniel J. I. A MathCAD Manual for Engineering Mechanics: Statics - Computational Edition / Daniel J. I. – Cengage Learning, 2007. – 162 p.
8. Хмара Л. А. Машини для земляних робіт: підручник / Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М. П., Нікітін В. Г., Дерев'янчук М. І., Супонев В. М., Під ред. Хмари Л. А., Кравця С. В. - Харків: ХНАДУ, 2014. - 548 с.
9. Хмара Л.А. Теоретичні основи копання ґрунту однокорневим экскаватором із телескопичним робочим обладнанням / Хмара Л. А., Басв С. В., Дахно О. О. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури – Дніпропетровськ.: ДВНЗ ПДАБА. 2015. №.5 (206). – С. 51-65.
10. Хмара Л.А., Дахно О.О. Телескопичне робоче обладнання гидравлического экскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 29-37.
11. Хмара Л.А., Дахно О.О. Формування та оцінка ефективності телескопичного робочого обладнання однокорневого гидравлического экскаватора. // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 142-154.

### REFERENCES

1. Balovnev V.I., Khmara L.A. *Intensifikatsiya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitelstve* [Intensification of digging of soil in road construction]. – М.: Transport. 1993 – 383p.
2. Khmara L.A., Dakhno O.O. *innovatsiine teleskopichne roboche obladnannia odnokivshevyykh hidravlichnykh ekskavatoriv* [Innovative telescopic working equipment of single-bucket hydraulic excavators]. – Dnipro.: Litohrad, 2017, 170 p.
3. Dakhno O. O. *Pidvyshchennia efektyvnosti odnokivshevoho hidravlichnoho ekskavatora stvorenniam teleskopichnoho robochoho obladnannia*. [Increase the effectiveness of a single-bucket hydraulic excavator by creating telescopic working equipment]: dys. ... kand. tekn. nauk: 05.05.04 / Dakhno Oleh Oleksandrovych. – Dnipro, 2017. – 216

4. Dakhno O. O. *Enerhetychna optymizatsiia protsesu kopannia gruntu odnokivshevym ekskavatorom osnashchenym teleskopichnym robochym obladnanniam* [Energy optimization of soil digging process by a single-hulled excavator equipped with telescopic working equipment] / Dakhno O. O. // *Stroytelstvo. Materialovedeniye. Mashynostroeniye*. – Dnepropetrovsk: HVUZ «PHASA», 2016. – Vyp. 88 = S. 50 – 58.
5. Balovnev V. Y. *Fyzycheskoe modelyrovanye rezaniya hruntov* [Physical modeling of soil cutting] / Balovnev V. I. – M.: Vysshaya shkola, 1969. – 159 s.
6. Balovnev V. Y. *Modelyrovanye protsessov vzaymodeistviya so sredoi robochykh orhanov dorozhno-stroytelnykh mashyn: Uchebn. Posobyie dlia studentov vysshykh uchebnykh zavedeniy. 2-e yzd., pererab.* [Modeling of processes of interaction with the environment of working organs of road-building machines. Training. A manual for students of higher educational institutions. 2nd ed., Reworked] / Balovnev V. I. – M.: Mashynostroeniye, 1994. – 432 s.
7. Daniel J. I. *A MathCAD Manual for Engineering Mechanics: Statics - Computational Edition* / Daniel J. I. - Cengage Learning, 2007. – 162 p.
8. Khmara L. A. *Mashyny dlia zemlianykh robit: pidruchnyk* [Machines for earthworks: textbook] / Khmara L. A., Kravets S. V., Skobliuk M. P., Nikitin V. H., Derevianchuk M. I., Suponiev V. M., Pid red. Khmary L. A., Kravtsia S. V. - Kharkiv: KhNADU, 2014. - 548 s.
9. Khmara L.A. *Teoretychni osnovy kopannia gruntu odnokivshevym ekskavatorom iz teleskopichnym robochym obladnanniam* [Theoretical basis of soil digging by a single-digger excavator with telescopic working equipment] / Khmara L. A., Baiev S. V., Dakhno O. O. // *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Dnipropetrovsk.: DVNZ PDABA. 2015. №.5 (206).* – S. 51-65.
10. Khmara L.A., Dakhno O.O. *Teleskopichne roboche obladnannya hidravlichnoho ekskavatora, otsinka yoho efektyvnosti ta vyznachennya ob"yemu kopannya gruntu* [The telescopic working equipment of hydraulic excavator, evaluation of its effectiveness and determine of volume of digging soil]. *Coll. scientific works: Construction, materials science, mechanical engineering.* – D.: PSACEA, 2012. №.66.4.2. – P. 29-37
11. Khmara L.A., Dakhno O.O. *Formuvannya ta otsinka efektyvnosti teleskopichnoho robochoho obladnannya odnokivshevoho hidravlichnoho ekskavatora.* [The formation and evaluation of efficiency of telescopic working equipment of hydraulic excavator]. *Coll. scientific works: Construction, materials science, mechanical engineering.* – D.: PSACEA, 2012. №.66.4.2. – P.142-154