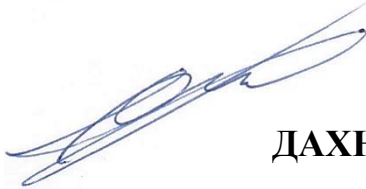


Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

На правах рукопису



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

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук



Науковий керівник:

Хмара Л.А.

доктор технічних наук, професор

Дніпро 2016 р.

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ РО ОГЕ ЗІ ЗМІННИМИ ГЕОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	11
1.1. Умови та перспективні напрями розширення геометричних характеристик РО ОГЕ.....	11
1.2. Огляд та аналіз конструкцій РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками.....	12
1.3. Огляд конструкцій телескопічних стріл екскаваторів.....	27
1.4. Огляд змінних робочих органів ОГЕ, оснащених ТРО.....	29
1.5. Огляд досліджень для розрахунку та проектування РО ОГЕ.....	31
1.5.1. Визначення раціональних параметрів гідромеханізмів РО ОГЕ.....	31
1.5.2. Огляд досліджень по визначенню просторового позиціонування РО маніпуляторного типу.....	34
1.5.3. Огляд теорій різання і досліджень процесу взаємодії з грунтом ковшів ОГЕ.....	35
1.5.4. Визначення дотичних зусиль на ріжучій кромці ковша ОГЕ	38
1.5.5. Методи формування нових технічних рішень.....	39
Висновки по розділу 1.....	41
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТРО ОГЕ.....	44
2.1. Формування ТРО ОГЕ.....	44
2.2. Визначення продуктивності та оцінка ефективності ТРО ОГЕ.....	57
2.3. Визначення координат просторового позиціонування	

елементів ТРО ОГЕ.....	67
2.4. Теоретичне визначення об'єму копання ґрунту ТРО ОГЕ.....	69
2.5. Визначення оптимальної товщини вирізаної стружки при копанні ТРО ОГЕ.....	79
Висновки по розділу 2.....	89
РОЗДІЛ 3. СТЕНДОВЕ ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	92
3.1. Мета і задачі експериментальних досліджень, умови фізичного моделювання процесу взаємодії ТРО ОГЕ з ґрунтовим середовищем.....	92
3.2. Стендове обладнання для моделювання процесів взаємодії з ґрунтом ковша ТРО ОГЕ.....	96
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень, параметри моделей та планування експерименту.....	105
Висновки по розділу 3.....	120
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТРО ОГЕ.....	121
4.1. Результати теоретичних досліджень по оцінці ефективності ТРО ОГЕ та їх аналіз.....	121
4.2. Обробка та аналіз отриманих експериментальних даних.....	144
4.3. Вибір і призначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ.....	157
4.4. Конструктивні пропозиції автора по створенню ТРО ОГЕ.....	160
Висновки по розділу 4.....	163
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИСНОВКИ.....	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	168
ДОДАТКИ.....	181

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОГЕ	Однокішшевий гідравлічний екскаватор
РО	Робоче обладнання
ТРО	Телескопічне робоче обладнання
ТС	Телескопічна секція

ВСТУП

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 [1, 2].

Найбільш поширеною і часто використовуваною будівельною технікою є ОґЕ. Одним із основних напрямів удосконалення ОґЕ є збільшення продуктивності, зниження енерговитрат на розробку ґрунту, розвиток і створення нових конструкцій 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 ТРО, а саме телескопічними стрілою та рукояттю, підвищення надійності і довговічності цих конструкцій [3].

Перспективним напрямком розвитку землерийної техніки є ТРО ОґЕ, 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 ОґЕ. При цьому, ТРО ОґЕ 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 [3, 4, 5].

Із цього виходить, що науковий пошук, створення, дослідження та визначення раціональних конструктивних параметрів ТРО ОґЕ 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», держреєстрація №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 оптимізаційну 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 для експериментальних досліджень моделі ТРО ОГЕ, фізичну модель ТРО ОГЕ та параметричний ряд фізичних моделей ковшів;

- розробити методіку багатofакторних експериментальних досліджень;

- провести багатofакторні експериментальні дослідження залежностей дотичної складової опору ґрунту копанню, активного зусилля на лінійному

приводі рукояті та масі відриного ґрунту від геометричних параметрів ТРО, ширини ріжучої кромки ковшів та режимів копання ґрунту;

- розробити практичні рекомендації по обґрунтуванню раціональних параметрів ТРО ОґЕ.

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

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

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 ОґЕ з ґрунтом. Експериментальна частина роботи містить наближене фізичне моделювання процесу копання ґрунту фізичною моделлю ТРО ОґЕ, 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 ОґЕ, 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 ОґЕ, 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 ОґЕ;

- вперше розроблені математичні моделі для інтегральних розрахунків теоретичного об'єму копання ґрунту ТРО ОґЕ, 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 ОґЕ;

- розроблено багатофакторні експериментальні регресійні моделі процесу взаємодії із ґрунтовим середовищем ТРО ОґЕ, в яких враховано: геометричні параметри ТС стріли та ТС рукояті, ширину ріжучої кромки ковша та товщину вирізаної ґрунтової стружки;

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

Практичне значення результатів визначається: розробленою методикою визначення раціональних конструктивних параметрів ТС ТРО ОґЕ, технологічних схем застосування ТРО ОґЕ, системою показників для оцінки ефективності застосування ОґЕ, 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 дипломному проектуванні по спеціальності 7.050503 «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини і обладнання»; отримано патенти України на корисну модель ТРО

ОГЕ; методи визначення продуктивності та оцінки ефективності впроваджені у планування виконання робіт по будівництву ґрунтових споруд на підприємстві ТОВ «Укргідробудпроект»; впровадження в експлуатацію ОГЕ, оснащеного ТРО в діяльність 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, 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 ОГЕ, які дозволяють отримувати коректні поєднання з традиційних та телескопічних елементів у нові структури РО;
- закон зміни експлуатаційної продуктивності в залежності від зміни об'єму розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОГЕ, який враховує конструктивні параметри ТРО;
- показники для оцінки ефективності ТРО ОГЕ, які враховують геометричні параметри ТРО та об'єм розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОГЕ;
- математичні моделі по теоретичному визначенню об'єму розроблюваного ґрунту в забої в періоді одного переміщення ОГЕ;
- 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;
- розробка та побудова моделі ТРО ОГЕ та стенду для експериментальних досліджень;
- результати експериментальних досліджень процесу копання ґрунту фізичною моделлю ТРО ОГЕ;

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

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 Юрія 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 30 працях, 18 з яких опубліковано у фахових виданнях України, 7 – у закордонних фахових виданнях, 5 – патентів України на корисну модель.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ РО ОГЕ ЗІ ЗМІННИМИ ГЕОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

1.1. Умови та перспективні напрями розширення геометричних характеристик РО ОГЕ

Розвиток та вдосконалення сучасного РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками відбувається в декількох напрямках: традиційні способи зміни геометричних параметрів РО, створення вузькоспеціалізованого високоефективного РО та створення багатоцільового РО, яке дозволяє змінювати геометричні параметри під різноманітні технологічні вимоги супутніх робіт одним РО без його додаткового налаштування (рисунок 1.1) [4, 5].

