

УДК 621.879.33

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ІННОВАЦІЙНИХ ОДНОКІВШЕВИХ ЕКСКАВАТОРІВ З ТЕЛЕСКОПІЧНИМ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ

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

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

Анотація. Постановка проблеми. Будівництво є однією з найбільш дорогих і розповсюджених сфер промисловості. Підвищенням об'ємів земляних робіт, збільшилися і об'єми виробництва машин і різноманітного робочого обладнання (РО) для цих робіт, зокрема одноківшевих екскаваторів. В традиційних конструкціях РО зміна геометричних параметрів ОП досягається за рахунок застосування змінного РО, але це має деякі недоліки: трудомісткість заміни одного робочого органу іншим, ступінчаста зміна геометрії робочої зони при заміні РО. Незважаючи на очевидні переваги телескопічного РО ОП широке застосування такого обладнання стримується відсутністю досліджень і практичних рекомендацій по визначенні раціональних конструктивних параметрів і режимів роботи в процесі експлуатації. **Мета статті** полягає в експериментальній оцінці впливу деяких факторів на режим роботи і геометричні параметри телескопічного РО ОП, яке забезпечує широкий ряд лінійних параметрів РО та оцінці ефективності, експлуатаційних властивостей ОП, оснащених інноваційним ТРО. **Висновок.** ОП, оснащений телескопічним робочим обладнанням є найкращим вибором для застосування на спеціальних роботах, таких, як чистове оформлення відкосів, очистка, обслуговування, а також видалення речовинності 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 запропонованої системи 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, інноваційне телескопічне робоче обладнання, оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

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

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, 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, Днепр, Украина, тел. +38 (066) 044-84-48, e-mail: olegdakhno@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6916-4327

Аннотация. Постановка проблемы. Строительство является одной из самых дорогих и распространенных сфер промышленности. С повышением объемов земляных работ, увеличились и объемы производства машин и разнообразного рабочего оборудования (РО) для этих работ, в частности одноковшовых экскаваторов. В традиционных конструкциях РО изменение геометрических параметров ОП достигается за счет применения переменного РО, но это имеет некоторые недостатки: трудоемкость замены одного рабочего органа другим, ступенчатая изменение геометрии рабочей зоны при замене РО. Несмотря на очевидные преимущества телескопического РО ОП, широкое применение такого оборудования сдерживается отсутствием исследований и практических рекомендаций по определению рациональных конструктивных параметров и режимов работы в процессе эксплуатации. **Цель статьи** заключается в экспериментальной оценке влияния некоторых факторов на режим работы и геометрические параметры телескопического РО одноковшового экскаватора, которое обеспечивает широкий ряд линейных параметров РО и оценке эффективности, эксплуатационных свойств ОП, оснащенных инновационным ТРО. **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, инновационное телескопическое рабочее оборудование, оценка эффективности телескопического рабочего оборудования

EXPERIMENTAL RESEARCHES AND EVALUATION OF INNOVATIVE SINGLE-BUCKET EXCAVATOR WITH A TELESCOPIC WORKING EQUIPMENT

KHMARA L.A. ^{1*} *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

DAKHNO O.O. ^{2*} *Ph. D., assistant*

^{1*} Department of Building and road machines. State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 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., Dnipro 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 innovation 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 innovation 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, innovation telescopic working equipment, evaluation of the effectiveness of the telescopic working equipment

Постановка проблеми. В теперішній час будівництво є однією з найбільш дорогих і розповсюджених сфер промисловості. Практика будівництва показала, що з підвищенням об'ємів земляних робіт, збільшилися і об'єми виробництва машин і різноманітного робочого обладнання (РО) для цих робіт, зокрема одноківшевих екскаваторів [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].

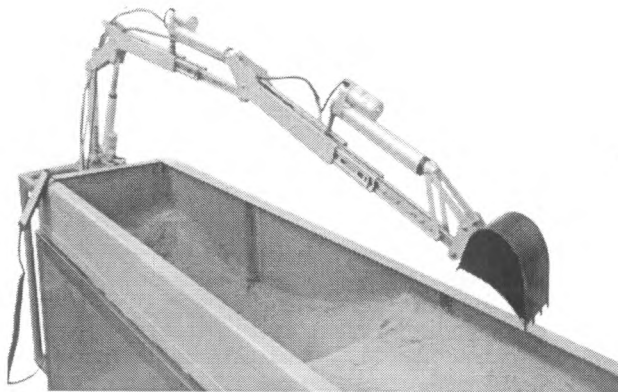
Перспективним напрямком розвитку землерийної техніки є інноваційне телескопічне робоче обладнання (ТРО) ОГЕ, яке дозволяє збільшити

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. Незважаючи на очевидні переваги телескопічного РО одноківшевих екскаваторів, широке застосування такого обладнання стримується відсутністю досліджень і практичних рекомендацій по визначенню раціональних конструктивних параметрів і режимів роботи в процесі експлуатації.

