

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА
АРХІТЕКТУРИ»**



ДАХНО ОЛЕГ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.879.33

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОДНОКІВШЕВОГО ГІДРАВЛІЧНОГО
ЕКСКАВАТОРА СТВОРЕННЯМ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО РОБОЧОГО
ОБЛАДНАННЯ**

05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Хмара Леонід Андрійович**, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», завідувач кафедри будівельних та дорожніх машин ДВНЗ «ПДАБтаА»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Кравець Святослав Володимирович**, Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання;

кандидат технічних наук, професор **Мусійко Володимир Данилович**, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожніх машин.

Захист відбудеться «26» січня 2017 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 08.085.03 ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою:
49000, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24-а, к. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою:
49000, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24-а.

Автореферат розісланий «23» грудня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Рабіч О. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Згідно з державною програмою стратегії розвитку України «Україна 2020: Стратегія національної модернізації», запропоновано напрямки розвитку машинобудування за рахунок впровадження політики імпортозаміщення. Саме тому, відповідно до програми економічних реформ сформовано принципи та етапи довгострокового економічного зростання. Одним з основних організаційно-економічних заходів проведення цих реформ повинна стати модернізація та технологічне оновлення машинобудівельної галузі України.

Найбільш поширеною і часто використовуваною будівельною технікою є одноківшевий гідравлічний екскаватор (ОГЕ). Одним із основних напрямів удосконалення ОГЕ є збільшення продуктивності, зниження енерговитрат на розробку ґрунту, розвиток і створення нових конструкцій робочого обладнання (РО), які дозволяють розширити технологічні можливості за рахунок можливості змінювати геометричні параметри РО завдяки наявності як нових конструкцій РО, створених із нових та традиційних елементів, так і оснащених телескопічним робочим обладнанням (ТРО), а саме телескопічними стрілою та рукояттю, підвищення надійності і довговічності цих конструкцій.

Перспективним напрямком розвитку землерийної техніки є ТРО ОГЕ, яке дає змогу швидко змінювати в широкому діапазоні геометричні параметри ТРО, збільшити глибину копання, висоту розвантаження та радіус роботи ТРО, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОГЕ. При цьому, ТРО ОГЕ дає змогу об'єднувати робочі операції з одночасною зміною лінійних розмірів РО, що дозволяє здійснювати широку адаптацію до різних умов роботи та зменшувати час циклу, а також використовувати широкий спектр змінних робочих органів. Впровадження ТРО дозволяє скоротити кількість спеціалізованої техніки на будівельному майданчику.

Із цього виходить, що науковий пошук, створення, дослідження та визначення раціональних конструктивних параметрів ТРО ОГЕ є актуальною задачею, яка відповідає пріоритетним завданням сучасного машинобудування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконана у відповідності до тем науково-дослідницької роботи кафедри «Будівельні та дорожні машини» Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» в рамках програми «Розробка енергозберігаючих робочих органів та інтенсифікація робочих процесів підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин і обладнання», ДР №0111U006476.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності одноківшевого гідравлічного екскаватора шляхом формування різноманітних варіантів телескопічного робочого обладнання та їх оцінка.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити **наукові задачі**:

- провести огляд та аналіз науково-технічної літератури та патентних рішень по конструкціям ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками РО;
- розробити метод формування конструкцій ТРО ОГЕ, в яких для зміни лінійних параметрів використовуються телескопічні елементи, а саме телескопічні стріла та рукоять;

- розробити методи визначення продуктивності та оцінки ефективності сформованого ТРО;
- розробити математичні моделі по визначенню об'єму розроблюваного ґрунту в забої при роботі ТРО;
- розробити математичну модель для визначення оптимальної товщини вирізаної стружки в умовах забезпечення стійкості та реалізації максимально можливих зусиль на ріжучій кромці ковша при копанні ТРО ОГЕ;
- розробити стенд з фізичною моделлю ТРО ОГЕ та параметричний ряд фізичних моделей ковшів;
- розробити методику багатофакторних експериментальних досліджень;
- провести багатофакторні експериментальні дослідження залежностей дотичної складової опору ґрунту копанню, активного зусилля на лінійному приводі рукояті та масі відригного ґрунту від геометричних параметрів ТРО, ширини ріжучої кромки ковшів та режимів копання ґрунту;
- дати практичні рекомендації по обґрунтуванню раціональних параметрів ТРО ОГЕ.

Об'єкт дослідження: створення ТРО ОГЕ та його взаємодія з ґрунтовим середовищем.

Предмет дослідження: методи синтезу оптимальних структур ТРО ОГЕ та оцінки їх ефективності при розробці ґрунтового середовища, раціональні параметри ТРО ОГЕ.

Гіпотеза дослідження: розширення технологічних параметрів та збільшення продуктивності і покращення техніко-економічних показників досягається конструктивним телескопуванням робочого обладнання.

Методи дослідження: у роботі застосовані теоретичні та експериментальні методи досліджень. В теоретичній частині застосовувались методи орієнтованих гіперграфів, комбінаторного структурного синтезу, теорії множин, множників Лагранжа та аналітичні методи для побудови математичних моделей процесу взаємодії ковша ОГЕ з ґрунтом. Експериментальна частина роботи містить наближене фізичне моделювання процесу копання ґрунту фізичною моделлю ТРО ОГЕ, оснащеної параметричним рядом фізичних моделей ковшів на стенді для експериментальних досліджень, розроблених автором та методів математичної статистики обробки результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше розроблена модель формування ТРО ОГЕ, яка дозволяє отримувати коректні поєднання з традиційних та телескопічних елементів у нові структури ТРО, які включають всі фізично можливі комбінації як кінематичних, так і технологічних схем та виключають фізично неможливі комбінації;
- вперше встановлена залежність зміни експлуатаційної продуктивності від зміни об'єму розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОГЕ, який враховує конструктивні параметри ТРО;
- система показників для оцінки ефективності нових конструктивних рішень набула подальшого розвитку та доповнена комплексом показників, в якому враховується вплив зміни геометричних параметрів ТРО ОГЕ;

- вперше розроблені математичні моделі для інтегральних розрахунків теоретичного об'єму копання ґрунту ТРО ОҒЕ, як в періоді одного переміщення, так і при подальшому копанні ґрунту, які дозволяють проводити розрахунки для різноманітних телескопічних систем стріли та рукояті, будь-якої ширини проходки та глибини копання;

- вперше розроблена математична модель для визначення оптимальної товщини вирізаної стружки в умовах забезпечення стійкості та реалізації максимально можливих зусиль на ріжучій кромці ковша при копанні ТРО ОҒЕ;

- отримано багатофакторні експериментальні регресійні моделі процесу взаємодії із ґрунтовим середовищем ТРО ОҒЕ, в яких враховано: геометричні параметри телескопічних секцій (ТС) стріли та ТС рукояті, ширину ріжучої кромки ковша та товщину вирізаної ґрунтової стружки;

- визначено раціональні параметри ТС ТРО ОҒЕ, що отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів визначається розробленою методикою визначення раціональних конструктивних параметрів ТС ТРО ОҒЕ; технологічних схем застосування ТРО ОҒЕ; системою показників для оцінки ефективності застосування ОҒЕ, оснащеного ТРО при проведенні земляних робіт; та використовується у ДВНЗ «ПДАБтаА» при проведенні науково-дослідних робіт, в навчальних дисциплінах «Машини для земляних робіт», «Дорожні машини», а також в дипломному проектуванні по спеціальності 7.050503 «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини і обладнання»; отримано патенти України на корисну модель ТРО ОҒЕ; методи визначення продуктивності та оцінки ефективності впроваджені у планування виконання робіт по будівництву ґрунтових споруд на підприємстві ТОВ «Укргідробудпроект»; впровадження в експлуатацію ОҒЕ, оснащеного ТРО ТОВ «Атомбуднагляд» м. Дніпропетровськ забезпечило річний економічний ефект у розмірі 203200.00 грн.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійною науковою працею автора. Автором дисертації визначено мету та завдання досліджень, здійснено пошук їх рішень [4], проведено теоретичні та експериментальні дослідження. Головні результати теоретичних та експериментальних досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, опубліковано в наукових працях. У працях, виданих у співавторстві, автору належить:

- моделі для формування ТРО ОҒЕ, які дозволяють отримувати коректні поєднання з традиційних та телескопічних елементів у нові структури РО [7, 9];

- закон зміни експлуатаційної продуктивності в залежності від зміни об'єму розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОҒЕ, який враховує конструктивні параметри ТРО [2, 3];

- показники для оцінки ефективності ТРО ОҒЕ, які враховують геометричні параметри ТРО та об'єм розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОҒЕ [2];

- математичні моделі по теоретичному визначенню об'єму розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОҒЕ [1, 6];

- оптимізаційна модель для визначення оптимальної товщини вирізаної стружки в умовах забезпечення стійкості та реалізації максимально можливих зусиль на ріжучій кромці ковша при копанні ТРО ОГЕ [8];

- розробка та побудова моделі ТРО ОГЕ та стенду для експериментальних досліджень [5];

- результати експериментальних досліджень процесу копання ґрунту фізичною моделлю ТРО ОГЕ [5];

- вибір і розрахунок раціональних та технологічних параметрів ТРО ОГЕ (розміри та кількість ТС в ТРО) [5. 7].

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів «Створення, експлуатація і ремонт машин та обладнання для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій», 20 - 21 листопада 2012 р. в Полтавському національному технічному університеті імені Ю. Кондратюка; на засіданні науково-методичної ради зі спеціальності «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» у Запорізькому національному технічному університеті, 22 - 23 квітня 2013 р., м. Запоріжжя; на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоощадні машини і технології» у Київському національному університеті будівництва та архітектури, 29 - 30 травня 2013р., м. Київ; на II Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоощадні машини і технології» у Київському національному університеті будівництва та архітектури, 29 вересня - 1 жовтня 2015 р., м. Київ; на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні дослідження в будівельному та сільськогосподарському машинобудуванні» у Національному університеті водного господарства та природокористування, 7 - 9 жовтня 2015 р., м. Рівне; на засіданнях та наукових семінарах кафедри «Будівельних і дорожніх машин» ДВНЗ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, (м. Дніпропетровськ 2010-2016 рр.).