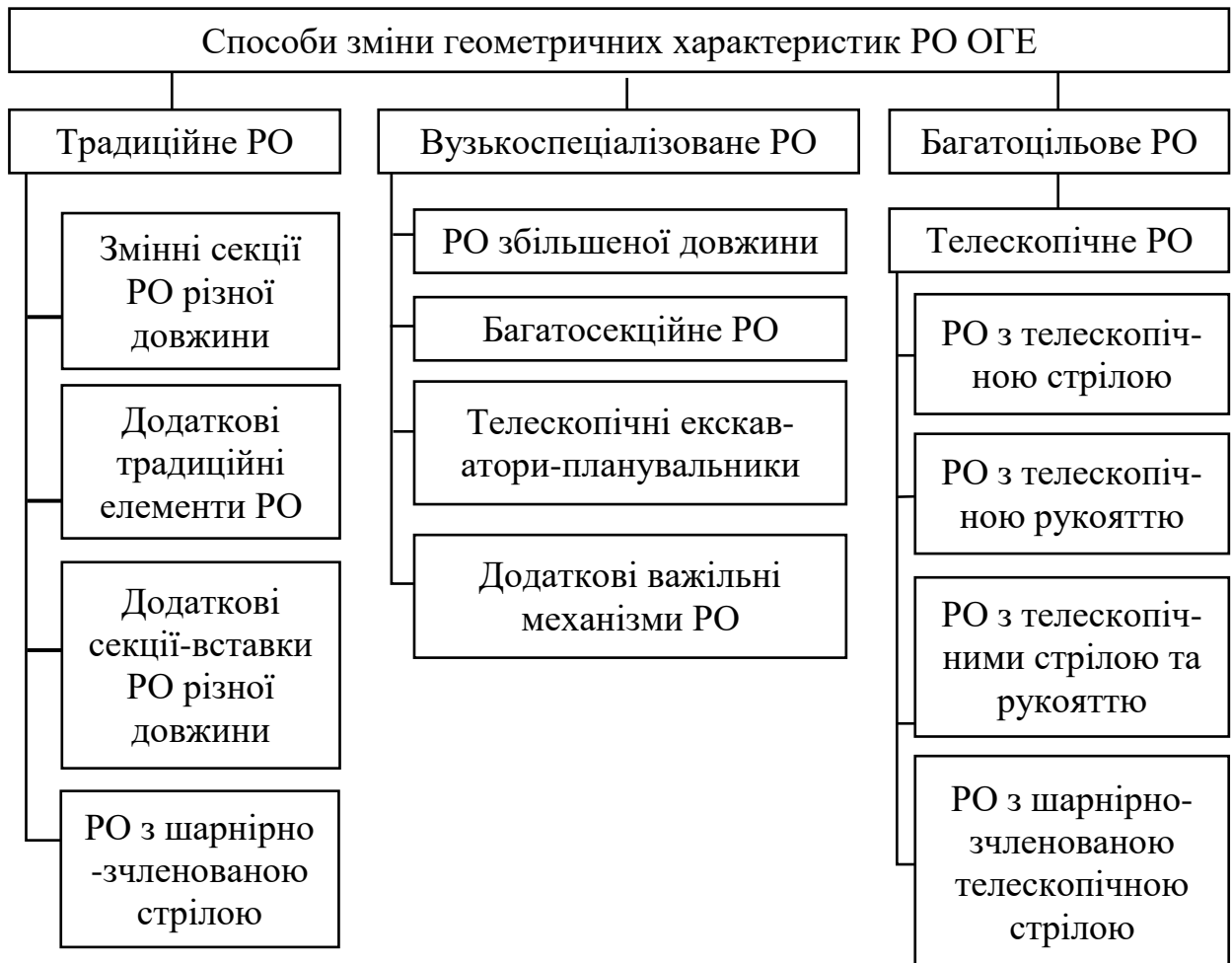


Рис. 1.1. Тенденції розвитку та вдосконалення РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками

До традиційних способів зміни геометричних параметрів РО можна віднести: застосування змінних секцій робочого обладнання (наприклад, використання рукоятей різної довжини), застосування додаткових традиційних елементів (наприклад, додаткові рукояті), застосування додаткових секцій-вставок для стріли та рукояті різної довжини, РО з шарнірно-зчленованою стрілою, але це має низку недоліків – трудомісткість заміни однієї секції РО іншою, ступінчата зміна геометричних параметрів.

До вузькоспеціалізованих машин зі змінними геометричними характеристиками обладнання можна віднести ОГЕ, оснащені наступним РО: екскаватори зі збільшеними параметрами РО; багатосекційним РО, екскаватори-планувальники з телескопічною стрілою, а до багатоцільового РО, – в якому для зміни геометричних характеристик використовуються телескопічні механізми, а саме, телескопічні стріла і рукоять, а також РО з шарнірно-зчленованою двосекційною стрілою, верхня частина якої, обладнана телескопічними механізмами.

1.2. Огляд та аналіз конструкцій РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками

Відомі технічні рішення, в яких для розширення геометричних параметрів та розширення робочої зони та зони обслуговування екскаватора, застосовуються **додаткові традиційні елементи** (наприклад, додаткові рукояті) та різноманітні нові елементи. Синтез таких традиційних та нових елементів дозволяє отримувати нові конструкції РО з новими технічними та технологічними властивостями [6, 7, 8].

Так фірма *New Holland* пропонує моделі екскаваторів, оснащених новими видами РО, в якому для розширення робочої зони застосовуються додаткові рукояті традиційної конструкції (рисунок 1.2). РО такої конструкції дозволяє збільшити ступінь рухомості у порівнянні з традиційними конструкціями РО та обладнання збільшеної довжини. Фірма пропонує оснащувати ОГЕ з традиційним РО до трьох додаткових рукоятей [6].

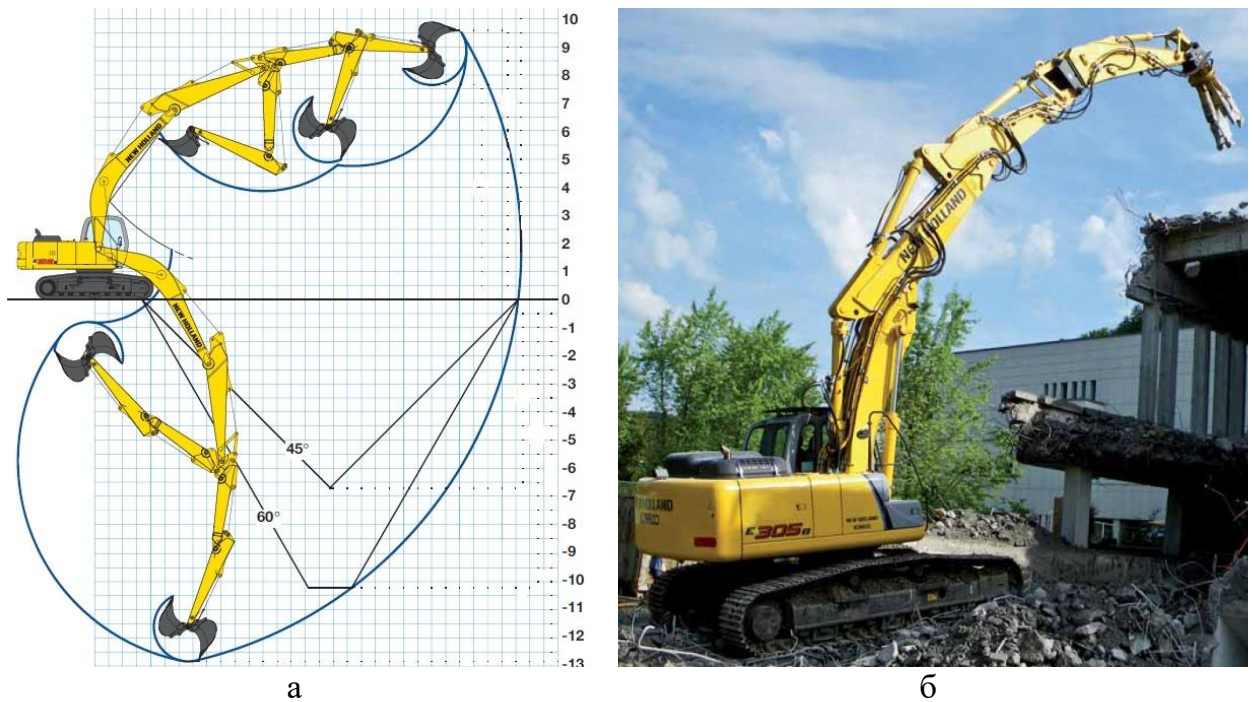


Рис. 1.2. Нові конструкції РО ОГЕ: а – екскаватор *E215 BLC-M* з трьома рукоятями фірми *New Holland*; б – екскаватор *E305B MF* фірми *New Holland* з двома рукоятями зі стрілою шарнірно-зчленованого типу

Використання таких конструкцій можливе як із моноблочними стрілами, так і зі стрілами шарнірно-зчленованого типу.

ОГЕ оснащений подібним РО може виконувати роботи на великій глибині а також пов'язані з використанням додаткового вильоту, у вузьких місцях, поблизу перешкод, таких як мости та повітряні кабелі. Для виконання таких робіт потрібно адаптувати кути чотирьох елементів РО, щоб налаштуватися до параметрів та обмежень робочої зони.

Для виконання робіт по демонтажу будівель компанія *New Holland* пропонує моделі екскаваторів *E215 BLC-M*, *E245B* та *E305B* з технологією по застосуванню декількох рукоятей на одному РО. Збільшення вильоту пов'язане зі зміненням стійкості екскаватора, у зв'язку з цим, фірма пропонує обладнувати ці машини змінними додатковими противагами.

Машини з подібним РО можна переобладнувати до традиційного вигляду, але для переобладнання треба долучати додатковий персонал та час на переобладнання.

