

УДК 621.879.33

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА ОСНАЩЕНОГО ТЕЛЕСКОПІЧНИМ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ

ХМАРА Л.А.¹, *д.т.н., проф.*,
ДАХНО О.О.^{2*}, *аспірант.*

¹ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

^{2*} Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (066) 044-84-48, e-mail: olegdakhno@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327.

Анотація. Постановка проблеми. Перспективним напрямком розвитку землерийної техніки є телескопічне робоче обладнання одноківшевого екскаватора, яке дозволяє збільшити глибину копання та висоту розвантаження, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту з однієї стоянки та радіус роботи обладнання, швидко змінювати в широкому діапазоні геометричні параметри робочого обладнання та використовувати широкий спектр змінних робочих органів. Окрім цього, телескопічне робоче обладнання дає змогу об'єднувати робочі операції з одночасною зміною лінійних розмірів обладнання, що дозволяє зменшувати час циклу а також виконувати роботи які потребують поступального руху, наприклад, розосереджені роботи по зачистці та плануванню поверхонь земляних споруд у дорожньому будівництві. **Мета статті.** Сформувати систему показників оцінки ефективності, експлуатаційних властивостей та спосіб визначення експлуатаційної продуктивності для одноківшевих екскаваторів, оснащених телескопічним робочим обладнанням. **Висновок.** Екскаватор, оснащений телескопічним робочим обладнанням є найкращим вибором для застосування на спеціальних роботах, таких, як чистове оформлення відкосів, очистка, обслуговування, а також видалення рослинності з берегів та дна річок та каналів, екскавація широких та глибоких котлованів. Застосування телескопічного робочого обладнання дозволяє збільшити об'єм розроблюваного з однієї стоянки ґрунту. Оцінка ефективності по запропонованій системі показників показала, що найкраще рішення по умовам раціоналізації та оптимізації знаходиться в межах застосування телескопічного робочого обладнання. Окрім цього застосування телескопічних механізмів для телескопування стріли дозволяє підвищити продуктивність у порівнянні з традиційним робочим обладнанням на 28%...40%.

Ключові слова: одноківшевий екскаватор, телескопічне робоче обладнання, оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОКОВШОВОГО ЕКСКАВАТОРА ОСНАЩЕННОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ РОБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

ХМАРА Л.А.¹, *д.т.н., проф.*,
ДАХНО О.А.^{2*}, *аспірант*

¹ Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

^{2*} 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, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327.

Аннотация. Постановка проблемы. Перспективным направлением развития землеройной техники является телескопический рабочий оборудован одноковшового экскаватора, которое позволяет увеличить глубину копания и высоту разгрузки, увеличить объем разрабатываемого грунта с одной стоянки и радиус работы оборудования, быстро менять в широком диапазоне геометрические параметры рабочего оборудования и использовать широкий спектр сменных рабочих органов. Кроме этого, телескопическое рабочее оборудование позволяет объединять рабочие операции с одновременным изменением линейных размеров оборудования, что приводит к уменьшению времени цикла, а также выполнять работы, которые требуют поступательного движения, например, рассредоточенные работы по зачистке и планированию поверхностей земляных сооружений в дорожном строительстве. **Цель статьи.** Сформировать систему показателей оценки эффективности, эксплуатационных свойств и способ определения эксплуатационной производительности для одноковшовых экскаваторов, оснащенных телескопическим рабочим оборудованием. **Вывод.** Экскаватор, оснащенный телескопическим рабочим оборудованием, является лучшим выбором для применения на специальных работах, таких, как чистовую оформления откосов, очистка, обслуживание, а также удаление растительности из берегов и дна рек и каналов, экскавация широких и глубоких котлованов. Применение телескопического рабочего оборудования позволяет увеличить объем разрабатываемого с одной стоянки почвы. Оценка эффективности по предложенной системе показателей показала, что лучшее решение по условиям рационализации и оптимизации находится в пределах применения телескопического рабочего оборудования. Кроме этого применение телескопических механизмов для

телескопирования стрелы позволяет повысить производительность по сравнению с традиционным рабочим оборудованием на 28% ... 40%.

Ключевые слова: одноковшовый экскаватор, телескопическое рабочее оборудование, оценка эффективности телескопического рабочего оборудования

EVALUATION OF EFFECTIVENESS EXCAVATOR FITTED WITH TELESCOPIC WORKING EQUIPMENT

KHMARA L.A.¹ *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

DAKHNO O.O.^{2*} *postgraduate.*

¹ 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 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

^{2*} 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. A promising area of earth-moving equipment is a telescopic working equipment of excavator, which can increase the digging depth and dump height, increase the amount of soil developed on one lot and the radius of the equipment, to quickly change a wide range of geometrical parameters of working equipment, and use a wide range of interchangeable working bodies. In addition, the telescopic working equipment allows workers to combine operations with the simultaneous change in the linear dimensions of the equipment, which leads to a reduction in the cycle time, and perform the work required by the translational movement, for example, the dispersed work for cleaning and planning surfaces earthworks in road construction. **The purpose of the article.** Develop a system of indicators of evaluation efficiency, of operational properties and a method for determining the operational productivity for single-bucket excavators equipped with the telescopic working equipment. **Conclusion.** The excavator equipped with a telescopic working equipment, is the best choice for use on special works, such as finishing processing of slopes, cleaning, maintenance, and removal of plants from the banks and bottom of rivers and canals, excavation broad and deep pits. The use of telescopic working equipment allows you to increase the volume of soil developed on one lot. Evaluation of the effectiveness of the proposed system of indicators showed that the best solution under the terms of the rationalization and optimization of application is within the telescopic working equipment. Besides the use of mechanisms for telescoping the telescopic boom allows to increase productivity compared to traditional operational equipment by 28% ... 40%.

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

Постановка проблеми. Одним із головних напрямів удосконалення одноківшових гідравлічних екскаваторів (ОГЕ) є збільшення продуктивності, зниження енерговитрат на розробку ґрунту, підвищення надійності та довговічності, розширення технологічних можливостей за рахунок можливості геометричні параметри робочого обладнання (РО), тощо [1, 2, 3, 11, 12, 13, 14].

В традиційних конструкціях РО зміна геометричних параметрів ОГЕ досягається за рахунок застосування змінного 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].

Перспективним напрямком розвитку землерийної техніки є телескопічне робоче обладнання (ТРО) ОГЕ, яке дозволяє збільшити глибину копання та висоту

розвантаження, збільшити 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. Сформувані систему показників оцінки ефективності, експлуатаційних властивостей та спосіб визначення експлуатаційної продуктивності для ОГЕ, оснащених ТРО.