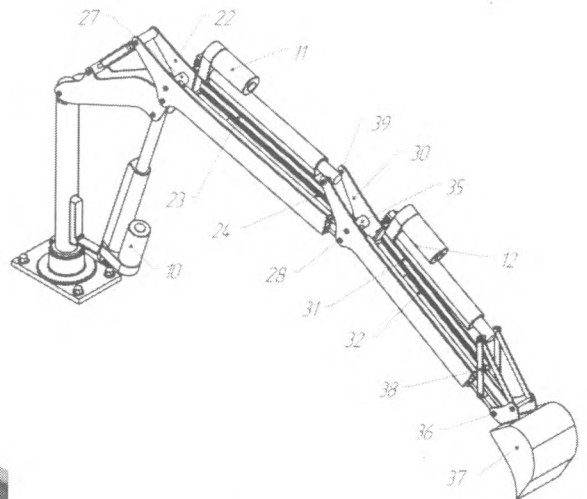
Мета статті полягає в експериментальній оцінці впливу деяких факторів на режим роботи і геометричні параметри телескопічного РО одноківшевого екскаватора, яке забезпечує широкий ряд лінійних параметрів РО та оцінці ефективності, експлуатаційних властивостей ОГЕ, оснащених інноваційним ТРО.

Основний матеріал. Експериментальні дослідження процесу копання ґрунту та дотичної складової опору ґрунту копанню телескопічним РО здійснювались методами фізичного моделювання [12]. Об'єктом дослідження була прийнята фізична

модель телескопічного РО однокішшового екскаватора IV розмірної групи (рис. 1) параметричний ряд моделей ковшів, виконаних масштабі $K_l = 10$.



а



б

Рис. 1. Телескопічне робоче обладнання однокішшового екскаватора: а) фізична модель; б) аксонометрична проекція моделі

Дослідження проводилися на спеціальному стенді для фізичного моделювання робочих процесів землерийних машин (рис. 2), з використанням методики раціонального планування експерименту. В якості ґрунтового середовища було прийнято ґрунт III категорії, котрий моделювався сумішшю річного піску, глини і моторного мастила в наступних пропорціях: 74%, 21%, 5%, відповідно. Наявність в суміші моторного мастила забезпечує можливість замінити розчинену в ній вологу, а майже повна його не випаровуваність підтримує вологість весь час незмінною. А фізико-механічні властивості модельованого ґрунтового середовища досягалися ущільненням за рахунок трамбування.

Для дослідження процесу взаємодії з розроблюваним середовищем телескопічного робочого обладнання однокішшового гідравлічного екскаватора було розроблено стендове обладнання та фізична модель телескопічного робочого обладнання з параметричним рядом ковшів. Загальний вигляд та схема стенду представлені на рисунках 2 і 3, відповідно.

Стенд для дослідження процесу взаємодії з розроблюваним середовищем моделі телескопічного РО однокішшового гідравлічного екскаватора включає ґрунтовий контейнер 1, виконаний у вигляді коробу зварної конструкції, в якому знаходиться модельоване середовище 2, раму 3, з закріпленим на верхній площині поворотним механізмом 4.

Поворотний механізм 4 (рис. 4, б) являє собою різьбове з'єднання втулки з внутрішньою різьбою M40 5, закріпленої на рамі 3, з поворотною колонкою

6, в нижній частині якої нарізана зовнішня різьба, що забезпечує вільне обертання поворотної колонки в 360°. Фіксування поворотної колонки 6 у потрібному положенні забезпечується контргайкою 7. В верхній частині поворотної колонки 6 шарнірно закріплена модель телескопічного робочого обладнання 8.

Також на рамі 3 розташовано блок живлення електронним блоком керування 9, які знаходяться в одному корпусі. До електронного блоку керування під'єднані лінійні приводи 10, 11 і 12 моделі телескопічного робочого обладнання 8, керування якими здійснюється за допомогою пульта 13. Також на рамі 3 розміщено прибор «TenzoM-8» 14 – восьми-канальний тензомостовий вимірювач/регістратор для мостових та напівмостових схем вимикання тензодатчиків, дані з прибору через USB передаються на персональний комп'ютер.

Модель телескопічного робочого обладнання 8 (рис.1, б, 4, в) складається з нижньої частини стріли 15, яка в нижній своїй частині шарнірно закріплена на поворотній колонці 6. На нижній частині стріли 15 розташовано осі обертання 17 та 18 верхньої частини стріли 19 та штоку лінійного приводу 10, відповідно.