Відомі також конструкції екскаватора обладнані додатковими **секціями-вставками** РО різної довжини, в яких досягається зміна геометричних

параметрів за рахунок використання додаткового змінного модуля, що дозволяє збільшити глибину копання та висоту розвантаження:

- по патенту UA № 15470, МПК E02F 3/28 РО ОГЕ [7], для *рукояті* (рисунок 1.3), обладнання змінним модулем, наприклад, ОГЕ 3-ї розмірної групи забезпечує збільшення глибини копання з $H_K = 5.1\text{м}$ до $H_K = 6.4\text{м}$;

- по патенту UA № 12574, МПК E02F 3/28 РО ОГЕ [8], для *стріли* (рисунок 1.4), обладнання змінним модулем, наприклад, ОГЕ 3-ї розмірної групи забезпечує збільшення глибини копання з $H_K = 5.8\text{м}$ до $H_K = 7.0\text{м}$.

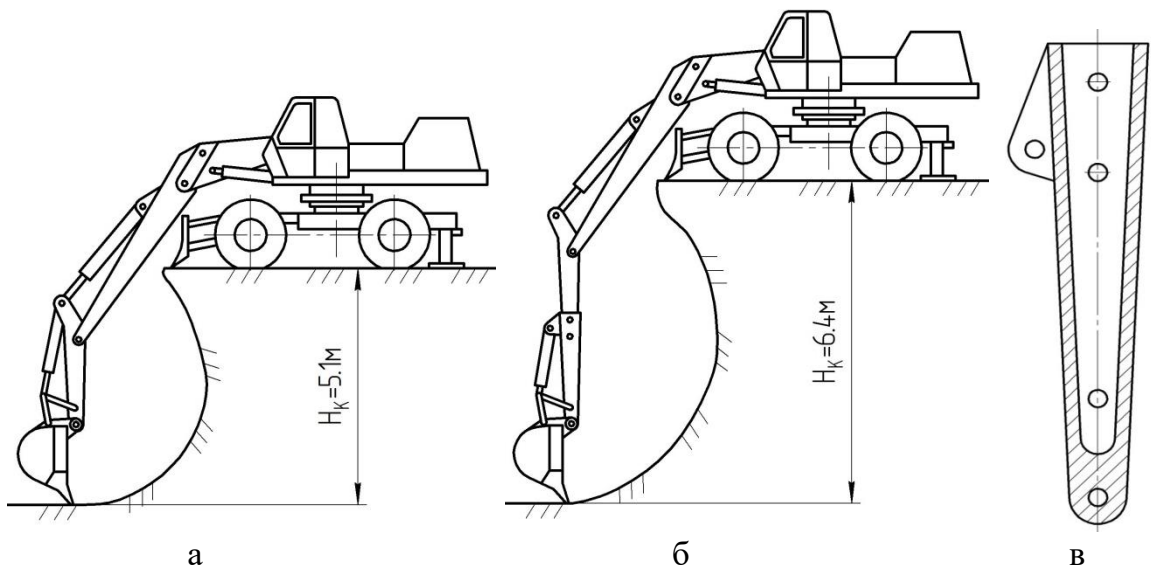


Рис. 1.3. РО ОГЕ по патенту UA № 15470 [7]: а – базова машина з робочим обладнанням, загальний вигляд; б – базова машина зі змінним модулем; в – змінний модуль в розрізі

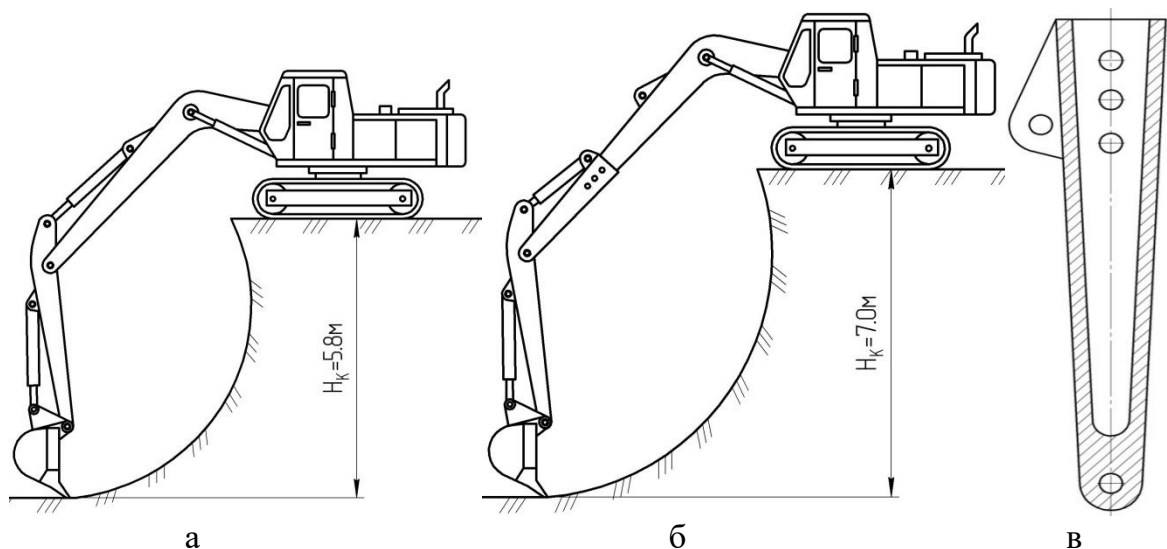


Рис. 1.4. РО ОГЕ по патенту UA № 12574 [8]: а – базова машина з робочим обладнанням, загальний вигляд; б – базова машина зі змінним модулем; в – змінний модуль в розрізі

При цьому, слід зазначити значну трудомісткість використання подібних конструктивних рішень, пов'язану з залученням додаткового персоналу для переоснащення РО, а також ступінчасту зміну геометричних параметрів.

Відомі технічні рішення, в яких для розширення технологічних можливостей застосовується РО зі збільшеними геометричними параметрами. Подібне обладнання забезпечує широкі межі застосування ОГЕ при очистці річок та дренажних каналів, а також для будівництва укосів. РО збільшеної довжини забезпечує велику зону обслуговування та об'єм розроблюваного ґрунту з однієї стоянки у порівнянні з традиційним РО, при цьому досягається велика глибина копання та усувається необхідність у частих переміщеннях машини [9, 10, 11, 12, 13].

Світові лідери екскаваторобудування комплектують свої моделі екскаваторів подібним РО, наприклад, ОГЕ фірм *New Holland* та *Hitachi* (рисунки 1.5, 1.6, 1.7). Технічні параметри моделей, оснащених подібним обладнанням представлені у таблицях 1.1 та 1.2. ОГЕ фірм *Komatsu* та *Caterpillar* мають схожі технічні та технологічні параметри.

Таблиця 1.1

Технічні параметри ОГЕ зі збільшеними геометричними параметрами РО

Параметр	Фірма та модель екскаватора						
	<i>New Holland</i>		<i>Hitachi</i>				
	<i>E 215 LC</i>	<i>E 265 LC</i>	<i>ZX 85UX</i>	<i>ZX 210LC</i>	<i>ZX 250LC</i>	<i>ZX 290LC</i>	<i>ZX 350LC</i>
Маса, т	24.2	28.7	9.34	21.9	26	29.2	35.3
Місткість ковша, м ³	0.45		0.28	0.30 0.40 0.45	0.40, 0.45, 0.50, 0.59 0.66, 0.75		0.52 0.60 0.70 0.82
Потужність двигуна, кВт	118	137	34.1	122	132	140	202
Радіус копання, м	15.8	18.6	10.3	15.4	15.1	18.2	20.5
Глибина копання, м	12.01	14.73	7.7	11.5	10.7	13.7	16.0
Висота розвантаження, м	11.5	12.5	8.3	11.9	11.7	13.7	13.25
Тип рушія	гусеничний, колісний						
Швидкість пересування, км/год	6.0	5.8	5.0	5.5		5.2	5.0

Технічні параметри ОГЕ зі збільшеними геометричними параметрами РО

Параметр	Фірма та модель екскаватора					
	Komatsu					CAT
	PC 210LC-10	PC 240LC-10	PC 290LC-10	PC 360LC-10	PC 390LC-10	336D
Маса, т	23.6	25.0	31.14	37.0	39.4	40
Місткість ковша, м ³	0.46	0.57		0.68 0.96		0.44, 0.59 0.86, 1.08 1.13, 1.19 1.30, 1.41
Потужність двигуна, кВт	118	132	147	162	192	200
Радіус копання, м	15.24	18.36	18.29			18.045
Глибина копання, м	11.5	13.0	12.62	12.45	12.26	12.89
Висота розвантаження, м	11.83	15.55	15.09	14.17	14.37	12.8
Тип рушія	гусеничний					
Швидкість пересування, км/год	5.5					5.2