Основний матеріал. Створення ТРО ОГЕ пов'язане з вибором оптимального технічного рішення зі сформованих структур обладнання цього типу.

Для оцінки ефективності та експлуатаційних властивостей ОГЕ, обладнаних ТРО та комплексів запропоновано ряд показників різноманітного призначення, які формалізують особливості прийняття технічного рішення в різних проектних ситуаціях.

Продуктивність – один з головних критеріїв ефективності одноківшевих екскаваторів та одна з головних початкових величин загального розрахунку цих машин [4, 5, 6, 7].

Розрахунки продуктивності та встановлення робочих розмірів екскаваторів при їх проектуванні безпосередньо пов'язані з об'ємом ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки. Застосування ТРО ОГЕ дає змогу збільшити робочу зону 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) 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 Δl_i – відстань одного переміщення ОГЕ.

Відстань переміщення екскаватора та радіуси роботи ТРО та у площині стоянки ОГЕ та на дні забою (рис. 1) дорівнюють:

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

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

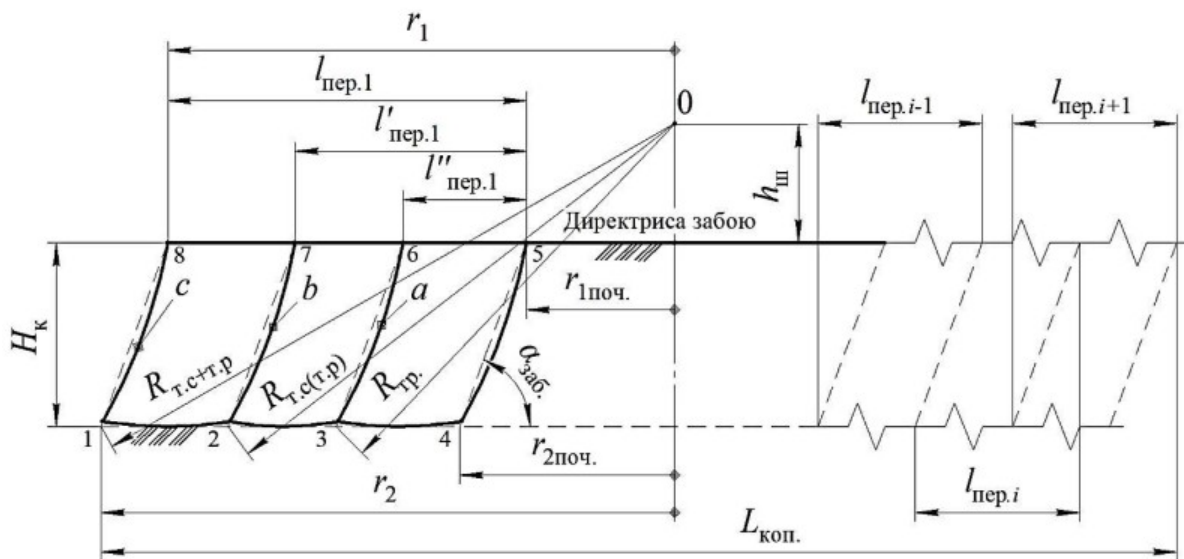


Рис. 1. Параметрична схема для визначення об'єму копання ґрунту ТРО та традиційним РО при заданій глибині копання H_K : a, b, c – траєкторії копання традиційним РО та з телескопічними стрілою (рукояттю), стрілою та рукояттю, відповідно; $R_{\text{ТР}}$, $R_{\text{Т.С(Т.Р)}}$, $R_{\text{Т.С+Т.Р}}$ – радіуси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

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

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

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

де R_K – радіус копання; $h_{ш}$ – 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 $\alpha_{заб} = 38^\circ \dots 90^\circ$, в залежності від типу ґрунту, та дорівнює $z=0.3 \dots 1$ м [9].

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

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

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 дорівнюватиме:

$$V_{заб.} = V_{тех.1} + V_{тех.2} + V_{тех.3} + \dots + V_{тех.i-1} + V_{тех.i} + V_{тех.i+1}, \quad (8)$$

$$V_{заб.} = \sum_{i=1}^n V_{тех.i}. \quad (9)$$

Щоб розробити ОґЕ 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.

Зазвичай в розрахунках продуктивності однокішневих екскаваторів час робочого циклу визначається чотирма інтервалами [10]:

- підймання ковша з поворотом рукояті для відділення від масиву та захват ґрунту (копання) – $t_{коп}$;

- поворот платформи при вантаженому ковші та установка її в напрямі розвантаження ковша – $t_{п.в.}$;

- утримання ковша над місцем розвантаження – $t_{роз.}$;

- зворотний поворот та встановлення платформи в напрямі наступного копання з одночасним опусканням ковша – $t_{п.п.}$.

Тоді час робочого циклу визначається за формулою:

$$t_{ц} = t_{коп} + t_{п.в.} + t_{роз.} + t_{п.п.}$$

В реальних умовах виробництва земляних робіт, окрім названих технологічних операцій необхідно виконувати додаткові операції, наприклад, власні переміщення екскаватора на нову стоянку після розробки забою в межах дії ковша.

Експлуатаційна продуктивність екскаватора для розробки ґрунту в періоді часу i -го переміщення ОґЕ на нове місце стоянки визначається за формулою:

$$P_{ei} = \frac{3600 \cdot V_{тех.i}}{T_i}; \quad (10)$$

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

$$T_i = t_{пер} + \sum_{j=1}^{m_j} t_{ц}; \quad (11)$$

$$T' = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (12)$$

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

$$m_j = \frac{V_{тех.i}}{q_{г}}; \quad (13)$$

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

Таким чином, експлуатаційна продуктивність ОґЕ в періоді n переміщень, дорівнюватиме:

$$P_e = \frac{3600 \cdot \sum_{i=1}^n V_{тех.i}}{\sum_{i=1}^n t_{пер.} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_j} t_{ц}}, \quad (14)$$

Застосування РО ОґЕ зі змінними геометричними характеристиками, таким як

ТРО, дозволяє отримати низку змінних геометричних параметрів, а саме, $H_K = [H_{K.min}^T, H_{K.max}^T]$ – глибини копання та $R = [R_{min}^T, R_{max}^T]$ – радіусів копання.

$$\mathbb{R}: H_{K.min}^T \leq H_K \leq H_{K.max}^T, H_K \rightarrow \max; \quad (15)$$

$$[R_{min}^T, R_{max}^T] \stackrel{\text{def}}{=} \{R \in \mathbb{R}: R_{min}^T \leq R \leq R_{max}^T\}, R \rightarrow \max. \quad (16)$$

Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОГЕ, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОГЕ $V_{\text{тех.}i} \rightarrow \max$ 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 $t_{\text{ц}} \rightarrow \min$, $t_{\text{орк}} \rightarrow \min$.