Також нижній частині стріли 15 розміщено стягуючий механізм 20 зміни куту між нижньою та верхньою частинами стріли. Корпус лінійного приводу 10 шарнірно закріплений на тензометричній ланці 21, яка закріплена гвинтами на поворотній колонці 6. Верхня частина стріли 15 складається з двох бокових пластин 22 (рис. 1, б), на яких закріплені трисекційні телескопічні механізми 23 довжиною 360/720мм. Поміж двома телескопічними

механізмами закріплено осердя 24 – прямокутну трубу перетином 10x25мм, яка забезпечує жорсткість конструкції, та тензометричну ланку 25. Тензометрична ланка 25 повторює конструкцію тензометричної ланки 21, та являє собою Г-образний кронштейн, який складається з двох частин –

верхньої, – виконаної зі сталі 45ХНФА з накладними на неї тензорезисторами КФ5ПІ-10-200-А-12, та нижньої, – що повторює перетин осердя 24; також нижня частина тензометричної ланки має отвір діаметром 6мм з нарізаною різьбою М6..

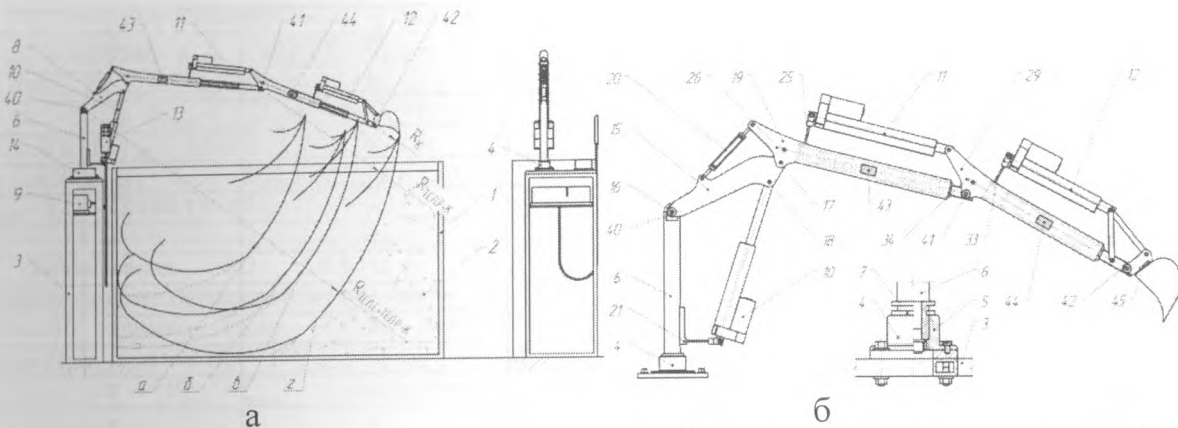


Рис.2. Загальний вигляд стенда для експериментальних досліджень: R_K , $R_{ТЕЛ.Р.+К}$, $R_{ТЕЛ.С.+ТЕЛ.Р.+К}$ – радіуси копання ковшем, рукояттю з висуnutим телескопом плюс ківи, стрілою з висуnutим телескопом плюс рукоятть з висуnutим телескопом плюс ківи, відповідно; а) траєкторія копання при втягнутих телескопах стріли та рукоятті (традиційна конструкція РО); б) те саме, при втягнутому телескопі стріли та висуnutому телескопі рукоятті; в) те саме, при висуnutому телескопі стріли та втягнутому телескопі рукоятті; г) те саме, при висуnutих телескопах стріли та рукоятті

Висування-втягування телескопічного механізму 23 відбувається за рахунок обертання шпильки 26 з різьбою М6 в різьбі тензометричної ланки 25. Вільний кінець шпильки 26 заходить в осердя 24, а на другому кінці шпилька має шестиграний перетин, та шарнірно закріплена в розпірці 27. На кінці осердя 24 розташований шарнір 28 кріплення рукояті 29. Рукоять 29 складається з двох бокових пластин 30 (рис. 4), на яких закріплені трисекційні телескопічні механізми 31, довжиною 300/600мм. Поміж двома телескопічними механізмами закріплено осердя 32 – прямокутну трубу перетином 10x25мм, яка забезпечує жорсткість конструкції, та тензометричну ланку 33. Тензометрична ланка 33 має аналогічну конструкцію тензометричним ланкам 21 і 25. Висування-втягування телескопічного механізму 31 відбувається за рахунок обертання шпильки 34 з різьбою М6 в різьбі тензометричної ланки 33. Вільний кінець шпильки 34 заходить в осердя 32, а на другому кінці шпилька має шестиграний перетин, та шарнірно закріплена в розпірці 35. На вільному кінці осердя 32 розташований шарнір 36 кріплення ковша 37, а також вісь кріплення чотири-ланкового механізму 38. Обертання рукояті здійснюється лінійним приводом 11, шток якого шарнірно закріплений на осі-розпірці 39 рукояті, а корпус – шарнірно закріплений на тензометричній ланці 25. Обертання ковша 37 здійснюється лінійним приводом 12, шток якого шарнірно закріплений на чотири-ланковому механізмі 38, а корпус – шарнірно закріплений на тензометричній ланці 33. Кути

повороту ковша 37 відносно осі рукояті 29, рукояті 29 відносно осі верхньої частини стріли 19 та нижньої частини стріли 15 відносно вертикальної осі поворотної колонки 6 реєструються датчиками змінного опору 40, 41 та 42, відповідно. Датчики підключені по напівмостовій схемі та під'єднані до прибору «TenzoM-8» 14.