Публікації. Основні наукові положення дисертаційної роботи опубліковано у 29 працях, 17 з яких опубліковано у наукових фахових виданнях України, 7 – у закордонних наукових фахових виданнях, 5 – патентів України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел, додатків та містить 216 сторінок, 15 таблиць, 111 рисунків. Окрім основного тексту, який викладено на 167 сторінках, дисертація містить перелік використаних джерел із 104 найменувань на 13 сторінках та 3 додатки на 33 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету роботи, завдання, об'єкт, предмет та гіпотезу, представлено методи дослідження, наукову новизну і практичне значення наукових результатів, наведено дані публікацій та апробацій роботи, вказано особистий внесок здобувача, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** «Аналіз конструкцій та досліджень РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками» подано огляд та аналіз сучасного стану наукових

розробок та патентної інформації. Представлено аналіз конструкцій та перспективних напрямів розвитку РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками.

Дослідження по формуванню, робочому процесу та визначенню раціональних параметрів РО та ОГЕ зі змінними геометричними РО знайшли відображення у роботах: І. Я. Айзенштока, В. І. Баловнева, В. А. Башкірова, Ю. І. Белякова, Ю. О. Ветрова, Є. І. Воробйова, В. П. Горячкіна, А. Д. Даліна, М. Г. Домбровського, А. М. Зеленина, А. В. Рустамовича, Е. А. Смоляницького, В. К. Тимошенко, Д. І. Федорова, Л. А. Хмари, М. Д. Церлюка та ін.

На основі аналізу конструктивних рішень по РО ОГЕ зі змінними геометричними параметрами встановлені переваги та недоліки технічних рішень, а саме: для зміни геометричних параметрів в реальних конструкціях РО зазвичай використовуються РО збільшеного розміру, додаткові секції РО, а також телескопічні рукояті, при цьому конструктивне телескопування стріли здебільшого не використовуються. Недоліками таких технічних рішень є ступінчаста зміна геометричних параметрів РО, трудомісткість заміни одного елементу РО іншим та збільшення плечей прикладання активних зусиль при телескопуванні рукояті і як наслідок – збільшення енерговитрат. ТРО має низку переваг у порівнянні з традиційними способами зміни геометричних параметрів РО: досягається широкий діапазон зміни цих параметрів, при цьому зміна геометричних параметрів відбувається плавно, безступінчато, та з'являється можливість поєднувати робочі операції з одночасною зміною лінійних розмірів РО.

Таким чином, необхідно розробити методи формування ряду різноманітних схем ТРО ОГЕ та оцінки його ефективності, призначення його конструктивних параметрів, а також доопрацювати пропозиції авторів попередніх досліджень, які стосуються формування, оцінки ефективності та розробки ґрунту РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками.

У **другому розділі** «Теоретичні дослідження робочих процесів ТРО ОГЕ» описані:

1. Модель формування нових структур ТРО ОГЕ з традиційних та телескопічних елементів стріли ($A_{TP}=n$; $A_{T.1}=n+n_1$; $A_{T.2}=n+n_1+n_2$) та рукояті ($B_{TP}=k$; $B_{T.1}=k+k_1$; $B_{T.2}=k+k_1+k_2$), та їх поєднання з основними видами робочих органів $\{E_w\}$ для розробки ґрунту на глибинах в межах від $H_K=5.5\dots 22\text{м}$

Описати створення подібних структур можна використовуючи методи орієнтованих гіперграфів, комбінаторного структурного синтезу та теорії множин.

Представлена схему формування нового РО ОГЕ у вигляді орієнтованого гіперграфу – рисунок 1.

Компактна та впорядкована структура гіперграфу формування ТРО ОГЕ, показана на рисунку 1 дає підстави вважати рішенням деякий гіпершлях, який веде з множини вершин $\{A_1, A_2, B, E\}$ в множину $\{\{m\}, \{H_K\}, \{z_j\}\}$, з наступним поєднанням у реалізовану структуру $\{A_n^D, B_k^D, E_w^i\}$.

Позначимо через $in(\{A_n\})$, $in(\{B_k\})$, $in(\{E_w\})$ – відповідно входи дуг $\{A_n\}$, $\{B_k\}$, $\{E_w\}$, а через $out(\{A_n\})$, $out(\{B_k\})$, $out(\{E_w\})$ – виходи цих дуг. Будь яку множину гіпердуг будемо називати структурою та позначимо через s . Коректною вважаємо структуру послідовності $\{A, B, E\}$. Позначимо $in(\{A, B, E\})$ – входи структури $\{A, B, E\}$, а через $out(\{A, B, E\})$ – її виходи. Вважаємо, що

$$out(\{A, B, E\}) = \bigcup_{(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \in \{A, B, E\}} out(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}), \quad (1)$$

тобто виходи структури – є поєднанням виходів всіх гіпердуг, які входять в неї. Вважаємо, що

$$in(\{A, B, E\}) = \bigcup_{(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \in \{A, B, E\}} in(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \setminus out(\{A, B, E\}), \quad (2)$$

тобто входами структури є такі входи її елементів, котрі не є виходами цієї структури. Структура є гіперциклом, якщо для неї виконується співвідношення:

$$in(c) = \emptyset, \quad (3)$$

тобто вона має пусту множину входів. Гіперцикл називається не надлишковим, якщо

$$\forall (\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \in \{A, B, E\}, in(\{A, B, E\} \setminus (\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\})) \neq \emptyset. \quad (4)$$

Рішенням задачі структурного синтезу є будь-який гіперцикл, який включає елемент z_1 – «зовнішнє середовище», який гарантує глобальність гіперциклу.

Коректний синтез структури, утвореної поєднанням множин телескопічних систем стріли $\{A_n\}$ та рукояті $\{B_k\}$ представимо у вигляді декартового добутку їх комбінацій $\{A_n\} \times \{B_k\} \Leftrightarrow \{A_0, A_1, A_2\} \times \{B_0, B_1, B_2\}$:

$$A \times B = \{(A_n B_k) | A_n \in A \wedge B_k \in B\}, \quad (5)$$

$$\{A_0, A_1, A_2\} \times \{B_0, B_1, B_2\} = \begin{matrix} & B_0 & B_1 & B_2 \\ A_0 & A_0 B_0 & A_0 B_1 & A_0 B_2 \\ A_1 & A_1 B_0 & A_1 B_1 & A_1 B_2 \\ A_2 & A_2 B_0 & A_2 B_1 & A_2 B_2 \end{matrix}. \quad (6)$$

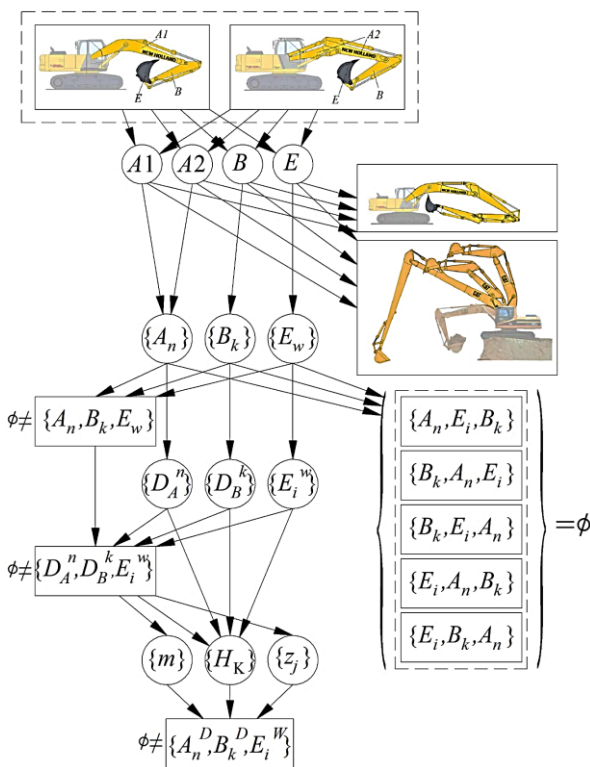


Рис. 1. Структурний гіперграф формування ТРО ОГЕ

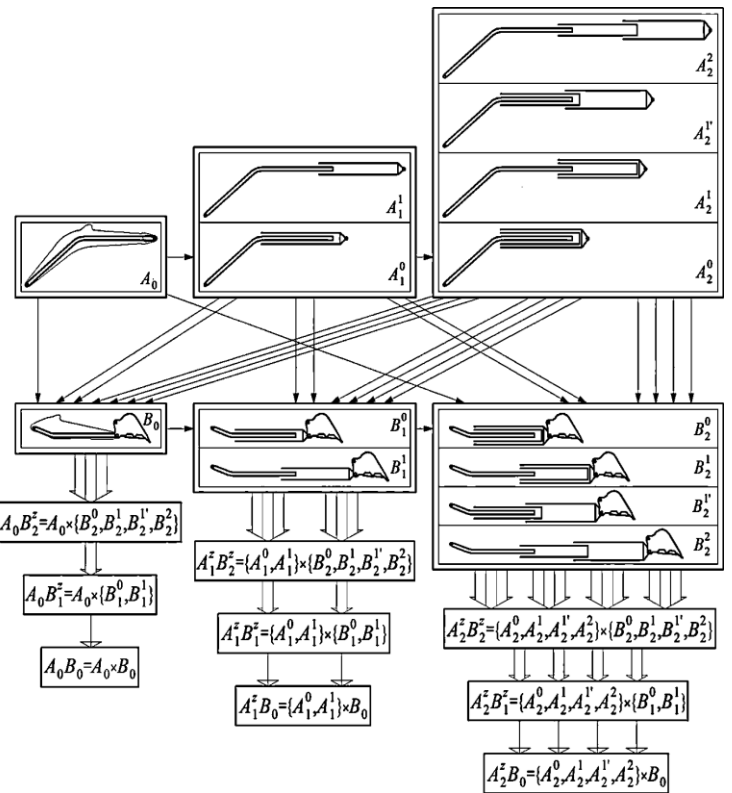


Рис. 2. Структурний гіперграф варіацій технологічних схем ТРО ОГЕ

Структури можливих технологічних схем визначаємо методами комбінаторики та структурного синтезу, перемінними факторами в яких буде кількість задіяних для

роботи приводів z елементів n і k в телескопічних системах стріли A та рукояті B (рис.2). Тоді кількість варіативних комбінацій роботи ТРО ОГЕ дорівнюватиме:

$$A_n B_k \rightarrow \{A_0 \vee \{A_1^z\} \vee \{A_2^z\}\} \times \{B_0 \vee \{B_1^z\} \vee \{B_2^z\}\}, \quad (7)$$

де A_0 – стріла ОГЕ *традиційної* конструкції; $\{A_1^0, A_1^1\} \in A_1^z$ – варіації технологічних схем *двосекційної* телескопічної стріли ОГЕ; $\{A_2^0, A_2^1, A_2^1', A_2^2\} \in A_2^z$ – варіації технологічних схем *трисекційної* телескопічної стріли ОГЕ; B_0 – рукоять ОГЕ *традиційної* конструкції; $\{B_1^0, B_1^1\} \in B_1^z$ – варіації технологічних схем *двосекційної* телескопічної рукояті ОГЕ; $\{B_2^0, B_2^1, B_2^1', B_2^2\} \in B_2^z$ – варіації технологічних схем *трисекційної* телескопічної рукояті ОГЕ.