Аналіз питомих показників енергоємності $N_{\text{ПТ}} = N/P_{e_i}$ та матеріалоємності $G_{\text{ПТ}} = G/P_{e_i}$ (P_{e_i} – продуктивність) показує, що кращому об'єкту відповідає менша кожної з двох величин [45, 53, 54, 55, 56, 62]. Об'єктами для порівняння ОГЕ з ТРО, доцільно приймати комплекс ОГЕ з фіксованими геометричними параметрами РО або ОГЕ з комплексом змінного РО, кожен з яких призначений для виконання усього комплексу робіт, еквівалентного умовам роботи Q , які виконуються ОГЕ з ТРО. Таким чином, питома енергоємність та матеріалоємність для ОГЕ з ТРО $N_{\text{ПТ}}^T, G_{\text{ПТ}}^T$, зі змінними РО $N_{\text{ПТ}}^M, G_{\text{ПТ}}^M$ та комплексу ОГЕ $N_{\text{ПТ}}^{KM}, G_{\text{ПТ}}^{KM}$, відповідно дорівнює:

$$N_{\text{ПТ}}^T = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} p_i}; \quad (17)$$

$$N_{\text{ПТ}}^M = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} k_{\Gamma} p_i}; \quad (18)$$

$$N_{\text{ПТ}}^{KM} = \frac{\sum_1^m N_i}{\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} p_i}; \quad (19)$$

$$G_{\text{ПТ}}^T = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} p_i}; \quad (20)$$

$$G_{\text{ПТ}}^M = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} k_{\Gamma} p_i}; \quad (21)$$

$$G_{\text{ПТ}}^{KM} = \frac{\sum_1^m G_i}{\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} p_i}; \quad (22)$$

де P_{e_i} – експлуатаційна продуктивність на i -й операції; p_i – вірогідність виконання i -ї операції [8]; k_{Γ} – коефіцієнт готовності виконання i -ї операції [9].

Для оцінки ефективності по ступеню економії матеріальних та енергетичних затрат використовуємо показник:

$$\Pi_{NG} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} P_{e_i} p_i\right)^2}, \Pi_{NG} \rightarrow \min \quad (23)$$

Слід зазначити, що наведена вище система показників не дозволяє оцінити застосування ТРО при копанні на максимальних глибинах H_K , радіусах копання R та їх змінних значеннях. Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОГЕ, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення та забезпечити максимальну продуктивність при роботі на майданчиках з обмеженими під'їздами та вузьких місцях. Впровадження ТРО призводить до розширення технологічних умов виконання робіт, таким чином, ОГЕ однієї розмірної категорії може виконувати роботи на глибинах ОГЕ декількох розмірних груп, в тому числі наступної розмірної категорії, тим самим РО. Для визначення ефективності використання ОГЕ з ТРО по глибині та радіусу копання розроблено ряд показників:

- показник оцінки енергоємності по глибині копання:

$$H_N = \frac{N}{H_K} = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_{K}^T p_i}, H_N \rightarrow \min; \quad (24)$$

- показник оцінки матеріалоємності по глибині копання:

$$H_G = \frac{G}{H_K} = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_{Kp_i}^T}, H_G \rightarrow \min; \quad (25)$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання:

$$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_{Kp_i}^T\right)^2}, \quad (26)$$

$$H_{NG} \rightarrow \min;$$

- показник оцінки енергоємності по радіусу копання:

$$R_N = \frac{N}{R} = \left[\min\left(\frac{N}{R^T}\right), \max\left(\frac{N}{R^T}\right) \right], \quad (27)$$

$$R_N \rightarrow \min;$$

- показник оцінки матеріалоємності по радіусу копання:

$$R_G = \frac{G}{R} = \left[\min\left(\frac{G}{R^T}\right), \max\left(\frac{G}{R^T}\right) \right], \quad (28)$$

$$R_G \rightarrow \min;$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання:

$$R_{NG} = \frac{NG}{R^2} = \left[\min\left(\frac{NG}{(R^T)^2}\right), \max\left(\frac{NG}{(R^T)^2}\right) \right], \quad (29)$$

$$R_{NG} \rightarrow \min;$$

Виконання спеціальних робіт (наприклад, копання глибоких траншей) не завжди потребує використання ковшів великої місткості для цих робіт. Таким чином, при створенні ТРО треба враховувати технологічні умови використання робочих органів. Тому систему показників оцінки ефективності ТРО ОГЕ доповнено визначенням значень додаткових показників, в основі яких лежить врахування типорозміру ковша по його місткості $q, \text{м}^3$ [11]:

- показник оцінки енергоємності по місткості ковша q_N :

$$q_N = \frac{N}{q}, q_N \rightarrow \min; \quad (30)$$

- показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша q_G :

$$q_G = \frac{G}{q}, q_G \rightarrow \min; \quad (31)$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша, q_{NG} :

$$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}, q_{NG} \rightarrow \min; \quad (32)$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша, H_{NGq} :

$$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2} = \frac{N^2 G^2}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_{Kp_i}^T\right)^2 q^2}, \quad (33)$$

$$H_{NGq} \rightarrow \min;$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша, R_{NGq} :

$$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2} = \left[\min\left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2}\right), \max\left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2}\right) \right], \quad (34)$$

$$R_{NGq} \rightarrow \min.$$

Забезпечення різноманіття геометричних параметрів РО ОГЕ в традиційних структурах РО вимагає використання змінних чи додаткових елементів РО, що, в свою чергу, призводить до залучення додаткового персоналу для виконання цих робіт. Застосування ТРО дозволяє мінімізувати час простою, та виключити залучення додаткового персоналу:

- виробіток на одного працівника, де w – кількість робітників, залучених для виконання i -ї операції:

$$w_{\text{ПТ}} = \frac{1}{w} \cdot \sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i}, w_{\text{ПТ}} \rightarrow \max \quad (35)$$