Для дослідження процесу копання телескопічним робочим обладнанням одноківшевого екскаватора пропонується використовувати рототабельний центральний композиційний план другого порядку для 4-х факторів з довірчою ймовірністю 0.95, що складається з 31-ї точки N : шістнадцяти точок ядра - n_1 ; восьми «зіркових» точок та семи точок в центрі плану (табл. 2). Ядро плану складається зміною факторів на двох рівнях, а «зіркові» точки будуються на осях координат, визначаючи величину «зіркового» плеча α (відстань від нульової точки до «зіркової» по осі координат) за формулою $\alpha = 2^{k/4}$ та дорівнює 2,00.

Цей план найбільш повно описує процес взаємодії телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора з модельованим середовищем.

В якості поверхні відгуку прийняті дотична складова опору копання ґрунту P_{01} , активного зусилля на гідроциліндрі рукояті $F_{ГЦ.Р}$ та маса виритого ґрунту в ковші $m_{ГР}$, а впливовими факторами – довжина телескопічної стріли $L_{Т.СТР}$, довжина телескопічної рукояті $L_{Т.РУК}$, ширина ріжучої кромки ковша $b_{КОВ}$ та товщина вирізаної

стружки $h_{СТР}$. Рівні варіювання факторів наведені у таблиці 3

Значення факторів задавалися налаштування моделі телескопічного РО, а також відповідно обробкою ґрунтового середовища.

Таблиця

Матриця планування чотирифакторного рототабельного центрального композиційного плану експерименту

Номер досліджу	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	2	3	4	5
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+
17	-2.00	0	0	0
18	+2.00	0	0	0
19	0	-2.00	0	0
20	0	+2.00	0	0
21	0	0	-2.00	0
22	0	0	+2.00	0
23	0	0	0	-2.00
24	0	0	0	+2.00
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0

Результати експерименту по чотирифакторному рототабельному центральному композиційному плану можливо описати рівнянням регресії другого порядку:

$$y_u = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii}^2 \cdot x_i^2 \quad (1)$$

де b_0 – залишковий член рівняння; b_i – коефіцієнт лінійної регресії для i -го фактору; b_{ii} – коефіцієнт регресії при квадратичному члені i -го фактору; $b_{i,j}$ – коефіцієнт взаємодії i -го та j -го факторів.

Обробка отриманих даних за допомогою програми для персонального комп'ютера STATGRAPHICS Centurion XVI дозволила отримати регресійні залежності, котрі

- для дотичної складової опору копання ґрунту $P_{01} = f(L_{Т.СТР}, L_{Т.РУК}, b_{КОВ}, h_{СТР})$ представлені формулою 2:

$$P_{01} = 381,923 - 12,0566 \cdot L_{Т.СТР} - 1498,48 \cdot L_{Т.РУК} + 13,5556 \cdot b_{КОВ} + 3858,77 \cdot h_{СТР} - 5,26902 \cdot L_{Т.СТР}^2 + 238,498 \cdot L_{Т.СТР} \cdot L_{Т.РУК} - 207,934 \cdot L_{Т.СТР} \cdot b_{КОВ} - 1817,4 \cdot L_{Т.СТР} \cdot h_{СТР} + 1802,07 \cdot L_{Т.РУК}^2 - 1054,09 \cdot L_{Т.РУК} \cdot b_{КОВ} - 2778,83 \cdot L_{Т.РУК} \cdot h_{СТР} + 9865,18 \cdot b_{КОВ}^2 - 36001,9 \cdot b_{КОВ} \cdot h_{СТР} + 129506,0 \cdot h_{СТР}^2; \quad (2)$$

- для активного зусилля на гідроциліндр рукояті $F_{ГЦ.Р.} = f(L_{Т.СТР}, L_{Т.РУК}, b_{КОВ}, h_{СТР})$ представлені формулою 3:

$$F_{ГЦ.Р.} = 4015,08 - 1649,79 \cdot L_{Т.СТР} - 11803,1 \cdot L_{Т.РУК} - 3903,01 \cdot b_{КОВ} - 48094,6 \cdot h_{СТР} + 346,259 \cdot L_{Т.СТР}^2 + 3071,04 \cdot L_{Т.СТР} \cdot L_{Т.РУК} + \quad (3)$$

$$2388,09 \cdot L_{T,СТР} \cdot b_{КОВ} + 15751,0 \cdot L_{T,СТР} \cdot h_{СТР} + 10030,5 \cdot L_{T,РУК}^2 \cdot b_{КОВ} - 662,896 \cdot L_{T,РУК} \cdot b_{КОВ} + 65252,6 \cdot L_{T,РУК} \cdot h_{СТР} + 46066,3 \cdot b_{КОВ}^2 - 75142,7 \cdot b_{КОВ} \cdot h_{СТР} + 740082,0 \cdot h_{СТР}^2;$$