2. Створення ТРО ОГЕ пов'язане з вибором оптимального технічного рішення зі сформованих структур обладнання цього типу. Продуктивність – один з головних критеріїв ефективності одноківшевих екскаваторів та одна з головних початкових величин загального розрахунку цих машин.

Розрахунки продуктивності та встановлення робочих розмірів екскаваторів при їх проектуванні безпосередньо пов'язані з об'ємом ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення

Попередній оціночний аналіз об'єму ґрунту, розроблюваного в періоді i -го 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:

$$V_{\text{тех},i} \cong \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot r_2}\right) \cdot r_2 \cdot \Delta l_i \cdot H_K, \quad (8)$$

де Δl_i – відстань одного переміщення ОГЕ; r_2 – радіус обертання ТРО на дні забою.

Експлуатаційна продуктивність ОГЕ в періоді n переміщень, дорівнюватиме:

$$P_e = \frac{3600 \cdot \sum_{i=1}^n V_{\text{тех},i}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{пер}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_j} t_{\text{ц}}}, \quad (9)$$

де m_j – кількість робочих циклів в періоді i -го переміщення; $t_{\text{пер}}$ – час переміщення екскаватора на нову стоянку; $t_{\text{ц}}$ – час робочого циклу; n – кількість переміщень ОГЕ

3. Система показників для оцінки ефективності та експлуатаційних властивостей екскаваторів, обладнаних ТРО та комплексів набула подальшого розвитку та доповнена рядом показників різноманітного призначення з урахуванням впливу зміни геометричних параметрів ТРО, які формалізують особливості прийняття технічного рішення в різних проектних ситуаціях (табл. 1).

Таблиця 1

Система показників для оцінки ефективності ТРО ОГЕ

| № | Показники | Розм.: | Загал. форма запису показн. | Умови рац. та оптиміз. |
|---|---|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Експлуатаційна продуктивність на i -му виді робіт | $\frac{m^3}{\text{год}}$ | P_{e_i} | $P_{e_i} \rightarrow \max$ |
| 2 | Об'єм ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОГЕ | m^3 | $V_{\text{тех},i}$ | $V_{\text{тех},i} \rightarrow \max$ |

продовження таблиці 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|--|---|---|--------------------------------------|
| 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 | Показник оцінки енергоємності по глибині копання | $\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$ | $H_N = \frac{N}{H_K}$ | $H_N \rightarrow \min$ |
| 7 | Показник оцінки матеріалоемності по глибині копання | $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$ | $H_G = \frac{G}{H_K}$ | $H_G \rightarrow \min$ |
| 8 | Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності по глибині копання | $\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{\text{м}^2}$ | $H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2}$ | $H_{NG} \rightarrow \min$ |
| 9 | Показник оцінки енергоємності по радіусу копання | $\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$ | $R_N = \frac{N}{R}$ | $R_N \rightarrow \min$ |
| 10 | Показник оцінки матеріалоемності по радіусу копання | $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$ | $R_G = \frac{G}{R}$ | $R_G \rightarrow \min$ |
| 11 | Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності по радіусу копання | $\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{\text{м}^2}$ | $R_{NG} = \frac{NG}{R^2}$ | $R_{NG} \rightarrow \min$ |
| 12 | Питома продуктивність по масі ОГЕ на i -му виді робіт | $\frac{(\text{м}^3/\text{год})}{\text{кН}}$ | $\Pi_{\text{ПТ}_G} = \frac{\Pi_{e_i}}{G}$ | $\Pi_{\text{ПТ}_G} \rightarrow \max$ |
| 13 | Питома продуктивність по місткості ковша ОГЕ на i -му виді робіт | $\frac{(\text{м}^3/\text{год})}{\text{м}^3}$ | $\Pi_{\text{ПТ}_q} = \frac{\Pi_{e_i}}{q}$ | $\Pi_{\text{ПТ}_q} \rightarrow \max$ |
| 14 | Показник оцінки енергоємності по місткості ковша | $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$ | $q_N = \frac{N}{q}$ | $q_N \rightarrow \min$ |
| 15 | Показник оцінки матеріалоемності по місткості ковша | $\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$ | $q_G = \frac{G}{q}$ | $q_G \rightarrow \min$ |
| 16 | Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності по місткості ковша | $\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{\text{м}^6}$ | $q_{NG} = \frac{NG}{q^2}$ | $q_{NG} \rightarrow \min$ |
| 17 | Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності по глибині копання та місткості ковша | $\frac{\text{кВт}^2 \cdot \text{кН}^2}{\text{м}^8}$ | $H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2}$ | $H_{NGq} \rightarrow \min$ |
| 18 | Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності по радіусу копання та місткості ковша | $\frac{\text{кВт}^2 \cdot \text{кН}^2}{\text{м}^8}$ | $R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2}$ | $R_{NGq} \rightarrow \min$ |

4. Математичні моделі для інтегральних розрахунків теоретичного об'єму копання ґрунту ТРО ОГЕ, як в періоді одного переміщення, так і при подальшому копанні ґрунту, які дозволяють проводити розрахунки для різноманітних телескопічних систем стріли та рукояті (рис. 3), будь-якої ширини проходки та глибини копання.

Для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{Tj.C}^{\text{ТЕОР}}$ розроблюваного ТРО зі втягнутими ТС $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$, однією $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$ та двома $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$ виштовхнутими ТС стріли, розіб'ємо поперечний переріз на три геометричні тіла – $V_{1Tj.C}$, $V_{2Tj.C}$ та $V_{3Tj.C}$, та використовуємо метод інтегральних обчислень (табл. 2). $V_{1Tj.C}$,

$V_{2T0.C}$, $V_{3T0.C}$ – об’єми ґрунту при втягнутих ТС $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$, площі поперечних перерізів яких відповідно позначені точками (0, 1, 2, 3), (2, 3, 4) та (0, 4, 5, 7); $V_{1T1.C}$, $V_{2T1.C}$, $V_{3T1.C}$ – об’єми ґрунту при одній виштовхнутій ТС стріли $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$, площі поперечних перерізів яких відповідно позначені точками (0, 8, 9, 10), (9, 10, 11, 12) та (0, 11, 12, 13); $V_{1T2.C}$, $V_{2T2.C}$, $V_{3T2.C}$ – об’єми ґрунту при двох виштовхнутих ТС стріли $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$, площі поперечних перерізів яких відповідно позначені точками (0, 14, 15, 16), (15, 16, 17, 18) та (0, 17, 18, 19) (рис. 3).

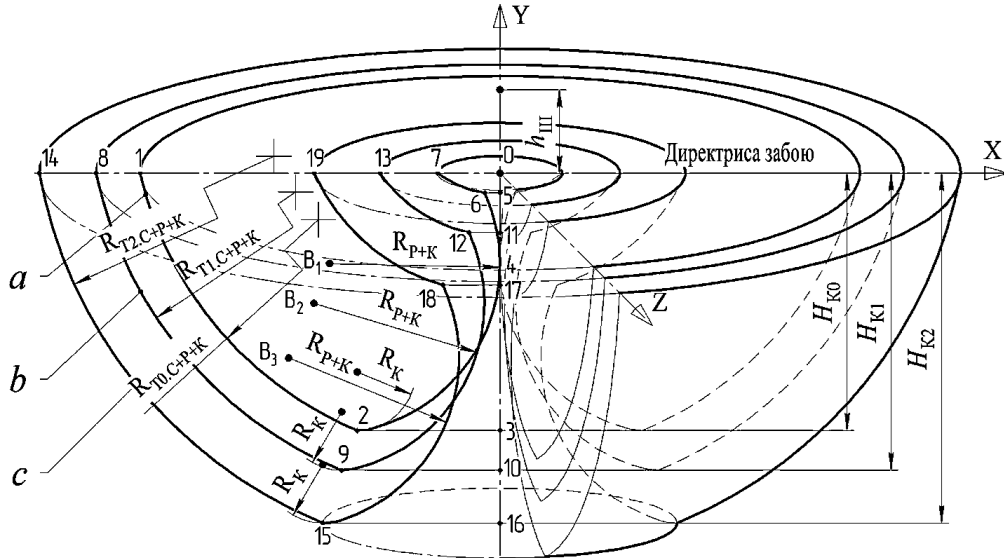


Рис. 3. Просторова схема для визначення теоретичного об’єму копання ґрунту: *a*, *b*, *c* – робочі траєкторії ковша при копанні ТРО з втягнутими ТС, ТРО при одній та двох виштовхнутих ТС стріли, відповідно; $R_{T0.C+P+K}$ – радіус ТРО при втягнутих ТС стріли, $R_{T1.C+P+K}$ – радіус ТРО з однією виштовхнутою ТС стріли, $R_{T2.C+P+K}$ – радіус ТРО з двома виштовхнутими ТС стріли, R_K – радіус ковша, R_{P+K} – радіус рукояті з ківшом; h_{III} – відстань від площини стоянки (директриси забою) до шарніру кріплення стріли; H_{K0} – глибина копання при втягнутих ТС стріли, H_{K1} , H_{K2} – глибини копання ТРО при одній та двох виштовхнутих ТС стріли, відповідно; 1-19 – точки для позначення перетинів робочих траєкторій