Орієнтовна попередня оцінка ефективності конструкційних рішень машини з ТРО може бути виконана на основі аналізу узагальненого показника енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного робітника Π_{NGw} . Ефективність визначають порівнянням показників Π_{NGw_T} та $\Pi_{NGw_{KM}}$ – ОГЕ з ТРО та комплекту ОГЕ з РО одно цільового призначення, виконуючих ті самі види робіт, відповідно, [45, 68, 69, 70, 71, 72, 73]:

$$\Pi_{NGw_T} = \frac{N_{\text{ПТ}}(G + \sum_1^k G_j) w_p p_w p_q}{\sum_{1,1}^{k,Q} (\Pi_{jq} p_j p_q)^3}, \quad (36)$$

$$P_{NGWT} \rightarrow \min,$$

де k – кількість робочих органів, які забезпечують виконання відповідних видів робіт; P_{jq} – продуктивність на кожному виді робіт та умов експлуатації; p_j – вірогідність появи відповідних видів робіт; p_q – вірогідність появи відповідних умов експлуатації; G_j – маса (сила тяжіння) робочих органів, які забезпечують переобладнання ТРО для виконання відповідних видів робіт; w_p – кількість робітників, які обслуговують машину; p_{wp} – вірогідність одночасної появи робітників, які обслуговують машину.

Комплект ОГЕ, які виконують ті ж самі види робіт, що й ОГЕ з ТРО, оцінюється за показником P_{NGW_K} , який записується в наступному вигляді:

$$P_{NGW_{KM}} = \sum_{1,1}^{k,Q} P_{NGW_{jq}}, \quad (37)$$

де $P_{NGW_{jq}}$ – узагальнений показник ефективності ОГЕ комплекту на k -му виді робіт та Q умові експлуатації.

Систему показників представлено в таблиці 1.

Збільшення глибини копання H_K можна досягти збільшенням куту повороту $\alpha \rightarrow \max$ стріли, але оскільки останній обмежений конструктивними параметрами гідромеханізму обертання, то збільшити його можна застосуванням шарнірно-зчленованої стріли (рис. 2). Таким чином, при телескопуванні стріли використання моноблочної конструкції стріли є менш доцільним, тому слід віддавати перевагу конструкції стріли шарнірно-зчленованої конструкції.

$$H_K = R_{P+K} + R_C \cdot \sin \alpha - h_{Ш}, \quad (38)$$

$\alpha \rightarrow \max$

Окрім цього, збільшення розмірів верхньої частини стріли не призводить до зміни важелів прикладання сили при копанні поворотом рукояті, що дозволяє розроблювати міцні ґрунти так само як і РО традиційних конструкцій, тоді обмеження застосування ТРО будуть стосуватись лише забезпечення стійкості ОГЕ.

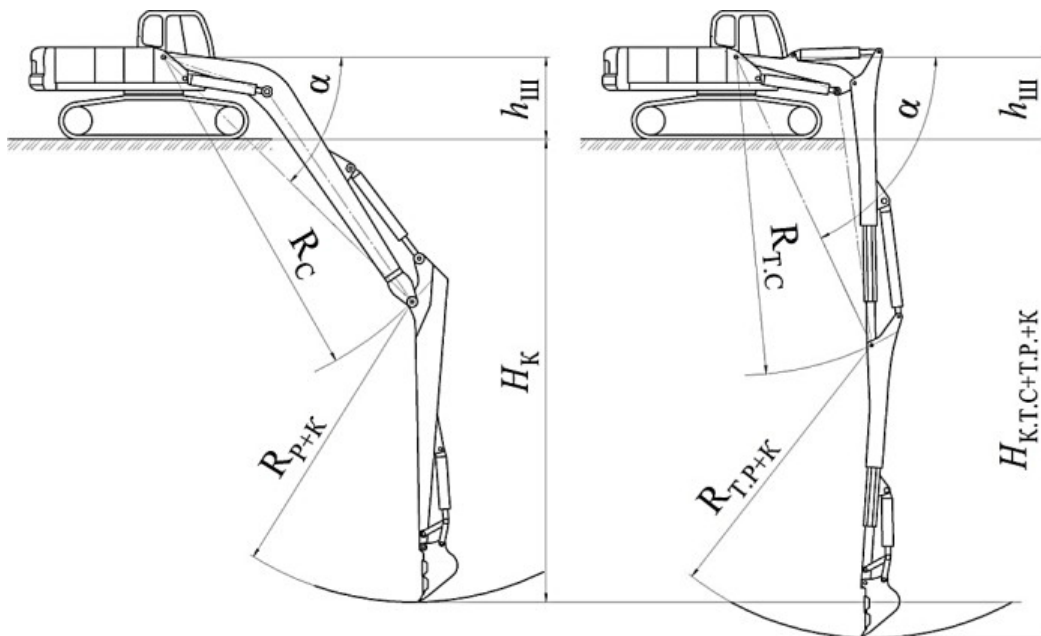


Рис. 2. Порівняльна схема глибини копання при використанні моноблочної стріли та шарнірно-зчленованої.

Таблиця 1.