- для маси виритого ґрунту в ковші $m_{ГР} = f(L_{T,СТР}, L_{T,РУК}, b_{КОВ}, h_{СТР})$ представлені формулою 4:

$$m_{ГР} = -7,50635 + 6,66956 \cdot L_{T,СТР} + 14,7396 \cdot L_{T,РУК} + 60,8646 \cdot b_{КОВ} - 29,8333 \cdot h_{СТР} - 14,9699 \cdot L_{T,СТР}^2 + 7,95718 \cdot L_{T,СТР} \cdot L_{T,РУК} + 15,191 \cdot L_{T,СТР} \cdot b_{КОВ} + 256,944 \cdot L_{T,СТР} \cdot h_{СТР} - 20,1678 \cdot L_{T,РУК}^2 - 4,6875 \cdot L_{T,РУК} \cdot b_{КОВ} + 79,1667 \cdot L_{T,РУК} \cdot h_{СТР} - 256,51 \cdot b_{КОВ}^2 + 150,0 \cdot b_{КОВ} \cdot h_{СТР} - 3404,17 \cdot h_{СТР}^2. \quad (4)$$

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.

$$[H_{K,min}^T, H_{K,max}^T] \stackrel{\text{def}}{=} \{H_K \in \mathbb{R}: H_{K,min}^T \leq H_K \leq H_{K,max}^T\}, H_K \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$[R_{min}^T, R_{max}^T] \stackrel{\text{def}}{=} \{R \in \mathbb{R}: R_{min}^T \leq R \leq R_{max}^T\}, R \rightarrow \max. \quad (6)$$

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

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

$$N_{\text{ПТ}}^T = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (7)$$

$$N_{\text{ПТ}}^M = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} k_{\Gamma} p_i}; \quad (8)$$

$$N_{\text{ПТ}}^{KM} = \frac{\sum_1^m N_i}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (9)$$

$$G_{\text{ПТ}}^T = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (10)$$

$$G_{\text{ПТ}}^M = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} k_{\Gamma} p_i}; \quad (11)$$

$$G_{\text{ПТ}}^{KM} = \frac{\sum_1^m G_i}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (12)$$

де Π_{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:

$$\Pi_{NG} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i\right)^2}, \Pi_{NG} \rightarrow \min \quad (13)$$

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 ОґЕ, 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, ОґЕ однієї розмірної категорії може виконувати роботи на глибинах ОґЕ декількох розмірних груп, в тому числі наступної розмірної категорії, тим самим РО. Для визначення ефективності використання ОґЕ з ТРО по глибині та радіусу копання розроблено ряд показників:

- показник оцінки енергоємності по глибині копання:

$$H_N = \frac{N}{H_K} = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_K^T p_i}, H_N \rightarrow \min; \quad (14)$$

- показник оцінки матеріалоємності по глибині копання:

$$H_G = \frac{G}{H_K} = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_K^T p_i}, H_G \rightarrow \min; \quad (15)$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання:

$$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_K^T p_i\right)^2}, \quad (16)$$

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

- показник оцінки енергоємності по радіусу копанья:

$$R_N = \frac{N}{R} = \left[\min \left(\frac{N}{R^T} \right), \max \left(\frac{N}{R^T} \right) \right], \quad (17)$$

$$R_N \rightarrow \min;$$

- показник оцінки матеріалоємності по радіусу копанья:

$$R_G = \frac{G}{R} = \left[\min \left(\frac{G}{R^T} \right), \max \left(\frac{G}{R^T} \right) \right], \quad (18)$$

$$R_G \rightarrow \min;$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копанья:

$$R_{NG} = \frac{NG}{R^2} = \left[\min \left(\frac{NG}{(R^T)^2} \right), \max \left(\frac{NG}{(R^T)^2} \right) \right], \quad (19)$$

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

Виконання спеціальних робіт (наприклад, копанья 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, m^3 [11]:

- показник оцінки енергоємності по місткості ковша q_N :

$$q_N = \frac{N}{q}, q_N \rightarrow \min; \quad (20)$$

- показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша q_G :

$$q_G = \frac{G}{q}, q_G \rightarrow \min; \quad (21)$$

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

$$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}, q_{NG} \rightarrow \min; \quad (22)$$

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

$$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2} = \frac{N^2 G^2}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_K^T p_i \right)^2 q^2}, \quad (23)$$

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

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

$$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2} = \left[\min \left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2} \right), \max \left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2} \right) \right], \quad (24)$$

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

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 операції:

$$w_{\text{ПТ}} = \frac{1}{w} \cdot \sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i}, w_{\text{ПТ}} \rightarrow \max \quad (25)$$

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_{NGwT} та Π_{NGwKM} – ОГЕ ТРО та комплекту ОГЕ з РО одно цільового призначення, виконуючих ті самі види робіт відповідно, [45, 68, 69, 70, 71, 72, 73]:

$$\Pi_{NGwT} = \frac{N_{\text{ПТ}}(G + \sum_1^k G_j) w_p p_{w_p}}{\sum_{1,1}^{k,Q} (\Pi_{jq} p_j p_q)^3}, \quad (26)$$

$$\Pi_{NGwT} \rightarrow \min,$$

де k – кількість робочих органів, які забезпечують виконання відповідних видів робіт; Π_{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_{w_p} – вірогідність одночасної появи робітників, які обслуговують машину.