Таблиця 2

Математичні моделі для визначення теоретичного об’єму копання ґрунту в піонерному забіі

| Технологічна схема: | | |
|---|--|--|
| $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$ | $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$ | $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$ |
| $V_{T0.C}^{TEOP.} = V_{1T0.C} - (V_{2T0.C} + V_{3T0.C});$ | $V_{T1.C}^{TEOP.} = V_{1T1.C} - (V_{2T1.C} + V_{3T1.C});$ | $V_{T2.C}^{TEOP.} = V_{1T2.C} - (V_{2T2.C} + V_{3T2.C});$ |
| $V_{1T0.C} = \pi \int_{-H_{K0}}^0 [R_{T0.C+P+K}^2 - (h_{III} - y)^2] dy;$ | $V_{1T1.C} = \pi \int_{-H_{K1}}^0 [R_{T1.C+P+K}^2 - (h_{III} - y)^2] dy;$ | $V_{1T2.C} = \pi \int_{-H_{K1}}^0 [R_{T2.C+P+K}^2 - (h_{III} - y)^2] dy;$ |
| $V_{2T0.C} = \pi \int_{-H_{K0}}^{y_6} [x_{B1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B1})^2}]^2 dy;$ | $V_{2T1.C} = \pi \int_{-H_{K1}}^{y_{12}} [x_{B2} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B2})^2}]^2 dy;$ | $V_{2T2.C} = \pi \int_{-H_{K2}}^{y_{18}} [x_{B3} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B3})^2}]^2 dy;$ |
| $V_{3T0.C} = \pi \int_{y_6}^0 [R_6^2 - (y - h_{III})^2] dy;$ | $V_{3T1.C} = \pi \int_{y_{12}}^0 [R_{12}^2 - (y - h_{III})^2] dy;$ | $V_{3T2.C} = \pi \int_{y_{18}}^0 [R_{12}^2 - (y - h_{III})^2] dy.$ |

При подальшій роботі ОГЕ слід розглядати фігури, зображені на рисунку 4, де відстань між точками 7-7', 13-13', 19-19' відповідно дорівнює відстаням переміщення $l_{\text{пер}}$ при роботі ОГЕ зі втягнутими ТС $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$ (рис. 4, а), однією $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$ (рис. 4, б) та двома виштовхнутими ТС $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$ (рис. 4, в) стріли (табл. 3).

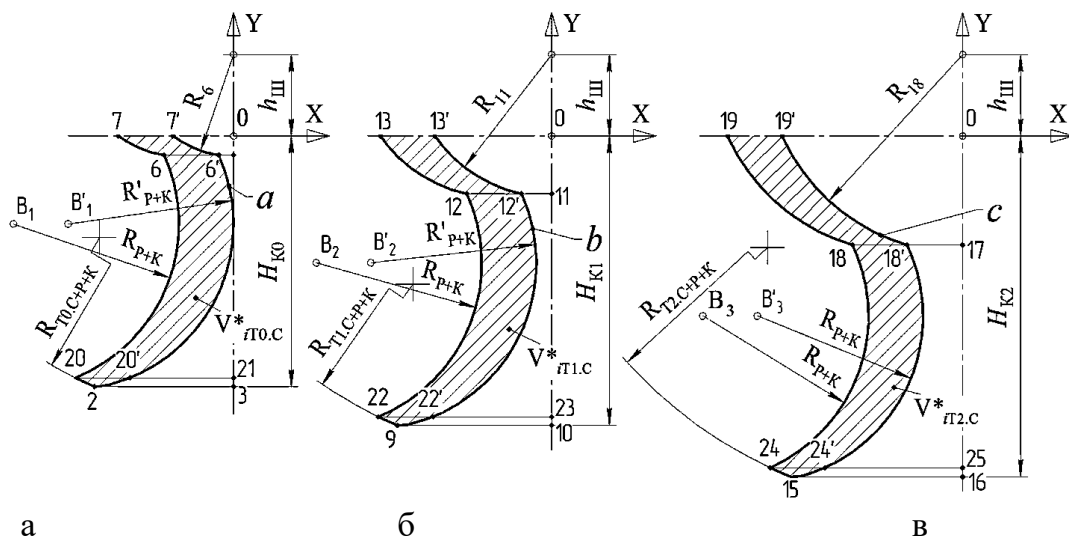


Рис. 4. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту: а – $V_{\text{ТО.С}}^*$; б – $V_{\text{Т1.С}}^*$; в – $V_{\text{Т2.С}}^*$, умовні позначення відповідно до рис. 3

Таблиця 3

Математичні моделі для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту

| Технологічна схема: | | |
|--|--|--|
| $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$ | $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$ | $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$ |
| $V_{\text{ТЕХ.ТО.С}} = V_{\text{ТО.С}}^{\text{ТЕОП.}} + \sum_1^i V_{\text{ТО.С}}^*$ | $V_{\text{ТЕХ.Т1.С}} = V_{\text{Т1.С}}^{\text{ТЕОП.}} + \sum_1^n V_{\text{Т1.С}}^*$ | $V_{\text{ТЕХ.Т2.С}} = V_{\text{Т2.С}}^{\text{ТЕОП.}} + \sum_1^n V_{\text{Т2.С}}^*$ |
| $V_{\text{Т0.С}}^* = x_{20} \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{20}} \right) \cdot$ $\left(\int_{-H_{\text{К0}}}^{y_{20}} [(R_{\text{Т0.С+P+K}}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2) - (x_{B_1} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_1})^2})^2] dy + \int_{y_6}^{y_6} [(x_{B_1} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_1})^2})^2 - (x'_{B_1} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y'_{B_1})^2})^2] dy + \int_{y_6}^0 [(x_6 - \sqrt{R_6^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2})^2 - (R_6^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2)] dy \right);$ | $V_{\text{Т1.С}}^* = x_{22} \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{22}} \right) \cdot$ $\left(\int_{-H_{\text{К1}}}^{y_{22}} [(R_{\text{Т1.С+P+K}}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2) - (x_{B_2} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_2})^2})^2] dy + \int_{y_{12}}^{y_{12}} [(x_{B_2} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_2})^2})^2 - (x'_{B_2} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y'_{B_2})^2})^2] dy + \int_{y_{12}}^0 [(x_{12} - \sqrt{R_{12}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2})^2 - (R_{12}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2)] dy \right);$ | $V_{\text{Т2.С}}^* = x_{24} \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{24}} \right) \cdot$ $\left(\int_{-H_{\text{К2}}}^{y_{24}} [(R_{\text{Т2.С+P+K}}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2) - (x_{B_3} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_3})^2})^2] dy + \int_{y_{18}}^{y_{18}} [(x_{B_3} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_3})^2})^2 - (x'_{B_3} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y'_{B_3})^2})^2] dy + \int_{y_{18}}^0 [(x_{18} - \sqrt{R_{18}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2})^2 - (R_{18}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2)] dy \right);$ |

Об'єм ґрунту при заданій ширині проходки дорівнює:

$$V_{\text{ТЕХ.}}^{\beta} = \frac{V_{\text{Т1.С}}^{\text{ТЕОП.}}}{360^{\circ}} \cdot \beta, \quad (10)$$

де β – кут обертання екскаватора від вісі руху, залежить від ширини проходки B .

3. Оптимізаційна модель для визначення оптимальної товщини вирізаної стружки в умовах забезпечення стійкості та реалізації максимально можливих зусиль на ріжучій кромці ковша $P_{01}^{\Gamma\Pi}$ при копанні ТРО ОГЕ базується на застосуванні методу невизначених множників Лагранжа.

Дотична складова зусилля опору ґрунту копанню P_{01} за умови постійності питомого опору ґрунту в процесі копання $K_{\text{ПТ}} = \text{const}$, яка забезпечується зміною товщини вирізаної стружки:

$$P_{01}^{\Gamma\Pi} \leq P_{01} \leq P_{01}^{\Gamma\Pi}, \quad (11)$$

$$\frac{P_{01}}{b_K K_{\text{ПТ}}} = \sqrt{(Y_{M_1} - Y_M)^2 + (X_{M_1} - X_M)^2}, \quad (12)$$

де $\sqrt{(Y_{M_1} - Y_M)^2 + (X_{M_1} - X_M)^2} = h$ – товщина вирізаної стружки h , яка дорівнює відстані по нормалі в кожній точці M_1 до точки M (рис. 5, 6); b_K – ширина ковша.

Функція Лагранжа в загальному виді для усіх обмежень по товщині стружки, використовуючи невизначені множники:

$$\lambda_1 [M_{\text{УТ}} - f(\Delta\varphi_{1_i})] = 0; \quad (13)$$

$$\lambda_2 [M_{\text{УТ}} - f(\Delta\varphi_{3_j})] = 0; \quad (14)$$

$$\lambda_3 [M_{\text{УТ}} - f(\Delta L_{\text{Т.ЧСк}})] = 0; \quad (15)$$

$$\lambda_4 [M_{\text{УТ}} - f(\Delta L_{\text{Т.Рg}})] = 0; \quad (16)$$

$$\lambda_5 [M_{\text{УТ}} - f(P_{01_{ij}})] = 0. \quad (17)$$

$$\begin{aligned} & \Phi \left(\begin{array}{c} \Delta\varphi_{1_i}, \Delta\varphi_{3_j}, \Delta L_{\text{Т.ЧСк}}, \Delta L_{\text{Т.Рg}}, P_{01_{ij}}, \\ \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5 \end{array} \right) = \\ & = \sum_{i=1}^5 [h(\Delta\varphi_{1_i}, \Delta\varphi_{3_j}, \Delta L_{\text{Т.ЧСк}}, \Delta L_{\text{Т.Рg}}, P_{01_{ij}}) + \lambda_i \omega_i] \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta\varphi_{1_i}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta\varphi_{3_j}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{\text{Т.ЧСк}}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{\text{Т.Рg}}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{01_{ij}}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_5} = 0. \end{array} \right. \quad (19)$$

Копання відбувається по отриманим градієнтним кривим на кожній ділянці m руху точки M через точки екстремуму з умов наповнення ковша.