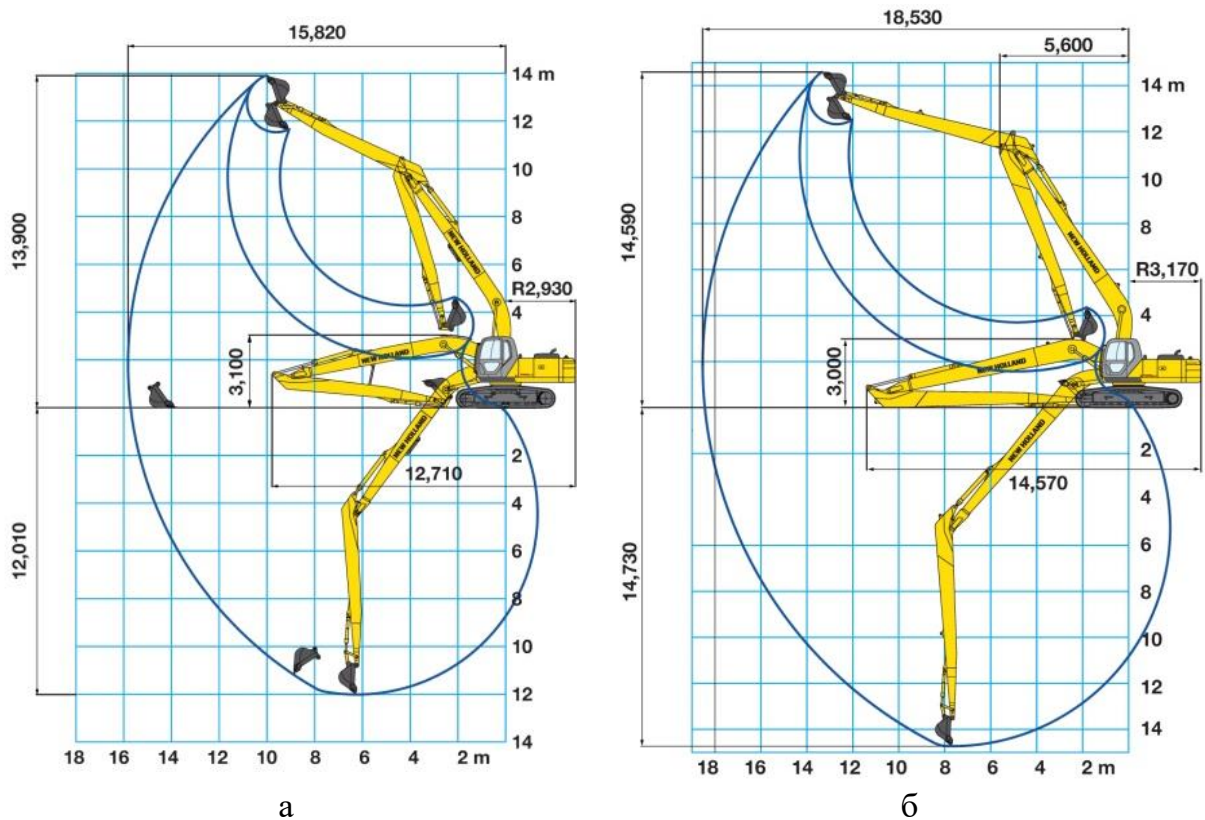


Рис. 1.5. Екскаватори фірми *New Holland* зі збільшеними розмірами РО: а – Е 215 LC; б – Е 265 LC

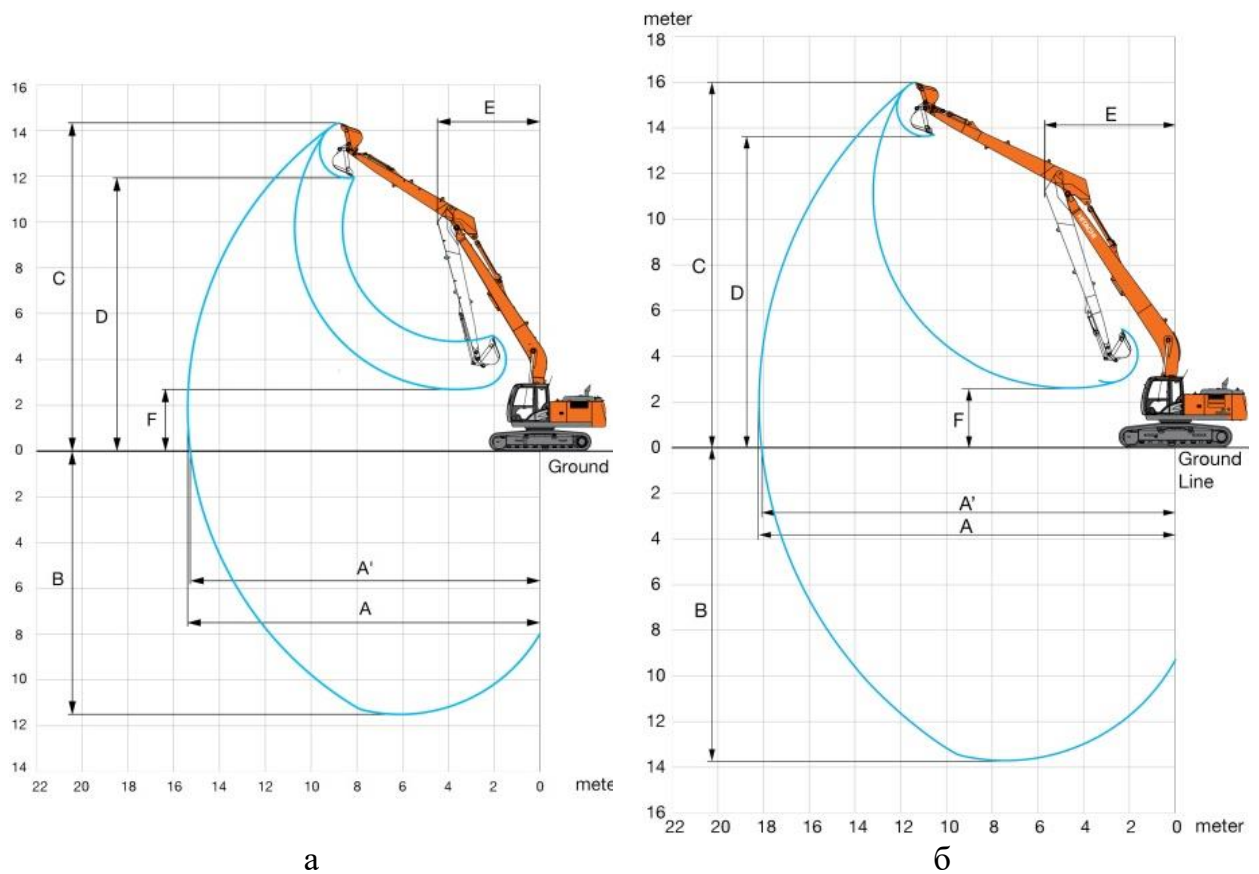


Рис. 1.6. Екскаратори фірми *Hitachi*: а – *ZX 210LC*; б – *ZX 290LC*

Слід зазначити, що використання подібного РО призводить до зменшення продуктивності, що пов'язано із застосуванням ковшів малої місткості на екскаваторах масою до 30т, а також із збільшеним часом циклу у порівнянні з традиційною машиною.

Відома також низка моделей екскаваторів в яких для розширення геометричних параметрів зони обслуговування застосовують, **багатосекційне РО**, яке дозволяє збільшити ступінь рухомості РО, наприклад трисекційне РО фірми *OEM* а також моделі *E385LC* та *E485LC* фірми *New Holland* з п'ятисекційним РО (рис. 1.8, 1.9) [14].

Фірма *OEM* пропонує комплектувати своє РО ківшами місткістю $0.45 \dots 0.63 \text{ м}^3$, та застосовувати для риття ґрунту в умовах обмеженої кількості майданчиків для розташування машини, а також для облаштування ухилів, каналів та розчищення водойм.