Система показників для оцінки ефективності телескопічного робочого обладнання

№ п/п	Показники	Розмір-ність	Загальна форма запису показників	Умови раціоналізації та оптимізації
1	2	3	4	5
1	Експлуатаційна продуктивність на <i>i</i> -му виді робіт	$\frac{м^3}{год.}$	Π_{ei}	$\Pi_{ei} \rightarrow max$
2	Об'єм ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОґЕ	$м^3$	$V_{тех.i}$	$V_{тех.i} \rightarrow max$
3	Глибина копання	$м$	H_K	$H_K \rightarrow max$
4	Радіус копання	$м$	R	$R \rightarrow max$
5	Місткість ковша	$м^3$	q	$q \rightarrow max$
6	Маса (сила тяжіння) ОґЕ	$кг (кН)$	G	$G \rightarrow min$
7	Потужність ОґЕ	$кВт$	N	$N \rightarrow min$
8	Час циклу, та переміщення	$с$	$t_{ц}, t_{пер.}$	$t_{ц} \rightarrow min$ $t_{пер.} \rightarrow min$
9	Питома енергоємність	$\frac{кВт}{м^3/ГОД}$	$N_{ПТ} = \frac{N}{\Pi_{ei}}$	$N_{ПТ} \rightarrow min$
10	Питома матеріалоємність	$\frac{кН}{м^3/ГОД}$	$G_{ПТ} = \frac{G}{\Pi_{ei}}$	$G_{ПТ} \rightarrow min$
11	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності	$\frac{кВт \cdot кН}{(м^3/ГОД.)^2}$	$\Pi_{NG} = \frac{NG}{\Pi_{ei}^2}$	$\Pi_{NG} \rightarrow min$
12	Показник оцінки енергоємності по глибині копання	$\frac{кВт}{м}$	$H_N = \frac{N}{H_K}$	$H_N \rightarrow min$
13	Показник оцінки матеріалоємності по глибині копання	$\frac{кН}{м}$	$H_G = \frac{G}{H_K}$	$H_G \rightarrow min$
14	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання	$\frac{кВт \cdot кН}{м^2}$	$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2}$	$H_{NG} \rightarrow min$
15	Показник оцінки енергоємності по радіусу копання	$\frac{кВт}{м}$	$R_N = \frac{N}{R}$	$R_N \rightarrow min$
16	Показник оцінки матеріалоємності по радіусу копання	$\frac{кН}{м}$	$R_G = \frac{G}{R}$	$R_G \rightarrow min$
17	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання	$\frac{кВт \cdot кН}{м^2}$	$R_{NG} = \frac{NG}{R^2}$	$R_{NG} \rightarrow min$
18	Питома продуктивність по потужності ОґЕ	$\frac{(м^3/ГОД.)}{кВт}$	$\Pi_{ПТ_N} = \frac{\Pi_{ei}}{N}$	$\Pi_{ПТ_N} \rightarrow max$
19	Питома продуктивність по масі ОґЕ	$\frac{(м^3/ГОД.)}{кН}$	$\Pi_{ПТ_G} = \frac{\Pi_{ei}}{G}$	$\Pi_{ПТ_G} \rightarrow max$
20	Показник оцінки енергоємності по місткості ковша	$\frac{кВт}{м^3}$	$q_N = \frac{N}{q}$	$q_N \rightarrow min$
21	Показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша	$\frac{кН}{м^3}$	$q_G = \frac{G}{q}$	$q_G \rightarrow min$
22	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша	$\frac{кВт \cdot кН}{м^6}$	$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}$	$q_{NG} \rightarrow min$
23	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша	$\frac{кВт^2 \cdot кН^2}{м^8}$	$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2}$	$H_{NGq} \rightarrow min$
24	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша	$\frac{кВт^2 \cdot кН^2}{м^8}$	$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2}$	$R_{NGq} \rightarrow min$

продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
25	Виробіток на одного робітника	$\frac{(м^3/год.)}{w}$	$w_{ПТ} = \frac{\Pi_{ei}}{w}$	$w_{ПТ} \rightarrow max$
26	Узагальнений показник енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного робітника	$\frac{кВт \cdot кН \cdot w}{(м^3/год.)^3}$	$\Pi_{NGW} = \frac{NGW}{\Pi_{ei}^3}$	$\Pi_{NGW} \rightarrow min$

Перевірочні розрахунки по наведеній системі показників, проводились для універсального ОГЕ, IV розмірної групи, оснащеного трисекційними телескопічними механізмами стріли і рукояті. В якості машини-прототипу було взято ОГЕ фірми Hitachi – ZX 290LC, при цьому ТРО поєднує в собі параметри ОГЕ оснащеного як традиційним РО, так і РО зі збільшеними геометричними параметрами, технічні характеристики наведені в таблиці 2. При проведенні розрахунків розглядались технологічні схеми ТРО при різних варіаціях вштовхування-втягування

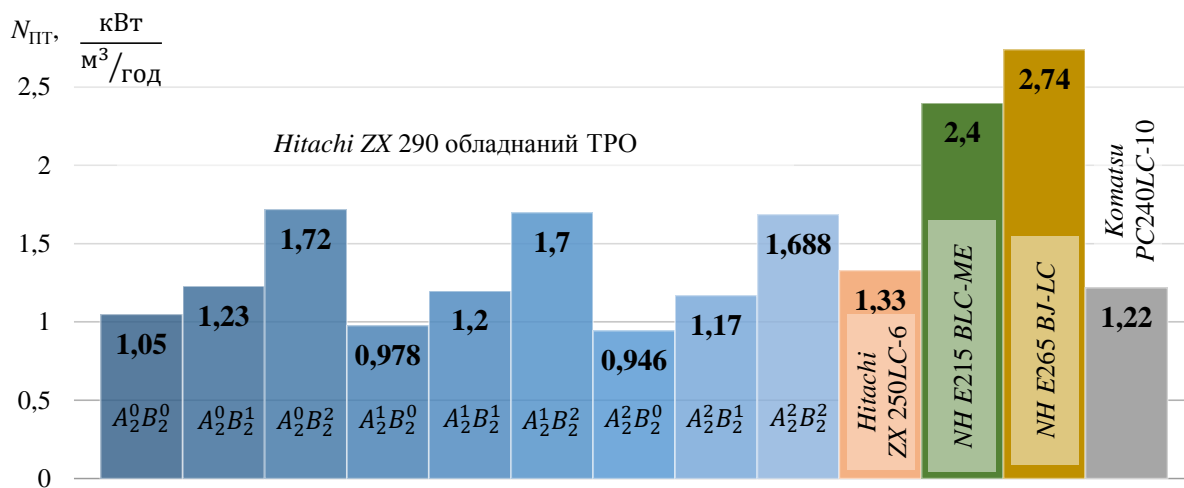
телескопічних секцій стріли та рукояті, загалом дев'ять варіантів, які охоплюють усі можливі глибини та радіуси копання для ОГЕ III та IV розмірних категорій.

Результати перевірочних розрахунків приведені у вигляді гістограм по основним показникам з порівнянням відомих моделей ОГЕ таких фірм як Hitachi ZX250LC-6 з традиційним РО, New Holland E215DLC-ME з трьома рукоятями, E265BJ-LC з РО збільшеної довжини, Komatsu PC240LC-10 з традиційним РО та показані на рисунках 3, 4 5.