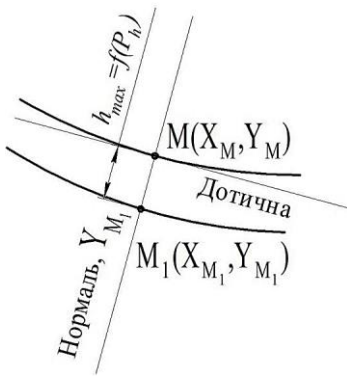


Рис. 5. Схема для визначення максимальної товщини стружки h_{max}

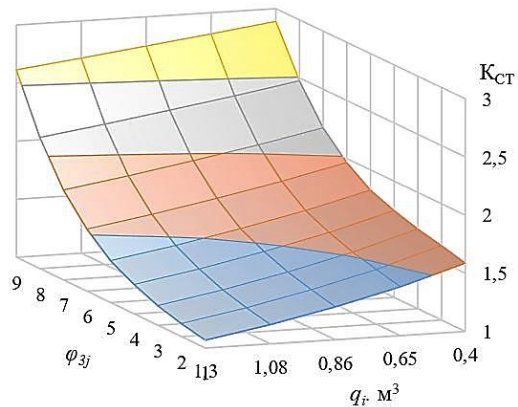


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнту стійкості $K_{\text{ст}}$ від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3_j} та місткості ковша q_i

$$\left(\frac{\tau}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{\tau}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \left(\frac{C_{\text{W}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{C_{\text{W}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \left(\frac{C_{\text{уд.}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{C_{\text{уд.}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \left(\frac{v^2}{g \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{v^2}{g \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \rho_{\text{М}} = \rho_{\text{Н}}; \quad (20)$$

$$\delta_{\text{М}} = \delta_{\text{Н}}; \alpha_{i(\text{М})} = \alpha_{i(\text{Н})}; \left(\frac{l_i}{l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{l_i}{l}\right)_{\text{Н}},$$

де τ – опір ґрунту зсуву; γ_{Γ} – щільність ґрунту; C_{W} – зчеплення ґрунту; $C_{\text{уд.}}$ – число ударів ударника; ρ – кут внутрішнього тертя; δ – кут зовнішнього тертя; l_i – деякий лінійний параметр ТРО; l – визначальний лінійний розмір РО; α_i – кути, які визначають геометрію ТРО.

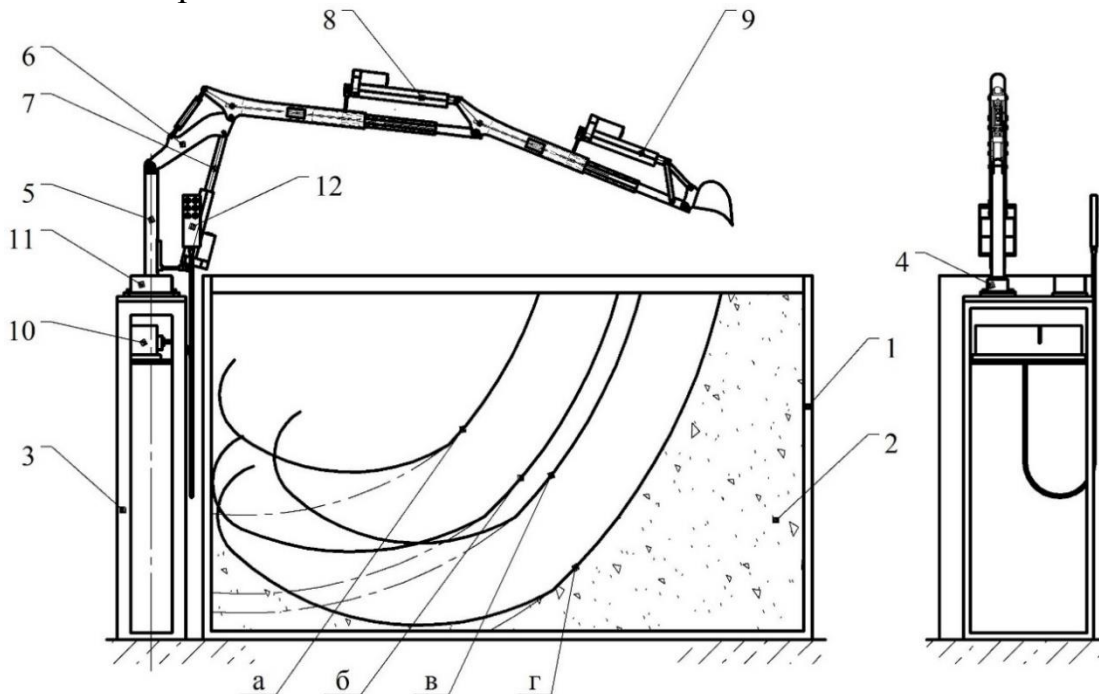


Рис. 8. Стенд для експериментальних досліджень моделі ТРО ОГЕ: а, б, в, г – траєкторії копання; 1 – ґрунтовий контейнер; 2 – модельований ґрунт; 3 – рама; 4 – поворотний механізм; 5 – поворотна колонка; 6 – модель ТРО ОГЕ; 7, 8, 9 – лінійні приводи; 10 – блок живлення; 11 – вимірювальна апаратура; 12 – пульт керування

Таблиця 4.

Рівні варіювання факторів

| Фактори | Код. знач. | Рівні варіації | | | | | Інт. вар. |
|---|------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | |
| $L_{\text{т.чс}}$ – довжина телескопічної частини стріли, м | X_1 | 0.432 | 0.504 | 0.576 | 0.648 | 0.720 | 0.072 |
| $L_{\text{т.р}}$ – довжина телескопічної рукояті, м | X_2 | 0.360 | 0.420 | 0.480 | 0.540 | 0.600 | 0.06 |
| $b_{\text{ков}}$ – ширина ріжучої кромки ковша, м | X_3 | 0.060 | 0.080 | 0.100 | 0.120 | 0.140 | 0.02 |
| $h_{\text{стр}}$ – товщина стружки, м | X_4 | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.025 | 0.030 | 0.005 |

В четвертому розділі «Результати теоретичних та експериментальних досліджень робочих процесів ТРО ОГЕ» представлені результати:

1. Теоретичних досліджень по оцінці ефективності на прикладі універсального ОГЕ, IV розмірної групи фірми *Hitachi* – ZX 290LC оснащеного ТРО (рис.11 – 16).

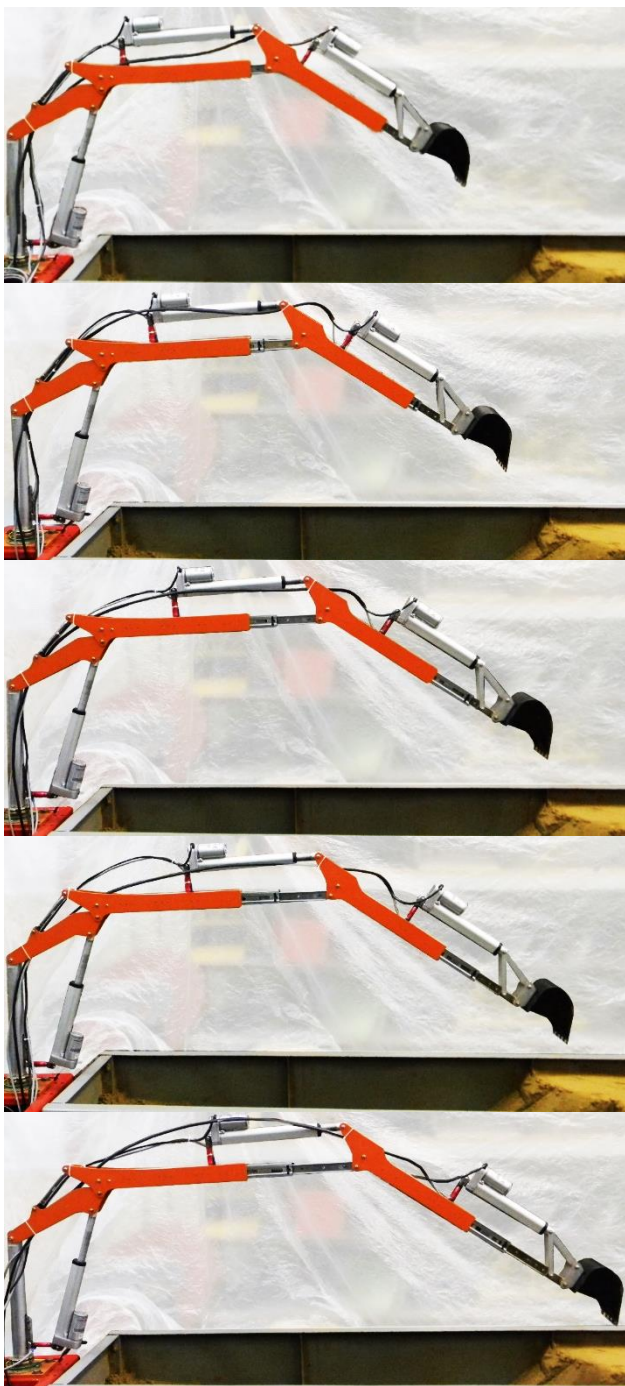


Рис. 9. Модель ТРО ОГЕ при різних варіаціях виштовхування ТС стріли та рукояті



$b_{\text{КОВ}}=0.14 \text{ м}, q=1.3 \text{ дм}^3$



$b_{\text{КОВ}}=0.12 \text{ м}, q=1.08 \text{ дм}^3$



$b_{\text{КОВ}}=0.1 \text{ м}, q=0.86 \text{ дм}^3$



$b_{\text{КОВ}}=0.08 \text{ м}, q=0.65 \text{ дм}^3$



$b_{\text{КОВ}}=0.06 \text{ м}, q=0.44 \text{ дм}^3$

а б

Рис. 10. Досліджувані моделі ковшів: а – 3-D схема; б – фото

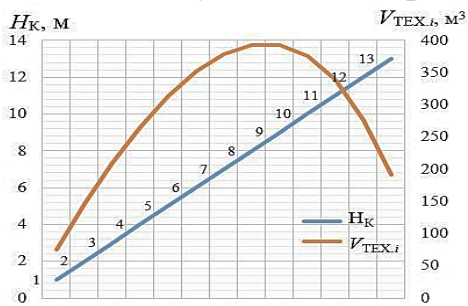


Рис. 11. Графік залежності об'єму ґрунту $V_{\text{ТЕХ.і}}$ від глибини копання $H_{\text{К}}$