а



б

Рис. 1.7. Екскаратори зі збільшеними геометричними параметрами РО при виконанні робіт: а – *Hitachi ZX 250LC* при роботі на розчистці каналу; б – *Komatsu PC 240LC-10* при облаштуванні гідроспоруди

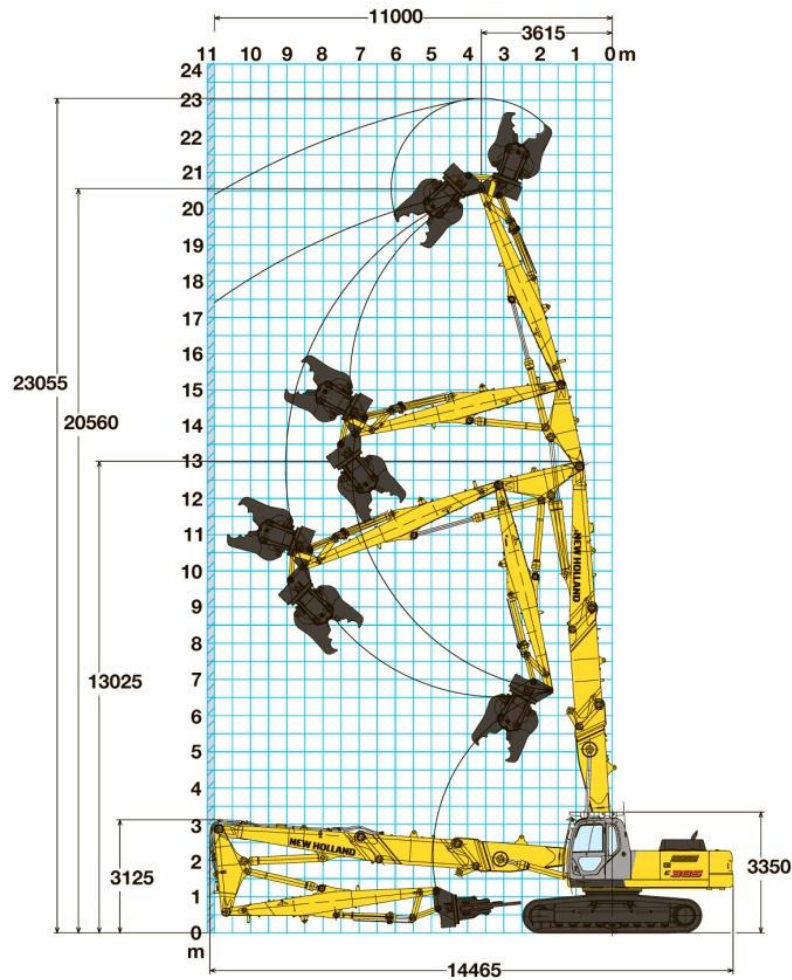


Рис. 1.8. Екскаватор *E 385LC* фірми *New Holland* з п'ятисекційним РО змінної геометрії



Рис. 1.9. Екскаватор з трисекційним РО фірми *OEM*

Відомі телескопічні екскаватори-планувальники з телескопічною стрілою [15], які застосовуються на зачисних роботах та роботах по плануванню земляних споруд. Такі екскаватори оздоблюються ківшами місткістю від 0.3 до 1 м³.

Екскаватори з ТРО мають пневмоколісне та гусеничне ходове обладнання, також є екскаватори на автомобільному шасі.

Зазвичай, РО з телескопічною стрілою (рис. 1.10) складається з зовнішньої стріли 2, яка коливається в вертикальній площині та обертається навколо своєї осі; внутрішньої стріли 4, яка переміщується всередині зовнішньої; змінного робочого органу 6, шарнірно закріпленого на кінці стріли [15]. Усі рухи елементів РО здійснюються гідроциліндрами 1, 3, 5, з'єднаними безпосередньо з виконавчими механізмами або крізь шарнірно з'єдані проміжні ланки [16].

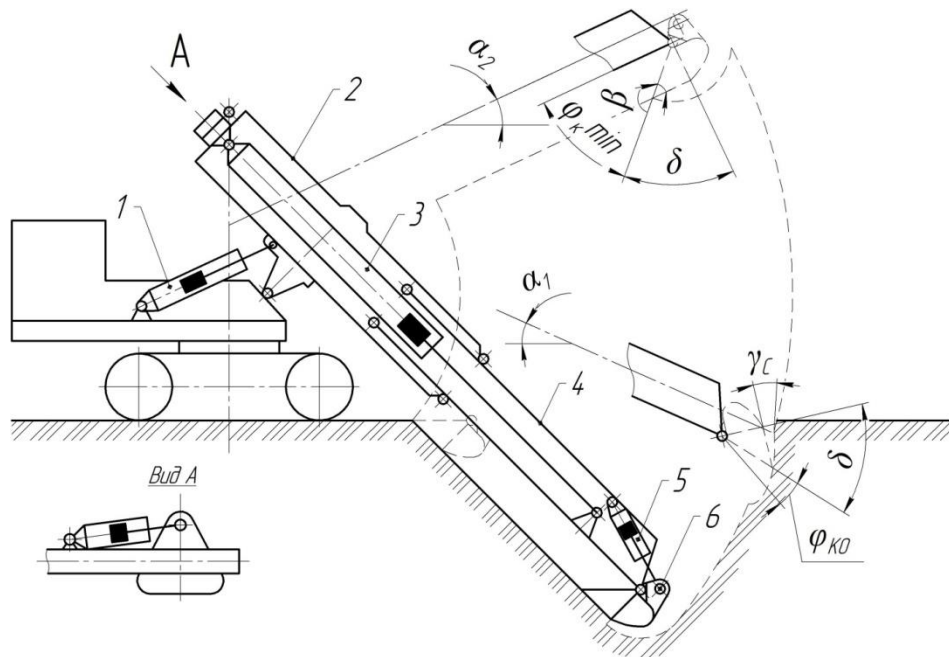


Рис. 1.10. Екскатор з ТРО

Гідравлічні екскаватори-планувальники з ТРО серійно виробляють такі компанії, як *КрАЗ* спільно «*CSM-Tisovec*» (Україна-Словаччина), «*CSM-Tisovec*» (Словаччина), «*JLG*» (*Gradall Industries*), «*Badger*» (США), «*TML Technik GmbH*» (ФРН), «*Святovit*» (Білорусь) [16].

Кременчуцький автомобільний завод спільно зі словацькою компанією *CSM Tisovec* серійно виготовляє універсальний гідравлічний екскаватор-планувальник *UDS-114* (рис. 1.11), на базі автомобільного шасі *КрАЗ Н17.1ЕХ* (6х6). Машина призначена для усіх видів земляних робіт при проведенні ремонту на трасах водопроводів, нафтопроводів та газових трас, а також для спеціального планування укосів вздовж автомобільних доріг. Надбудова – екскаватор-планувальник *UDS-114* з двигуном *John Deere 4045HF275*.

Компанія *Gradall Industries* виготовляє екскаватор-планувальник *XL 5300 III*, масою 23 т (рис. 1.12).



Рис. 1.11. Гідравлічний екскаватор-планувальник *UDS-114*



Рис. 1.12. Екскаватор-планувальник фірми *Gradall Industries XL 5300 III*

Загальним недоліком екскаваторів-планувальників з телескопічною стрілою є вузька спеціалізація, та вузькі функціональні можливості, та діапазон робіт, які виконуються.

Найбільш перспективним РО ОГЕ, здатним забезпечити найширший діапазон глибини копання, висоти розвантаження, великої зони обслуговування – є ТРО [17]. Застосування такого типу обладнання дозволяє отримувати перемінну продуктивність, плавно – безступінчато змінювати геометричні параметри ТРО, використовувати ОГЕ для нетипових видів робіт (наприклад, планувальних). Окрім цього, застосування ТРО дозволяє

поєднувати робочі операції з одночасною зміною геометричних параметрів обладнання, що дозволяє мінімізувати час робочого циклу.

В сучасному екскаваторобудуванні основними елементами для застосування телескопічних елементів – є рукояті. Так, наприклад, фірми *JCB* (*3CX*) [18], *John Deere* (*4045T*), *Caterpillar* обладнують свої екскаватори II розмірної категорії телескопічними рукоятями (рис. 1.13, 1.14) для виконання робіт по традиційним технологічним схемам у поєднанні з традиційними ківшами.

Екскаватори III та IV розмірних груп обладнують телескопічними рукоятями у поєднанні з грейферним РО. Подібні конструкції мають канатно-гидравлічні конструкції телескопічного механізму рукояті.

Відомі моделі фірми *Hitachi ZX210LC-5B* з телескопічною рукояттю *S-TC200R-8* (рис. 1.15, а), *ZX225USRLC-3*, *ZX330LC-3* з телескопічною рукояттю *S-TC300R-7* [19], а також екскаватор фірми *Cosben* (рис. 1.15, б) *CAT 336D* (рис. 1.16) екскаватори оснащені подібним РО дозволяють виконувати роботи на глибині від 18 до 36м.