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

$$\Pi_{NGwKM} = \sum_{1,1}^{k,Q} \Pi_{NGwjq}, \quad (27)$$

де Π_{NGwjq} – узагальнений показник ефективності ОГЕ комплекту на k -му виді робіт та Q умов експлуатації.

Систему показників представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Система показників для оцінки ефективності інноваційного 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 -му виді робіт	$\frac{м^3}{год.}$	$П_{ei}$	$П_{ei} \rightarrow max$
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	$\frac{кВт}{м^3/год}$	$N_{ПТ} = \frac{N}{П_{ei}}$	$N_{ПТ} \rightarrow min$
10	Питома матеріалоємність	$\frac{кН}{м^3/год}$	$G_{ПТ} = \frac{G}{П_{ei}}$	$G_{ПТ} \rightarrow min$
11	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності	$\frac{кВт \cdot кН}{(м^3/год.)^2}$	$П_{NG} = \frac{NG}{П_{ei}^2}$	$П_{NG} \rightarrow min$
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	$\frac{(м^3/год.)}{кВт}$	$П_{ПТ_N} = \frac{П_{ei}}{N}$	$П_{ПТ_N} \rightarrow max$
19	Питома продуктивність по масі ОґЕ	$\frac{(м^3/год.)}{кН}$	$П_{ПТ_G} = \frac{П_{ei}}{G}$	$П_{ПТ_G} \rightarrow max$
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	$\frac{кВт^2 \cdot кН^2}{м^8}$	$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2}$	$R_{NGq} \rightarrow min$

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. Проведенні розрахунків розглядалися технологічні схеми ТРО при різних варіаціях встановлення 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.