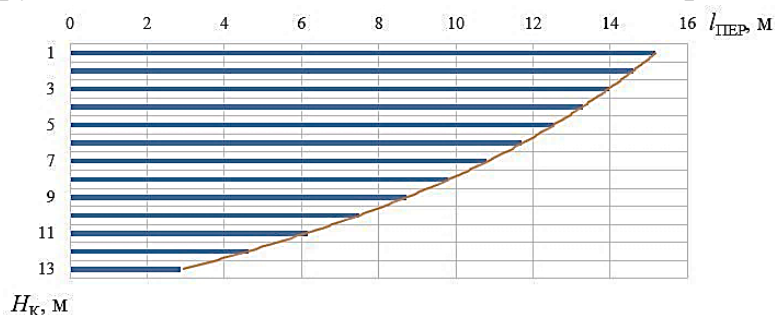
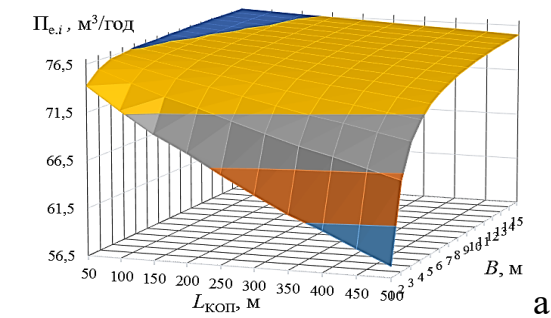
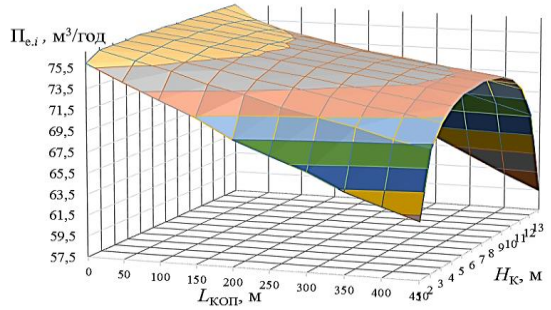


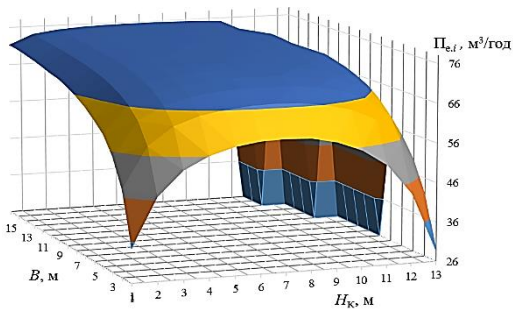
Рис. 12. Графік залежності відстані одного переміщення $l_{\text{ПЕР}}$ від глибини копання $H_{\text{К}}$



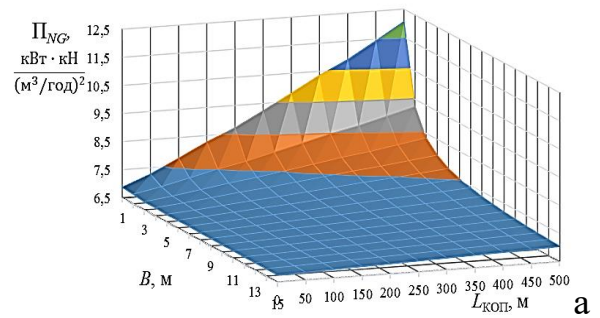
а



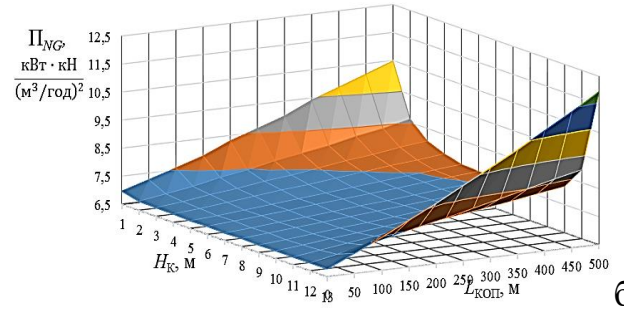
б



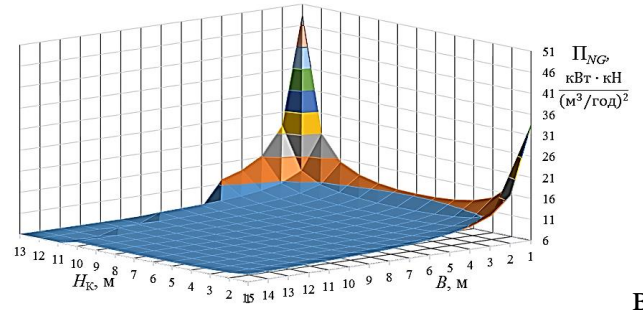
в



а



б



в

Рис. 13. Графіки зміни експлуатаційної продуктивності $\Pi_{e,i}$ від: а – довжини проходки $L_{КОП}$ та ширини проходки B ; б – довжини проходки $L_{КОП}$ та глибини копання H_K ; в – глибини копання та H_K ширини проходки B

Рис. 14. Графіки зміни узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності Π_{NG} від: а – довжини проходки $L_{КОП}$ та ширини проходки B ; б – $L_{КОП}$ та глибини копання H_K ; в – H_K та ширини проходки B

Аналіз узагальнених показників енергоємності та матеріалоємності показує, що оптимальне рішення по формуванню технологічної схеми по ступеню економії енергетичних і матеріальних витрат знаходиться в межах застосування ТРО ОГЕ у порівнянні із традиційними структурами РО ОГЕ. Окрім цього очевидно є перевага застосування ТС в стрілі у порівнянні з ТС рукояті: $H(R)_{NG_{A_2^1 B_2^0}} < H(R)_{NG_{A_2^0 B_2^1}}$, $H(R)_{NG_{A_2^2 B_2^0}} < H(R)_{NG_{A_2^0 B_2^2}}$, $H(R)_{NG_{A_2^2 B_2^1}} < H(R)_{NG_{A_2^1 B_2^2}}$.

2. Експериментальних досліджень. Після обробки осцилограм, отриманих на основі плану експерименту, сформовано числовий масив даних для функцій відгуку P_{01} , $F_{ЛП.ТР}$, $m_{ГР}$ (рис. 16).

Математична обробка результатів дозволила отримати регресійні моделі:

- середньої дотичної складової опору ґрунту копанню $P_{01} = f(L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р}, b_K, h_{СТР}$

$$P_{01} = 190,957 - 6,02449 \cdot L_{Т.ЧС} - 749,235 \cdot L_{Т.Р} + 6,79474 \cdot b_K + 1929,46 \cdot h_{СТР} - 2,63521 \cdot L_{Т.ЧС}^2 + 119,246 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot L_{Т.Р} - 103,974 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot b_K - 908,724 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot h_{СТР} + 901,032 \cdot L_{Т.Р}^2 - 527,06 \cdot L_{Т.Р} \cdot b_K - 1389,47 \cdot L_{Т.Р} \cdot h_{СТР} + 4932,58 \cdot b_K^2 - 18001,2 \cdot b_K \cdot h_{СТР} + 64753,1 \cdot h_{СТР}^2; \quad (21)$$