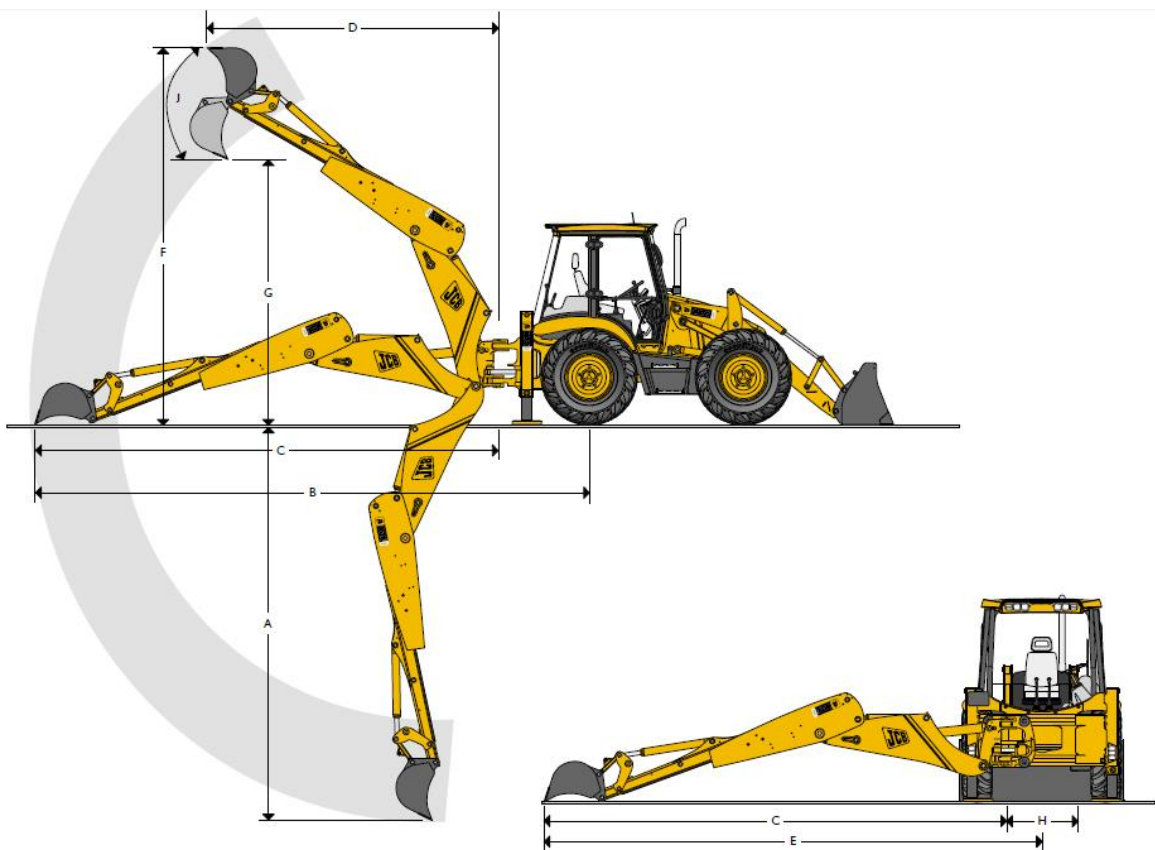


Рис. 1.13. Екскаватор-навантажувач *JCB 3CX* з телескопічною рукояттю

а



б



Рис. 1.14. Екскаратори з телескопічними рукоятями: а – фірми *JCB*;
б – *CAT 444E*

Слід зазначити, що робочий процес ОГЕ як машини циклічної дії здійснюється таким чином, що робоча операція – копання, періодично переривається виконанням допоміжних операцій – підйому РО, повороту платформи на розвантаження, поворотів рукояті та ковша під час розвантаження, опускання РО, повороту ковша та рукояті при поверненні робочого органу в початкову точку в забої [20]. Циклограма роботи (рис. 1.17) показує, що при виконанні робочих операцій в циклі рукоять застосовується на 42%, ківш на 27%, а стріла на 24%, таким чином, можна зробити висновок, що більш доцільним є застосування ТС саме в стрілі, оскільки це дозволить знизити активні навантаження на ТС та дозволить збільшити довговічність цих механізмів. Застосування телескопічних стріл в РО екскаватора у поєднанні як з традиційними так і телескопічними рукоятями, дозволяє знівелювати недоліки застосування лише телескопічної рукояті.

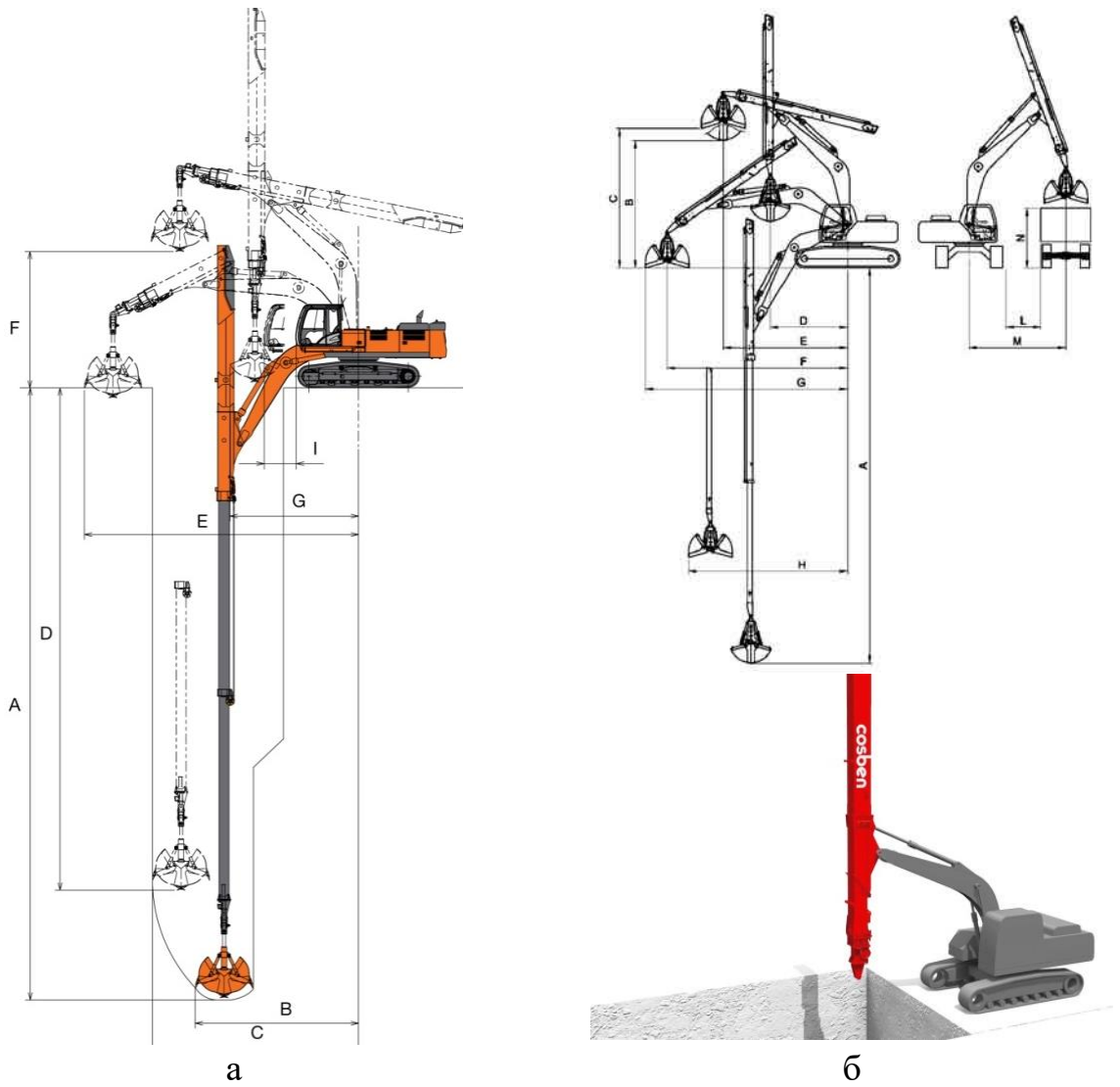


Рис. 1.15. ОГЕ з телескопічними рукоятями: а – *Hitachi ZX210LC-5B*; б – *Cosben TA*