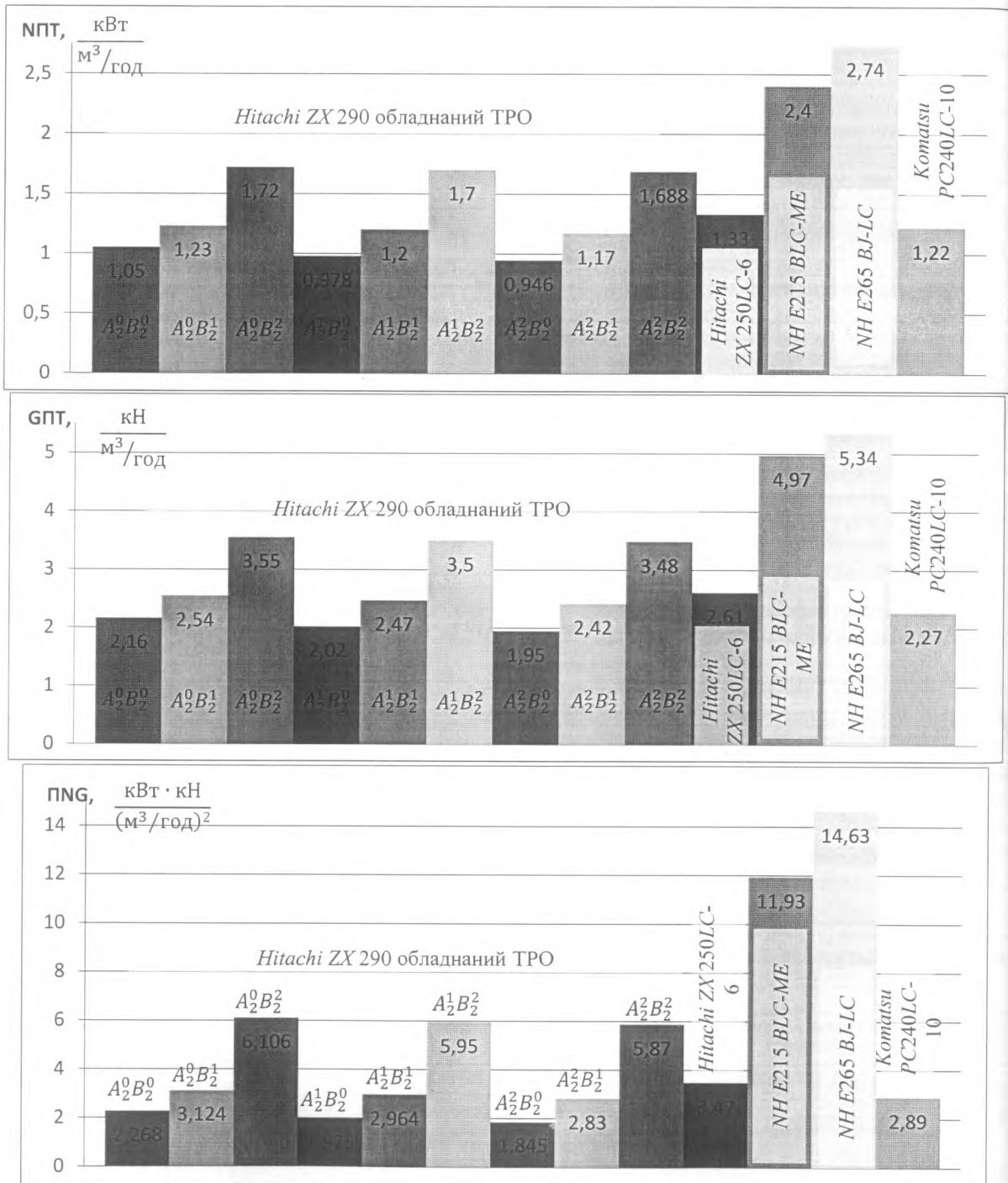
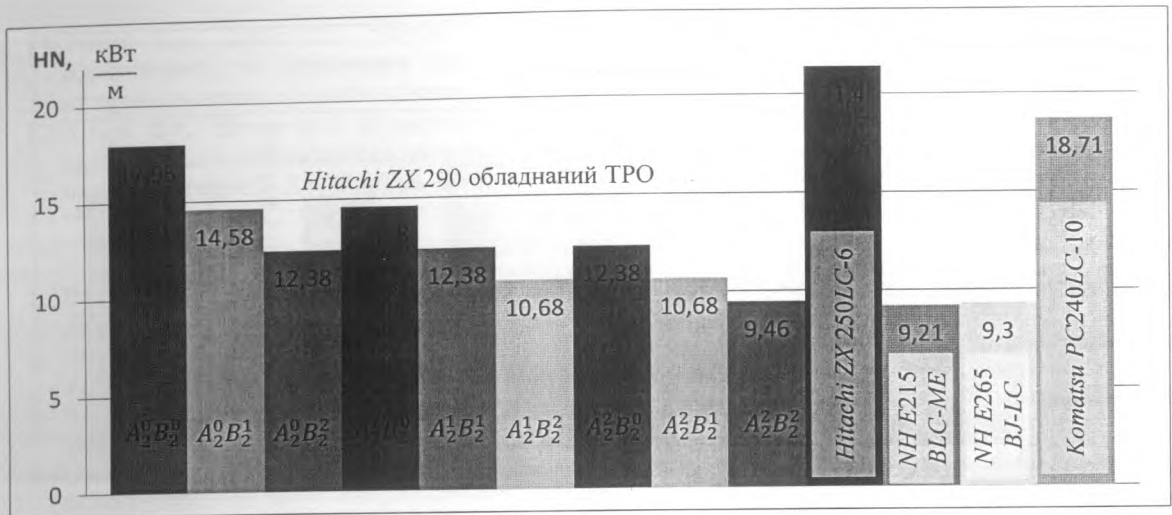
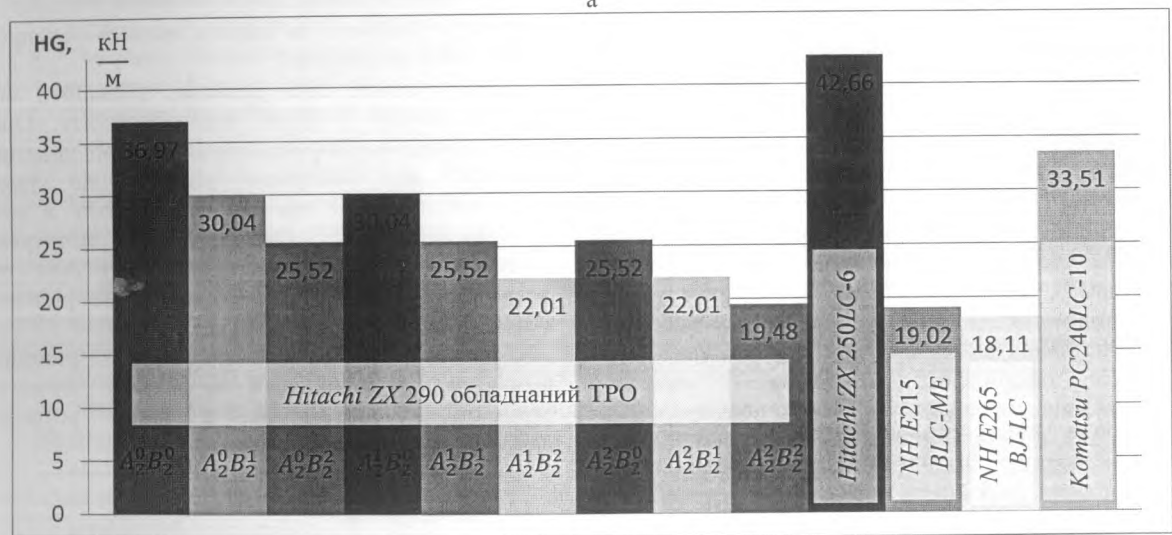