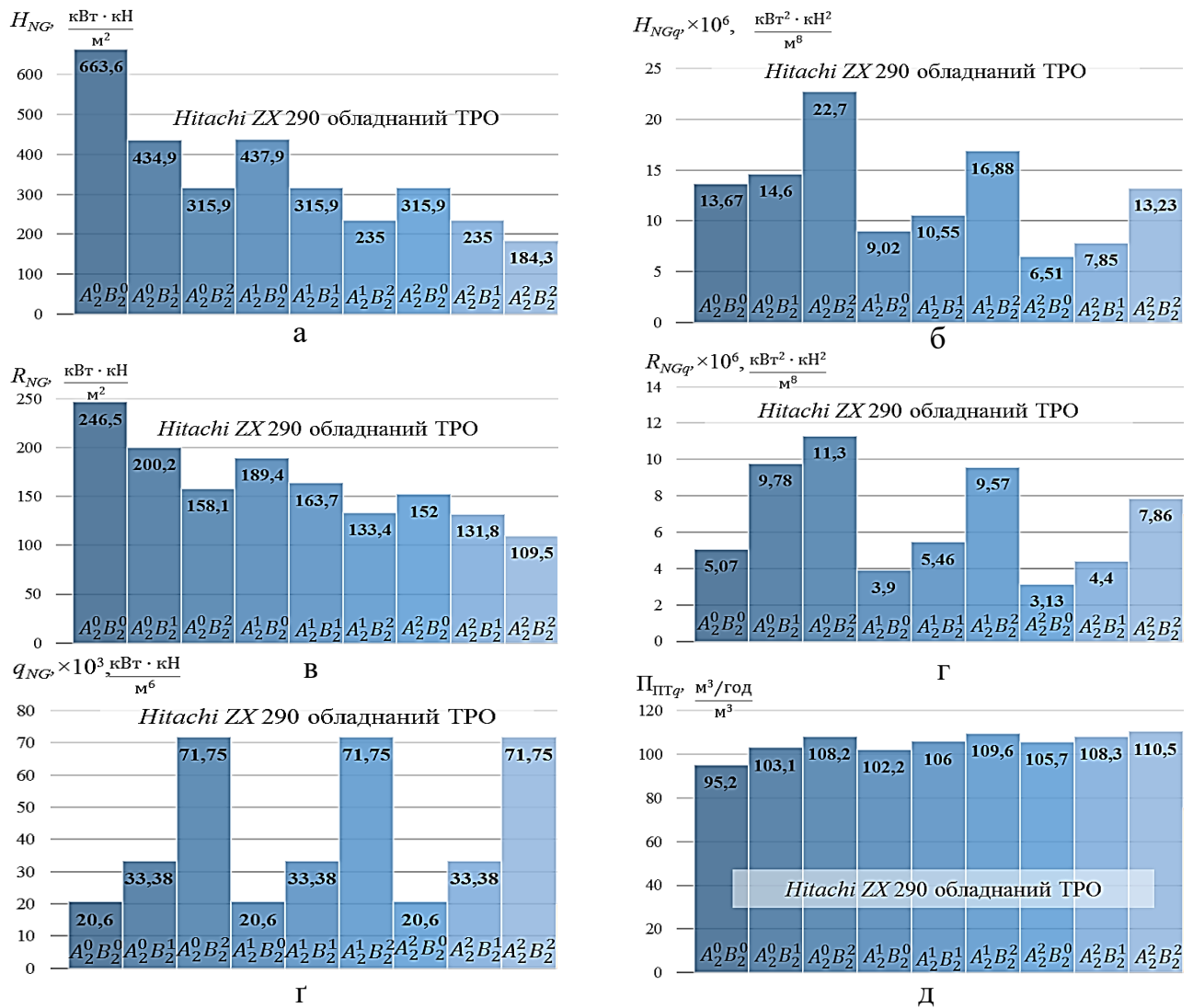


Рис. 15. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ узагальнених показників: а – енергоємності та матеріалоємності по глибині копання; б – економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша; в – енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання; г – економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша; г – узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша; д – питомої продуктивності по місткості ковша

- середнього активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{ЛП.Т.Р} = f(L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р}, b_K, h_{СТР})$

$$F_{ЛП.Т.Р} = 4015,08 - 1649,79 \cdot L_{Т.ЧС} - 11803,1 \cdot L_{Т.Р} - 3903,01 \cdot b_K - 48094,6 \cdot h_{СТР} + 346,259 \cdot L_{Т.ЧС}^2 + 3071,04 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot L_{Т.Р} + 2388,09 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot b_K + 15751,0 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot h_{СТР} + 10030,5 \cdot L_{Т.Р}^2 - 662,896 \cdot L_{Т.Р} \cdot b_K + 65252,6 \cdot L_{Т.Р} \cdot h_{СТР} + 46066,3 \cdot b_K^2 - 75142,7 \cdot b_K \cdot h_{СТР} + 740082,0 \cdot h_{СТР}^2; \quad (22)$$

- рівняння середньої маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р}, b_K, h_{СТР})$

$$m_{ГР} = -7,50635 + 6,66956 \cdot L_{Т.ЧС} + 14,7396 \cdot L_{Т.Р} + 60,8646 \cdot b_K - 29,8333 \cdot h_{СТР} - 14,9699 \cdot L_{Т.ЧС}^2 + 7,95718 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot L_{Т.Р} + 15,191 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot b_K + 256,944 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot h_{СТР} - 20,1678 \cdot L_{Т.Р}^2 - 4,6875 \cdot L_{Т.Р} \cdot b_K + 79,1667 \cdot L_{Т.Р} \cdot h_{СТР} - 256,51 \cdot b_K^2 + 150,0 \cdot b_K \cdot h_{СТР} - 3404,17 \cdot h_{СТР}^2. \quad (23)$$

Графічні інтерпретації отриманих результатів представлені на рисунку 16 у вигляді поверхонь відгуку.

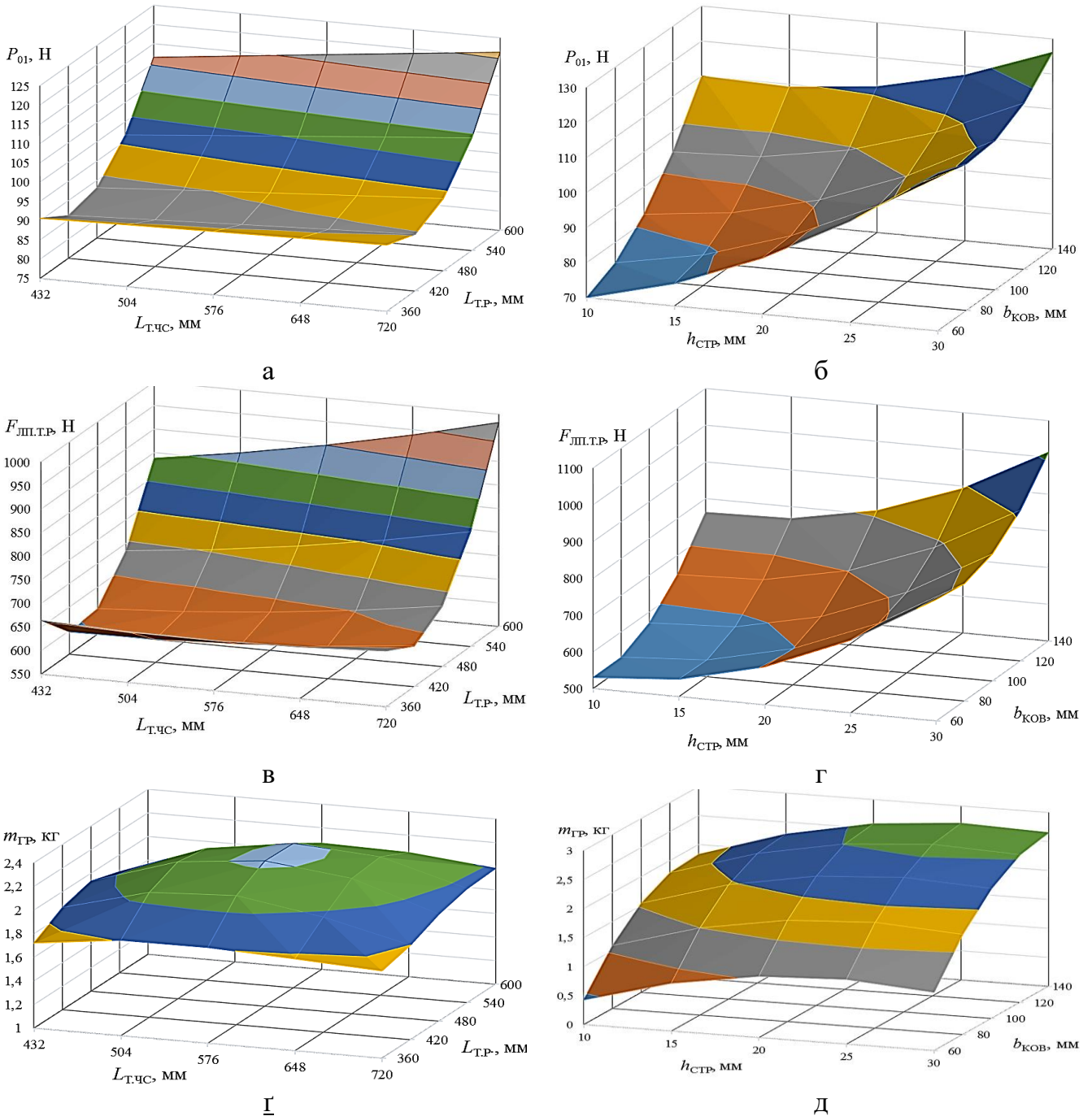


Рис. 16. Поверхні відгуку: а – дотичної складової опору ґрунту копанню $P_{01} = f(L_{т.чс}, L_{т.р})$: $b_{к} = 100$ мм, $h_{стр} = 20$ мм; б – дотичної складової опору ґрунту копанню $P_{01} = f(h_{стр}, b_{к})$: $L_{т.чс} = 576$ мм, $L_{т.р} = 480$ мм; в – активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{лп.т.р} = f(L_{т.чс}, L_{т.р})$: $b_{к} = 100$ мм, $h_{стр} = 20$ мм; г – активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{лп.т.р} = f(b_{к}, h_{стр})$: $L_{т.чс} = 576$ мм, $L_{т.р} = 480$ мм; д – маси розробленого ґрунту в ківші $m_{гр} = f(L_{т.чс}, L_{т.р})$: $b_{к} = 100$ мм, $h_{стр} = 20$ мм; е – маси розробленого ґрунту в ківші $m_{гр} = f(b_{к}, h_{стр})$: $L_{т.чс} = 576$ мм, $L_{т.р} = 480$ мм

На конструктивну пропозицію автора отримано патент на корисну модель №70686 «ТРО ОГЕ з телескопічною рукояттю» (рис. 17)

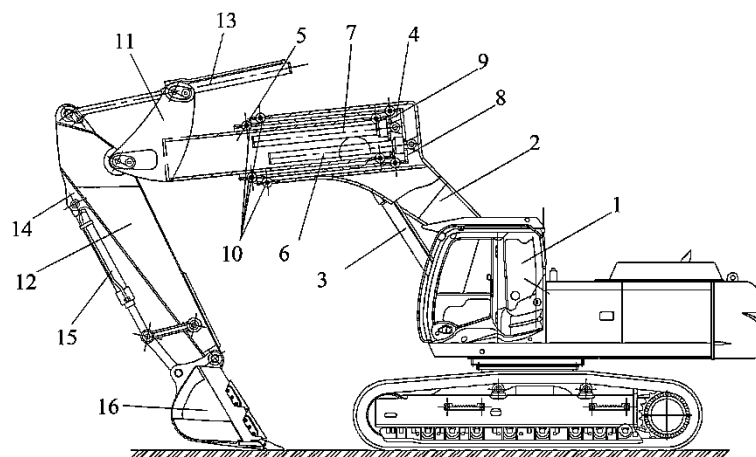


Рис. 17. ТРО ОГЕ конструкції автора, патент №70686: 1 – базовий трактор; 2 – стріла; 3, 6, 7, 13, 15 – гідроциліндри; 4, 5 – ТС; 8, 9 – торцеві перегородки; 10 – роликові опорні елементи; 12 – рукоять; 14 – кронштейн; 16 – ківш

ВИСНОВКИ

1. Аналіз науково-технічних та патентних рішень по конструкціях ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками показав, що найбільш перспективним напрямом розширення технологічних можливостей РО ОГЕ є ТРО.