Рис. 1.16. Екскаватор *CAT 336D* з телескопічною рукояттю

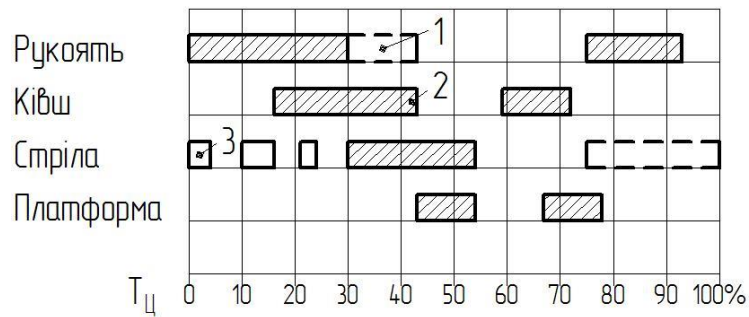


Рис. 1.17. Робочий цикл (циклограма роботи) ОГЕ з обладнанням «зворотна лопата»: 1 – операції, виконання яких не потребує енергетичних затрат; 2 – операції, які потребують затрати енергії; 3 – короткострокові включення

Відома також конструкція екскаватора з **телескопічною стрілою та рукояттю** по патенту UA №65783 [21]. РО ОГЕ (рис. 1.18, 1.19) змонтовано на базовому тракторі 1 і складається з трисекційної телескопічної стріли 2, з механізмом її приводу, яка збоку відкритого кінця обладнана ТС 3 та 4. Висувна секція 4 має кронштейн 5 під встановлення гідроциліндра приводу трисекційної телескопічної рукояті 6, яка обладнана ТС 7 та 8, на останній встановлюється ківш 9 та механізми його приводу.

Використання робочого обладнання з телескопічною стрілою і телескопічною рукояттю дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон виконуваних робіт.

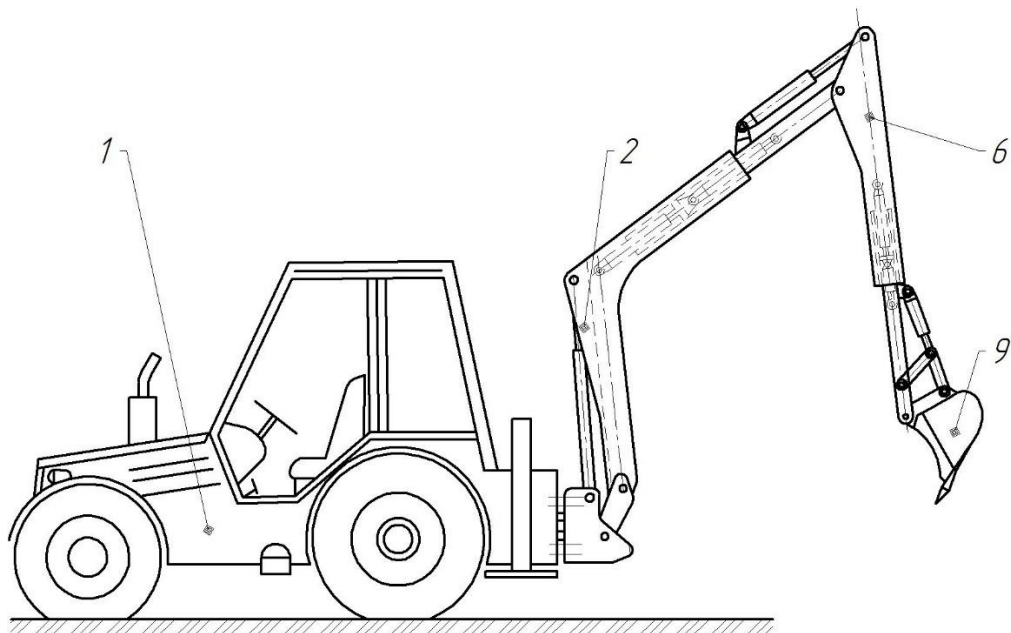


Рис. 1.18. Екскаваторне РО телескопічного типу по патенту UA №65783 [21]

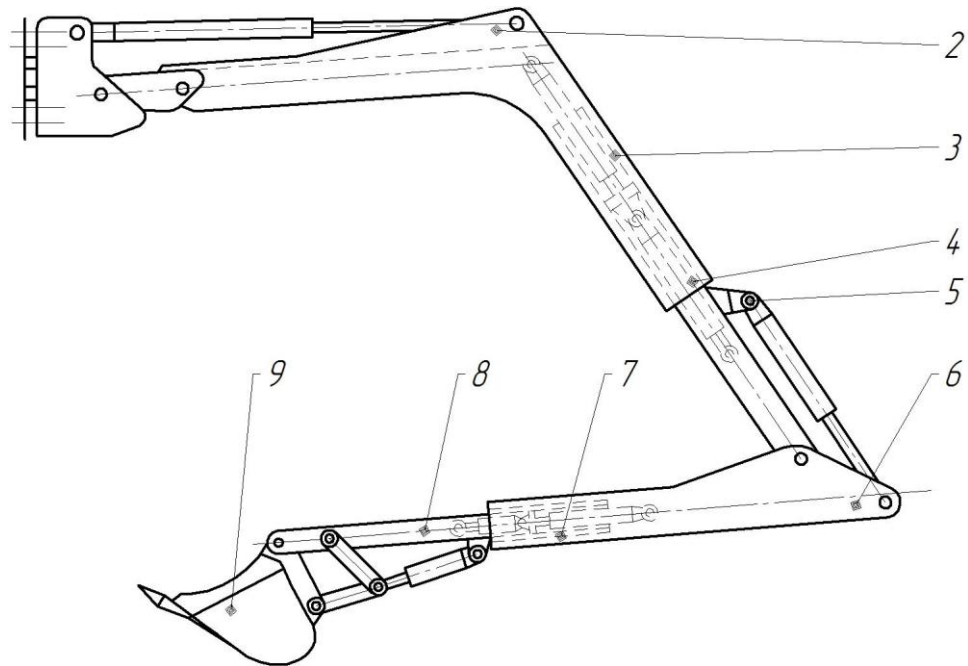


Рис. 1.19. РО ОГЕ при втягнутих ТС по патенту UA №65783 [21]

Відома конструкція РО ОГЕ з **телескопічними стрілою та рукояттю** по патенту UA № 43969 (рис. 1.20, 1.21) [22]. РО складається з телескопічної стріли 1, яка з боку відкритого кінця обладнана ТС 2 з механізмом її приводу. Стріла має прорізь для руху кронштейну 3 кріплення гідроциліндру телескопічної рукояті 4, яка повторює конструкцію телескопічної стріли, та обладнана ТС 5, на якій кріпиться кронштейн 6 для кріплення гідроциліндру ковша 7. Окрім цього, телескопічні стріла та рукоять посилені стягуючими хомутами 8 і 9.