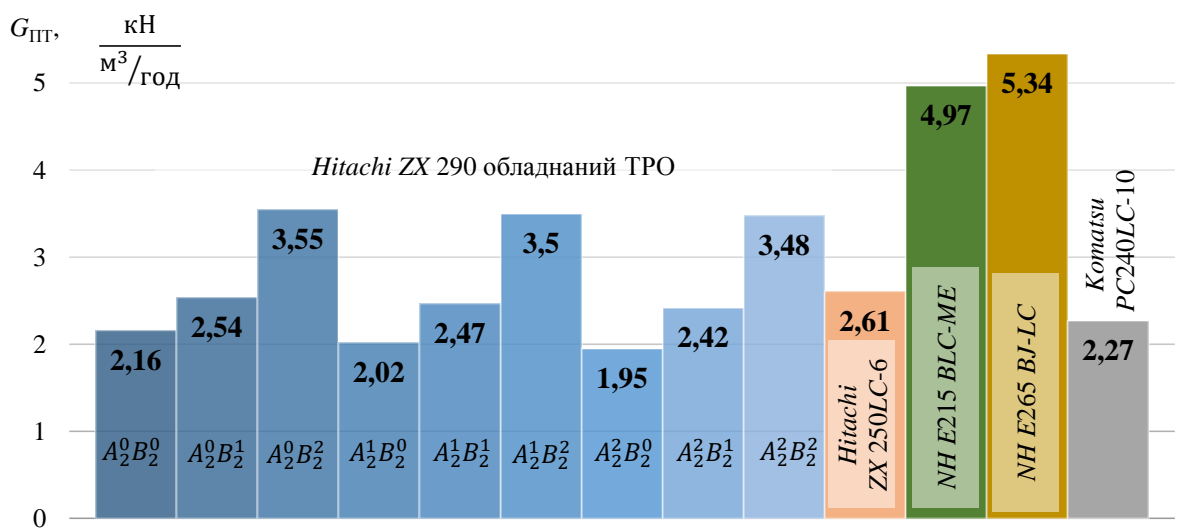
Таблиця 2.

Технічні характеристики ОГЕ з ТРО

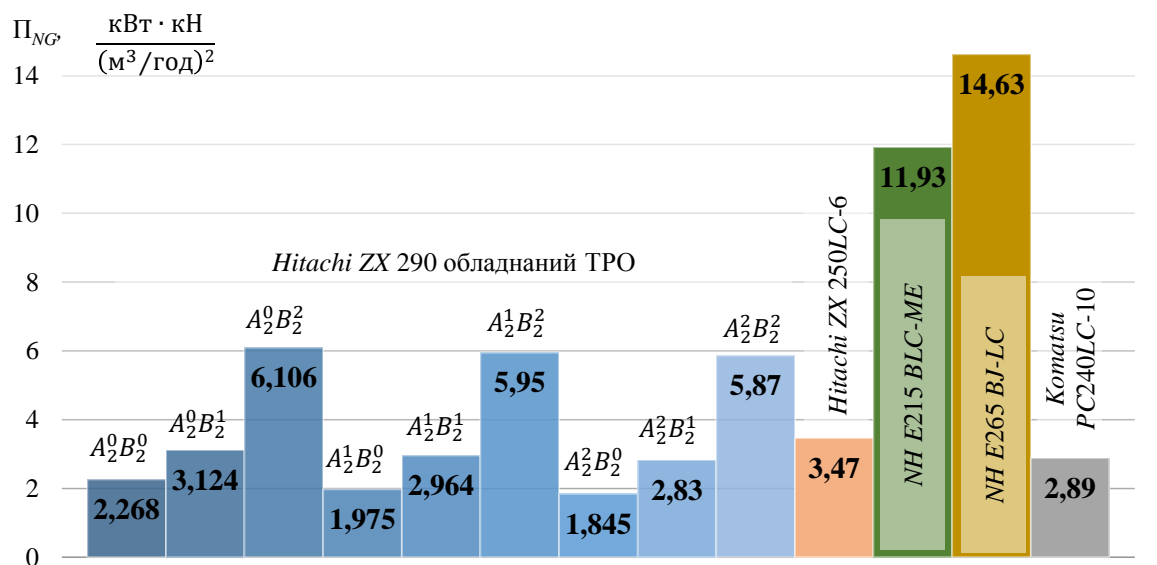
Параметр	Роз-мірн.	Умов. познач.	Значення	Примітки
Модель	-	-	Hitachi ZX 290LC	
Маса	т	G	29.4	
Двигун: модель; потужність	- кВт	- N	Isuzu AL-4HK1X 140	
Тиск у гідравлічній системі: нормальний; максимальний	МПа МПа	P_H P_{max}	34.3 38.0	
Діаметр штока гідроциліндів: телескопічної стріли; телескопічної рукояті; ковша	мм мм мм	$D_{ГЦ.Т.С}$ $D_{ГЦ.Т.Р}$ $D_{ГЦ.К}$	100 110 65	2 шт.
Швидкість пересування	м/с	v	1.444	
Радіус повороту телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ковшем	м м	$R_{Т.С+Т.Р+Кmin}$ $R_{Т.С+Т.Р+Кmax}$	9.69 18.2	
Глибини копання: - при втягнутих ТС стріли та рукояті; - при втягнутому ТС стріли та виштовхнутому ТС рукояті; - при виштовхнутому ТС стріли та втягнутому ТС рукояті; - при виштовхнутих ТС стріли та рукояті	м м м м	$H_{К.Т.Р.С+Т.Р}$ $H_{К.Т.Р.С+Т.Р}$ $H_{К.Т.С+Т.Р}$ $H_{К.Т.С+Т.Р}$	5.94 7.18 7.44 13.2	
Місткість ковшів	м ³ м ³	q_1-q_8 q_9-q_{15}	0.4-0.75 0.8-1.4	при $0 < H_K < 6м$; крок 0,05 м ³ при $6м < H_K < 13.2м$ крок 0,1 м ³