2. Вперше отримано модель формування ТРО ОГЕ, яка дозволила отримати 2197 коректних поєднань з традиційних та телескопічних елементів у нові структури РО, які включають всі фізично можливі комбінації як кінематичних, так і 49 технологічних схем та виключає фізично неможливі комбінації.

3. Система показників для оцінки ефективності нових конструктивних рішень набула подальшого розвитку та доповнена комплексом показників, встановлено закон зміни експлуатаційної продуктивності в залежності від об'єму розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення в якому враховується вплив зміни геометричних параметрів пов'язаних із застосуванням ТРО ОГЕ, розрахунки по оцінці ефективності проводились з використанням програми для ПК *Microsoft EXEL*.

4. Вперше отримано математичні моделі для інтегральних розрахунків теоретичного об'єму копання ґрунту ТРО ОГЕ, як в періоді одного переміщення (піонерного забою), так і забоїв при подальшому копанні ґрунту, отримані моделі дозволяють визначати об'єм розроблюваного ґрунту при будь-якій ширині проходки ОГЕ та будь-якій глибині копання H_k (різноманітних телескопічних системах стріли чи рукояті), розрахунки по визначенню об'єму розроблюваного ґрунту проводились з використанням програм для ПК *MathCAD* та *Microsoft EXEL*.

5. Вперше отримано математичні моделі для визначення зусиль та товщини вирізаної стружки при копанні ТРО ОГЕ, які дозволили досягнути моделювання заданою категорії ґрунту підтриманням постійного значення питомого опору копанню ґрунту через регулювання товщини ґрунтової стружки з умов стійкості та максимально можливого зусилля P_{01} , за якими побудовані оптимізаційні графіки для руху по градієнтній траєкторії з розрахунковою товщиною ґрунтової стружки.

6. Багатофакторні експериментальні дослідження проведені з використанням рототабельного центрального композиційного плану другого порядку дозволили отримати за допомогою програми для ПК *STATGRAPHICS Centurion XVI* регресійні

залежності дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} , активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ДП.Т.Р}}$ та маси розробленого ґрунту в ківші $m_{\text{ГР}}$ при розробці ґрунту фізичною моделлю ТРО ОҒЕ з розбіжністю між теоретичними та експериментальними значеннями силових та енергетичних параметрів робочого процесу розробки ґрунту ТРО ОҒЕ не перевищує $6.8 \div 16.3\%$;

7. Вперше визначені раціональні межі основних геометричних параметрів ТРО від головного параметра ОҒЕ, серед яких: довжина нижньої частини стріли; довжина телескопічної частини стріли; довжина телескопічної рукояті; радіус та глибина копання; технологічні та конструктивні кути, а також визначені типорозміри ковшів для усіх можливих варіацій висування втягування ТС ТРО ОҒЕ.

8. На основі техніко-економічної оцінки ефективності за розробленою системою показників було встановлено, що оптимальне значення за умов раціоналізації та оптимізації знаходиться у межах застосування ТРО ОҒЕ, при застосуванні *Hitachi ZX 290* обладнаного ТРО у порівнянні з основними моделями ОҒЕ IV розмірної групи, а також переваги телескопування стріли перед телескопуванням рукояті, та можливість отримання економічного ефекту у розмірі 380565.09 грн.

9. Підтверджена робоча гіпотеза про розширення технологічних параметрів та збільшення продуктивності і покращення техніко-економічних при конструктивному телескопуванні робочого обладнання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Хмара Л. А. Визначення теоретичного об'єму копання ґрунту одноківшеvim екскаватором з телескопічним робочим обладнанням / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – Вып. 66 – С. 38 – 49

2. Хмара Л. А. Телескопическое рабочее оборудование гидравлического экскаватора оценка его эффективности / Хмара Л. А., Дахно О. А. // Строительные и дорожные машины. – М.: ооо «СДМ-Пресс», 2013. – №11. – С. 8 – 11.

3. Хмара Л. А. Оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора та визначення продуктивності / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – Вып. 65-66. – С. 263-272.

4. Хмара Л. А. Тенденції розвитку робочого обладнання гідравлічних екскаваторів зі змінними геометричними параметрами / Хмара Л. А., Дахно О. О., Романовський О. Л. // Вісник НУВГтП. – Рівне: НУВГтП, 2015. – №2 (70) – С. 433 – 448.

5. Хмара Л. А. Исследование на физических моделях процесса копания ґрунта одноковшовым экскаватором с телескопическим рабочим оборудованием / Хмара Л. А., Дахно О. А. // Строительные и дорожные машины. – М.: ооо «СДМ-Пресс», 2015. – №6. – С. 37 – 43.

6. Хмара Л. А. Теоретичні основи копання ґрунту одноківшеvim екскаватором із телескопічним робочим обладнанням / Хмара Л. А., Баєв С. В., Дахно О. О. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ДВНЗ ПДАБА, 2015. – №5. – С. 51-65.

7. Хмара Л. А. Теоретические основы формирования телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора / Хмара Л. А.,

Дахно О. А. // Строительные и дорожные машины. – М.: ооо «СДМ-Пресс», 2015. – №12 – С. 44 – 50.

8. Дахно О. О. Енергетична оптимізація процесу копання ґрунту одноківшевим екскаватором, оснащеним телескопічним робочим обладнанням / Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. – Вып. 88 – С. 50 – 58.

9. Хмара Л. А. Формирование телескопического рабочего оборудования одноковшового экскаватора как задача дискретной оптимизации / Хмара Л. А., Дахно О. А. // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Международная научно-практическая конференция (Красноярск, 7 – 8 апреля 2016 г.): сб. науч. тр.: в 2 ч. Ч. 2 – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 330 – 343.

АНОТАЦІЯ

Дахно О. О. Підвищення ефективності одноківшевого гідравлічного екскаватора створенням телескопічного робочого обладнання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних наук – Вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню важливої наукової задачі, яка полягає у підвищенні ефективності ОґЕ оснащенням ТРО.

На основі виконаних у роботі досліджень встановлено, що найбільш перспективним способом розширення технологічних параметрів та збільшення продуктивності і покращення техніко-економічних показників ОґЕ є конструктивне телескопування елементів РО, а саме стріли та рукояті.

Наведені математичні моделі по формуванню ТРО, оцінці ефективності та оптимізації товщини вирізаної стружки в умовах забезпечення стійкості та реалізації максимально можливих зусиль на ріжучій кромці ковша при копанні ТРО.

У роботі проведені багатофакторні експерименти по дослідженню процесу взаємодії ТРО ОґЕ з ґрунтом.

Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями дотичної складової опору ґрунту копання не перевищують 16.5%.

Виконано оцінку техніко-економічної ефективності ТРО ОґЕ.

Ключові слова. екскаватор, телескопічне робоче обладнання, формування, оцінка ефективності, копання, математична модель, експериментальні дослідження.

АННОТАЦИЯ

Дахно О. А. Повышение эффективности одноковшового гидравлического экскаватора созданием телескопического рабочего оборудования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 – машины для земляных, дорожных и лесотехнических работ

– Высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», Днепро, 2016.

Диссертация посвящена решению важной научной задачи, которая заключается в повышении эффективности ОГЭ оснащением ТРО.

На основе выполненных в работе исследований установлено, что наиболее перспективным способом расширения технологических параметров и повышения производительности и улучшения технико-экономических показателей ОГЭ является конструктивное телескопирование элементов РО, а именно стрелы и рукояти.

Приведены математические модели по формированию ТРО, оценке эффективности и оптимизации толщины вырезанной стружки в условиях обеспечения устойчивости и реализации максимально возможного усилия на режущей кромке ковша при копании ТРО.

В работе проведены многофакторные эксперименты по исследованию процесса взаимодействия ТРО ОГЭ с грунтом.

Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями касательной составляющей сопротивления грунта копанию не превышает 16.5%.

Выполнена оценка технико-экономической эффективности ТРО ОГЭ.

Ключевые слова. экскаватор, телескопическое рабочее оборудование, формирование, оценка эффективности, копание, математическая модель, экспериментальные исследования.

SUMMARY

Dakhno O. O. Improving efficiency of hydraulic excavator creating of telescopic working equipment. – The manuscript.

A thesis for scientific degree of candidate technical of specialty 05.05.04 - machines for earthworks, road and forest technical works - State Higher Educational Establishment "Pridnirovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture," Dnipro 2016.

The thesis is devoted to solving important scientific task, which is to increase the efficiency of excavator equipping by telescopic working equipment.

Based on the work performed in the study found that the most promising way to expand technical parameters, increase productivity, improve technical and economic indicators are constructive telescoping excavator working equipment elements such as boom and handle.

The mathematical model for the formation of of telescopic working equipment, estimation of efficiency and optimization of thickness chip carved in conditions providing stability and implementing maximum effort on the cutting edge of the bucket when digging work telescopic equipment.

The work conducted multifactor experiments on research of the interaction of telescopic excavator working equipment with soil.

The discrepancy between theoretical and experimental values of resistance component of tangent digging the soil does not exceed 16.5%.

The estimation of technical and economic efficiency of telescopic excavator working equipment.

Keywords: excavators, telescopic working equipment, forming, evaluating the effectiveness, digging, mathematical model, experimental research.

Підп. до друку 25.11.2016 р. Формат 60×84^{1/16}
Папір письмов. Гарнітура Times. Друк RISO.
Умовн. друк. арк. 0,9
Тираж 100 пр. Зам. №64

ЛКРТ ДВНЗ «Придніпровської державної академії
будівництва та архітектури»
49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського 24-а