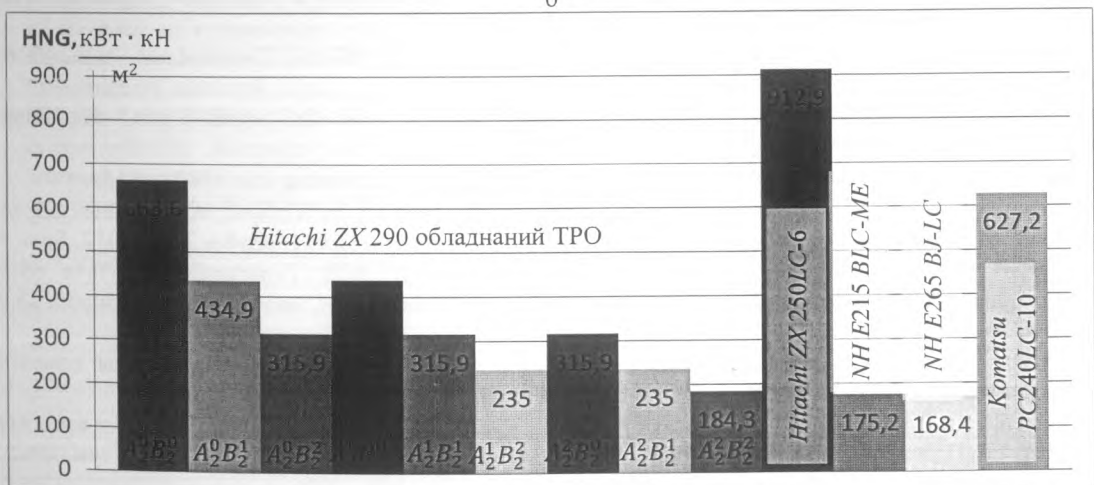
Рис. 3. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – по питомій енергоємності; б – по питомій матеріалосьмності; в – по узагальненому показнику енергоємності та матеріалосьмності



а



б



в

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

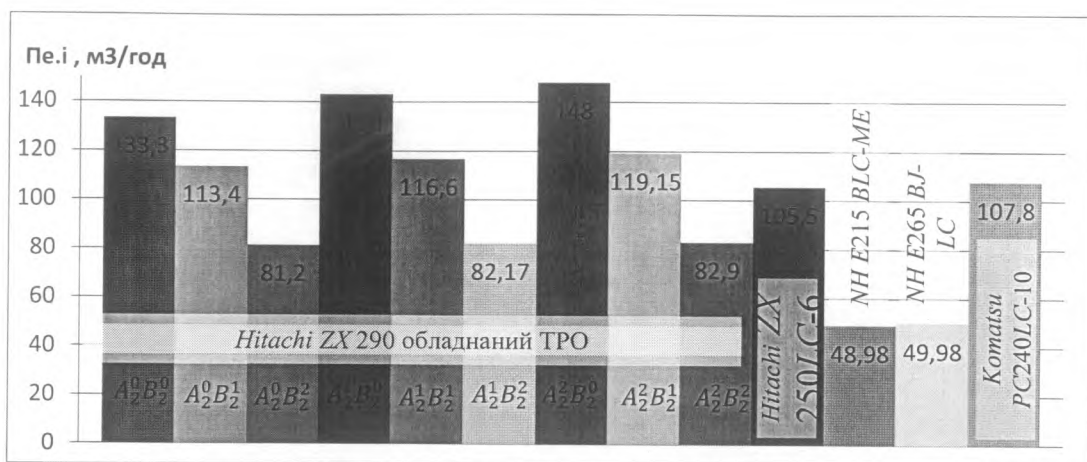


Рис. 5. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ по продуктивності

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, E265B/LC з РО збільшеної довжини, Komatsu PC240LC-10 з традиційним РО та показані на рисунках 3, 4, 5.

Висновок. Формування і оцінку інноваційного ТРО ОГЕ доцільно виконувати згідно методики (формули (9), (10), (14), (17)...(27), а також табл. 1) 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 показники показала, що найкраще рішення по умовам раціоналізації та оптимізації знаходиться в межах застосування ТРО. Окрім цього, застосування телескопічних механізмів для телескопування стріл дозволяє підвищити продуктивність у порівнянні традиційним РО на 28%...40%.

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. 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 одноківшевого 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. курсовой 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 одноковшевого 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 і 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.

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 mekhanicheskikh 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 rabocheho 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 odnokivshevym ekskavatorom z teleskopichnym robochym obladdnannym* [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