a

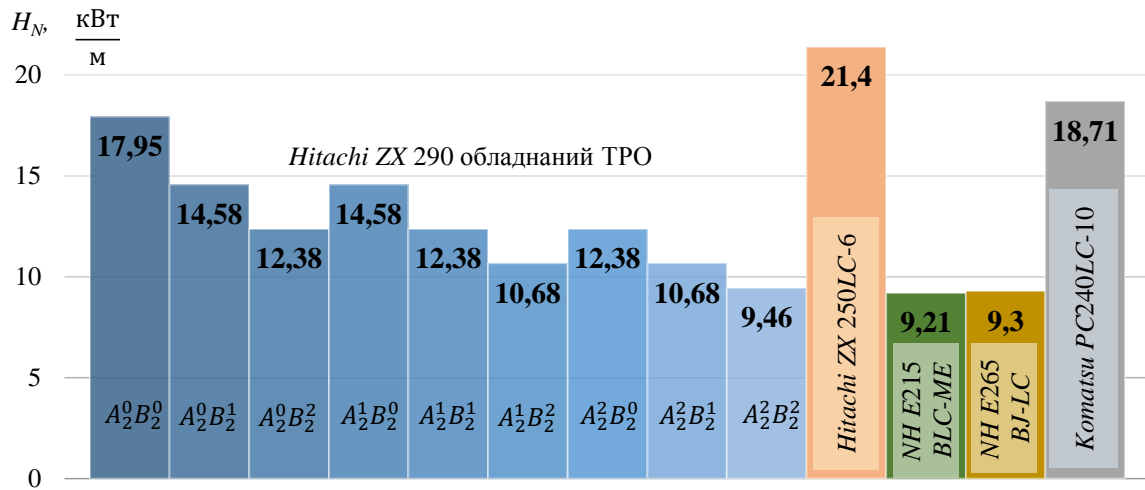


б

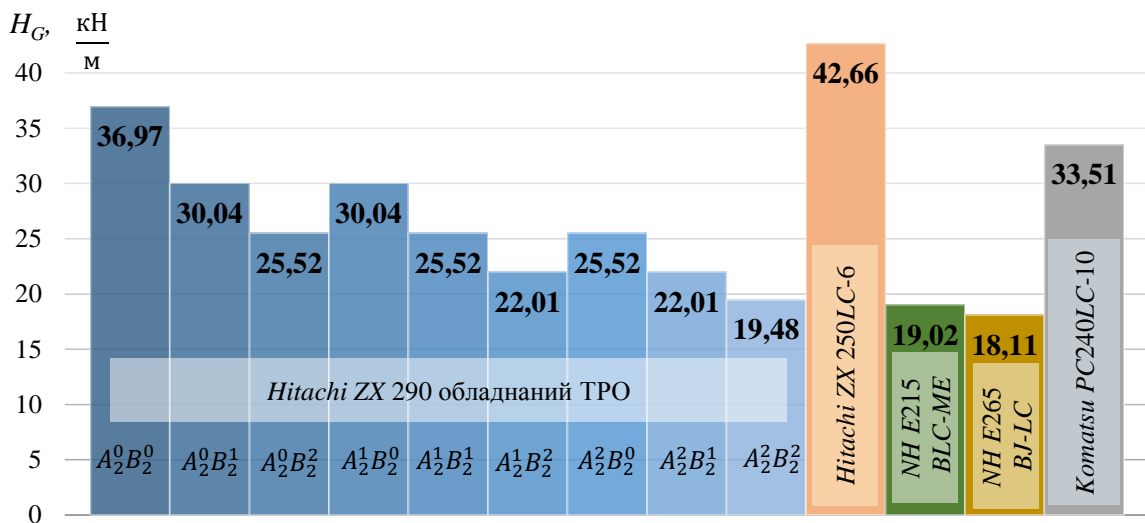


в

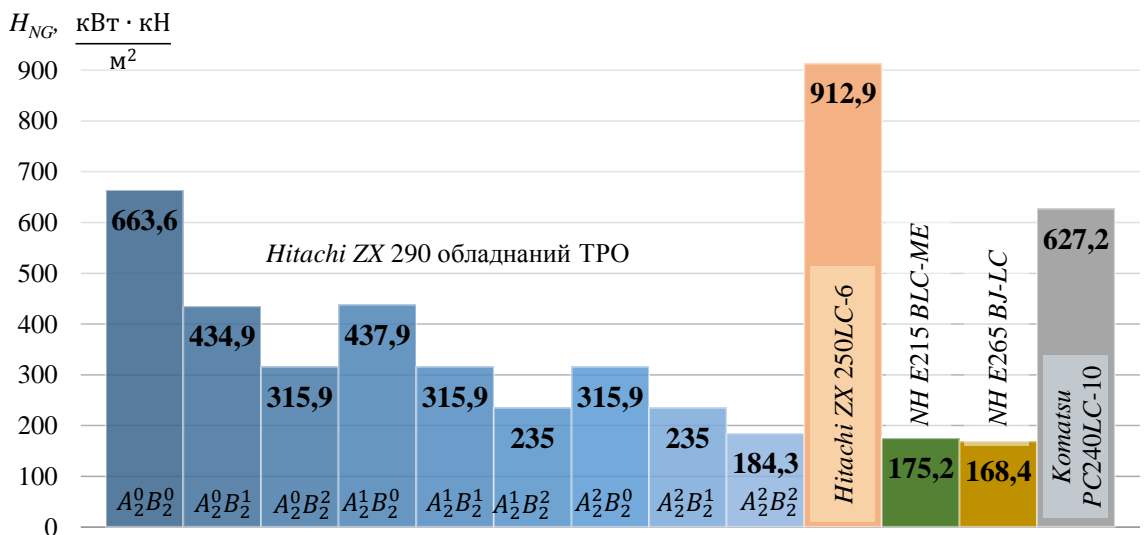
Рис. 3. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – по питомій енергосмітності; б – по питомій матеріалосмітності; в – по узагальненому показнику енергосмітності та матеріалосмітності.



а



б



в

Рис. 4. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – показника енергоємності по глибині копання; б – показника матеріалоємності по глибині копання; в – узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по глибині копання.

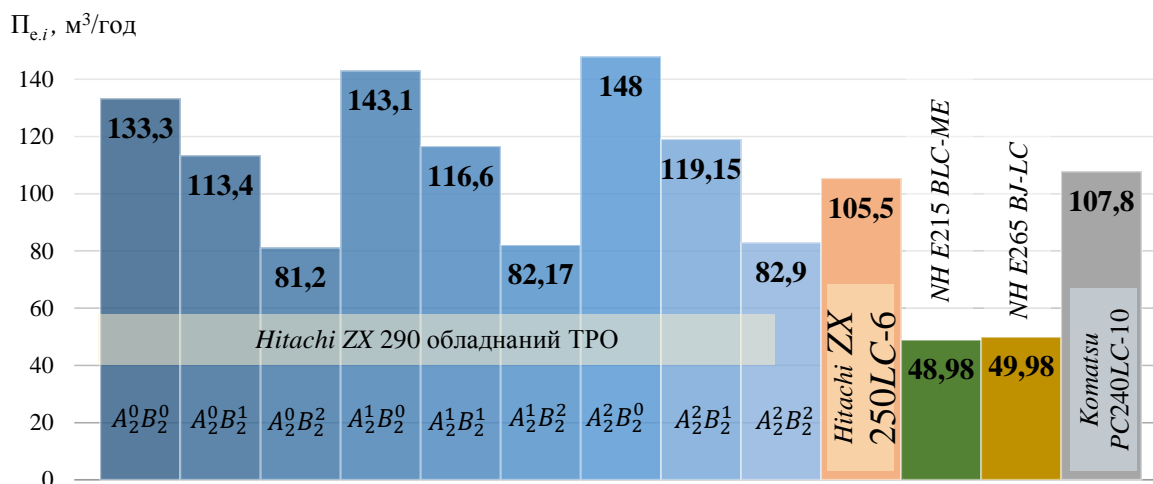


Рис. 5. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ по продуктивності.

Висновок. Екскаватор, оснащений ТРО є найкращим вибором для застосування на спеціальних роботах, таких, як чистове оформлення відкосів, очистка, обслуговування, а також видалення рослинності з берегів та дна річок та каналів, екскавация широких та глибоких котлованів.

Застосування ТРО дозволяє збільшити об'єм розроблюваного з однієї стоянки ґрунту. 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%.

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

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт. 1993. – 383с.
2. Беляков Ю.И., Левинзон А.Л., Галимуллин В.А. Земляные работы, 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Стройиздат, 1990, 281с.
3. Ветров Ю.А. Машины для земляных работ / Ветров Ю.А. // – 2-е изд., дораб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 275с.
4. Гаркави Н.Г. Машины для земляных работ / Гаркави Н.Г. // – М.: Высш. шк. 1982. – 335с.
5. Патент на корисну модель №70683 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання гідравлічного екскаватора / Хмара Л.А., Дахно О.О., Бутенко О.А. // Заяв. 14.11.2011; опубл. 25.06.2012. Бюл. №12
6. Патент на корисну модель №70686 Україна, МПК E02F 3/28. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора / Хмара Л.А., Дахно О.О., Бутенко О.А. // Заяв. 14.11.2011; опубл. 25.06.2012. Бюл. №12
7. Патент на корисну модель №75318 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання одноковшового екскаватора / Хмара Л.А., Дахно О.О. // Заяв. 25.05.2012; опубл. 26.11.2012. Бюл. №22
8. Тимошенко В.К., Хмара Л.А., Деревянчук М.И., Кулик И.А. Методические указания к вып. курсового проекта «Одноковшовые гидравлические экскаваторы» к дисциплине «Машины для земляных работ» для студентов механических специальностей. – Д.: ДИСИ, 1989. – 64с.
9. Хмара Л.А. Оценка эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение,

машиностроение. – Д.: ПГАСиА, 2002. – №15. – С. 143-150.

10. Хмара Л.А., Дахно О.О. Визначення теоретичного об'єму копання ґрунту одноківшевим екскаватором з телескопічним робочим обладнанням. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение– Д.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 38-49.

11. Хмара Л.А., Дахно О.О. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 29-37.

12. Хмара Л.А., Дахно О.О. Формування та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 142-154.

13. Хмара Л.А., Колісник М.П., Станевський В.П. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин. – К.: Будівельник, 1992. – 152с.

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. Belyakov Y.I., Levinsohn A.L., Galimullin V.A. *Zemlyaniye raboty, 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe* [Earthworks, 2nd edition, revised and enlarged]. – М.: Stroyizdat, 1990, 281p.

3. Vetrov Y. A. *Mashiny dlya zemlyanyih rabot* [Machines for earthworks]. / Vetrov Y. A. // – 2nd ed., Revised. and enlarged. – К.: Higher School. Head Publishing House, 1981. – 275p.

4. Garkavi N. G. *Mashiny dlya zemlyanyih rabot* [Machines for earthworks]. / Garkavi N. G. // - М.: Higher School. 1982. – 335p.

5. The patent for utility model №70683 Ukraine, IPC E02F 3/28. Working equipment of hydraulic excavator / Khmara L.A, Dakhno O.O., Butenko O.A // Claimed. 14.11.2011; publ. 25.06.2012. Bull. №12

6. The patent for utility model №70686 Ukraine, IPC E02F 3/28. Telescopic working equipment of hydraulic excavator / Khmara L.A, Dakhno O.O., Butenko O.A // Claimed. 14.11.2011; publ. 25.06.2012. Bull. №12

7. The patent for utility model №75318 Ukraine, IPC E02F 3/28. The working equipment of excavator / Khmara L.A, Dakhno O.O // Claimed. 25.05.2012; publ. 26.11.2012. Bull. №22

8. Tymoshenko V.K., Khmara L.A., Derevyanchuk M.I., Kulik I.A. *Metodicheskie ukazaniya k vyipolneniyu kursovogo proekta «Odnokovshovyye gidravlicheskie ekskavatoryi» k distsipline «Mashiny dlya zemlyanyih rabot» dlya studentov mehanicheskikh spetsialnostey* [Methodical instructions for implement the course of the project "Hydraulic excavators" for discipline " Machinery for earth works " for students of mechanical specialties]. – Д.: DISI, 1989. – 64p.

9. Khmara L.A. *Otsenka effektivnosti teleskopicheskogo rabochego oborudovaniya odnokovshovogo gidravlicheskogo ekskavatora* [Evaluating the effectiveness of telescopic the working equipment of hydraulic excavator]. Coll. scientific works: Construction, materials science, mechanical engineering. – Д.: PSACEA, 2002. - №15. - P. 143-150.

10. Khmara L.A., Dakhno O.O. *Vyznachennya teoretychnoho ob'yemu kopannya ґрунту odnokivshovym ekskavatorom z teleskopichnym robochym obladdnannnyam* [Determination of theoretical volume of soil digging of excavator with the telescopic working equipment]. Coll. scientific works: Construction, materials science, mechanical engineering. – Д.: PSACEA, 2012. №.66.4.2. – P. 38-49.

11. Khmara L.A., Dakhno O.O. *Teleskopichne roboche obladdnannya hidravlichnoho ekskavatora, otsinka yoho efektyvnosti ta vyznachennya ob'yemu kopannya ґрунту* [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. – Д.: PSACEA, 2012. №.66.4.2. – P. 29-37

12. Khmara L.A., Dakhno O.O. *Formuvannya ta otsinka efektyvnosti teleskopichnoho robochoho obladdnannya odnokivshevoho hidravlichnoho ekskavatora.* [The formation and evaluation of efficiency of telescopic working equipment of hydraulic excavator]. Coll. scientific works: Construction, materials science, mechanical engineering. – Д.: PSACEA, 2012. №.66.4.2. – P.142-154

13. Khmara L.A., Kolisnyk M.P., Stanevskyy V.P. *Modernizatsiya ta pidvyshchennya produktyvnosti budivel'nykh mashyn* [Modernization and increase productivity of construction machinery]. – К.: Будівельник, 1992. – 152p.