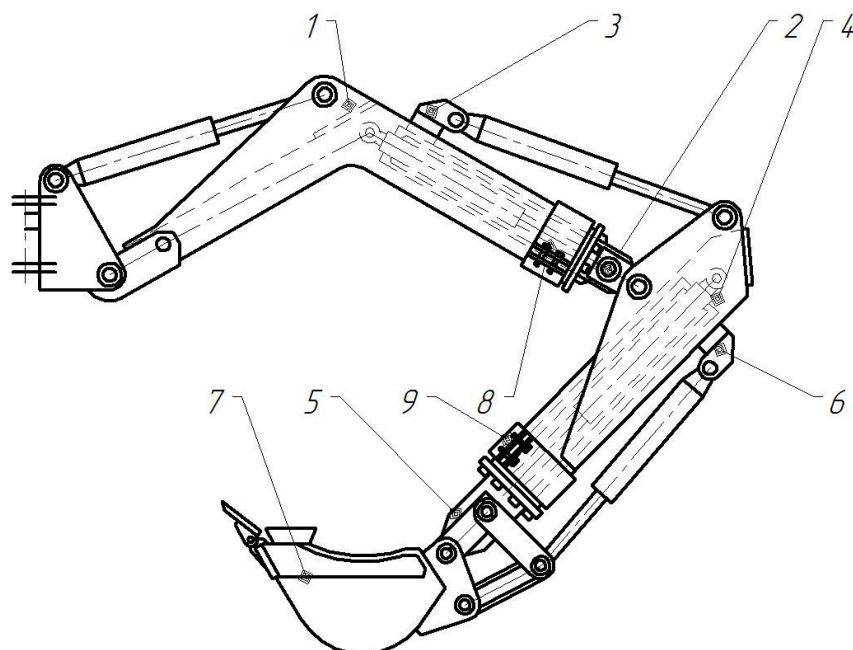


Рис.1.20. РО ОГЕ по патенту UA № 43969 [22] при втягнутих ТС

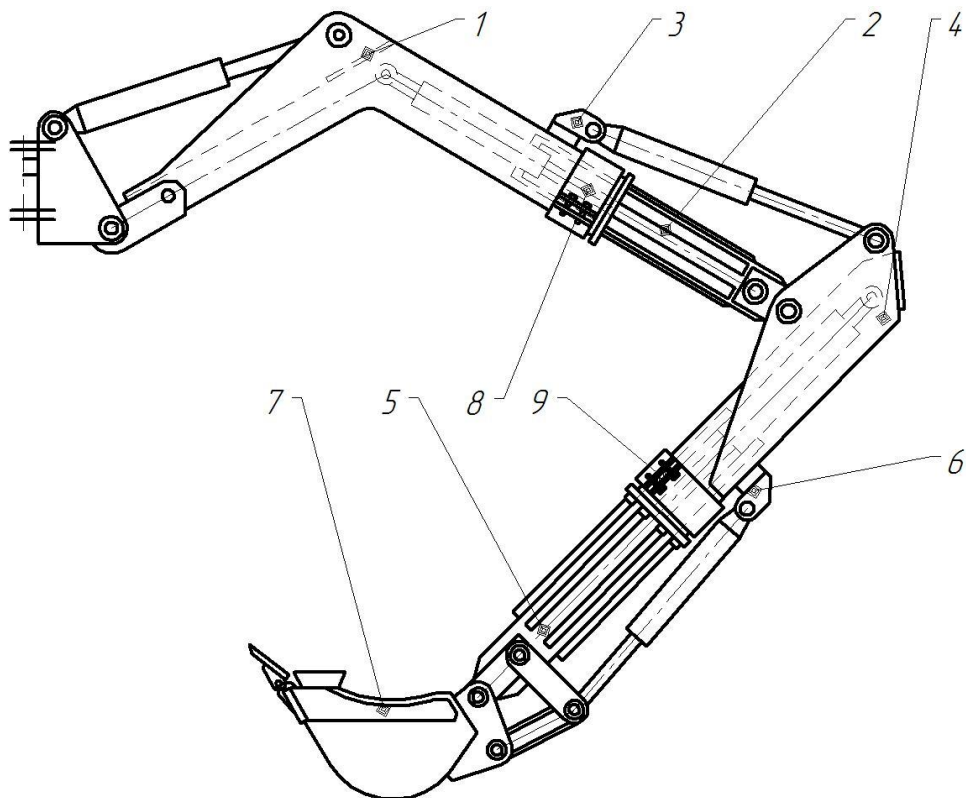


Рис.1.21. РО ОГЕ по патенту UA № 43969 [22] при виштовхнутих ТС

Використання РО з телескопічними стрілою та рукояттю дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон виконуваних робіт.

1.3. Огляд конструкцій телескопічних стріл екскаваторів

Телескопічні стріли Для приводу висування-втягування стріли використовують чотириланкові механізми другого класу з довгоходовим гідроциліндром або конструкції у вигляді двох гідроциліндрів з одностороннім штоком, шарнірно чи жорстко зв'язаних між собою та працюючих послідовно, чи одного гідроциліндру з двостороннім штоком та двократним канатним мультиплікатором (рис. 1.22). Схеми відрізняються конструкцією механізму та кріпленням гідроциліндру до рухомої та нерухомої секціям стріли [23]. Найбільш розповсюджені телескопічні стріли розташуванням опорних роликів на рухомій та нерухомій секціях стріли та з довгоходовими гідроциліндрами (рис. 1.22., а-г). Кріплення корпусу гідроциліндра на сферичній опорі рухомої стріли (рис. 1.22., б, г) дозволяють відмовитись від проміжної опори, яка розвантажує гідроциліндр від

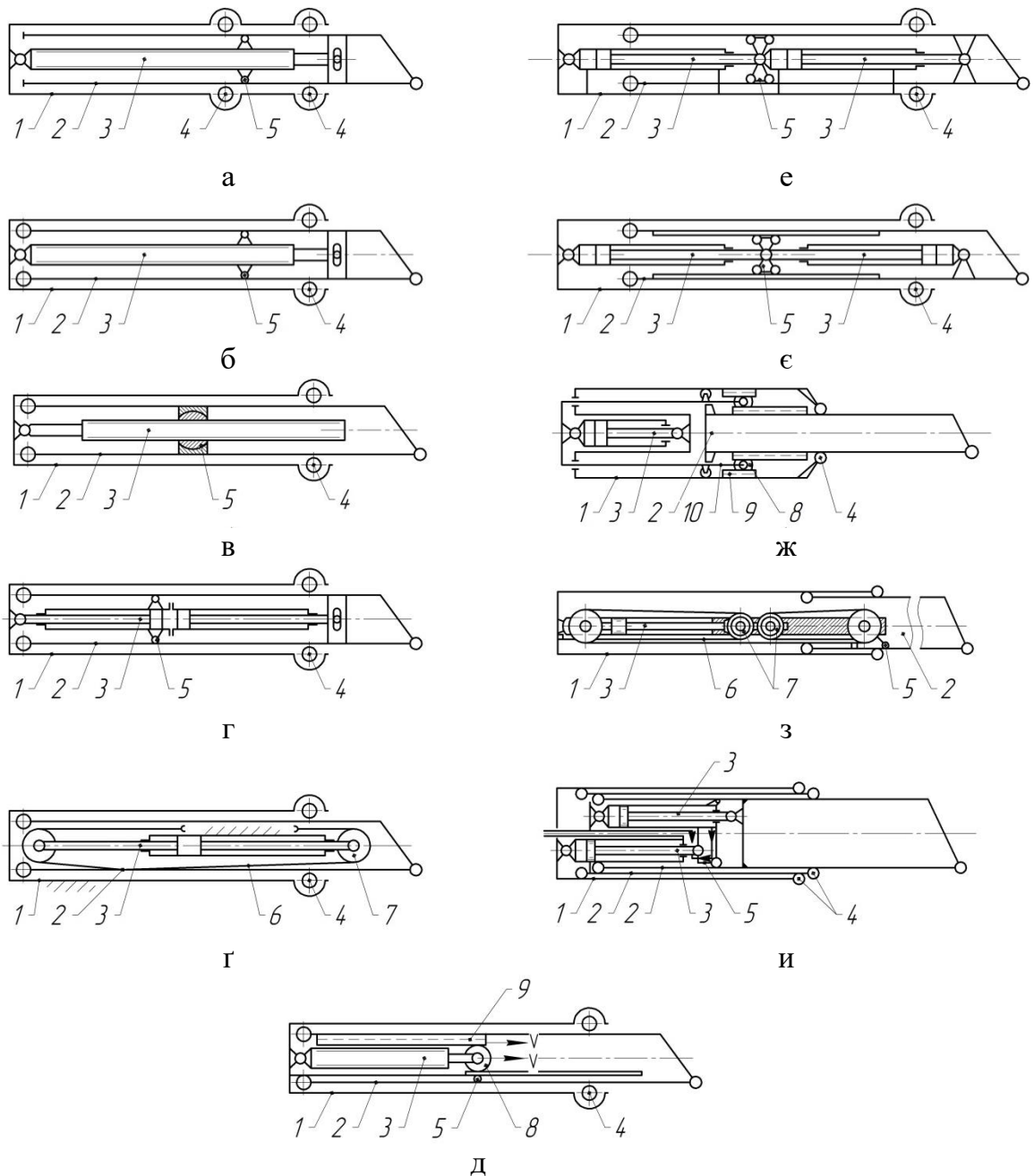


Рис.1.22. Схема механізмів висування-втягування телескопічної стріли екскаватора: а – з довгоходовим гідроциліндром та опорними роликами, розташованими на нерухомій секції стріли; б, в – з довгоходовими гідроциліндрами, встановленими на екскаваторах моделей L-12, M-17, M-20, PL-60, PL-120, C-660, C-800, C-1000; г – з гідроциліндром «тандем», встановленим на екскаваторах моделей EO-2131A та EO-3332; г, з – з гідроциліндром та канатно-блочним мультиплікатором на двосторонньому штоці, встановленими на екскаваторах моделей E-4010, «Сатур 050к», M-2460, C-600; д, ж – з гідроциліндром та шестерно-рейковим мультиплікатором; е, е – з двома послідовно розташованими гідроциліндрами; и – з паралельно розташованими гідроциліндрами при трисекційній стрілі; 1 – зовнішня частина стріли; 2 – внутрішня висувна частина стріли; 3 – гідроциліндр; 4 – опорні ролики; 5 – проміжна опора; 6 – канат; 7 – блок; 8 – зубчасте колесо; 9 – зубчаста рейка; 10 - проміжна рама

поперечних навантажень, що забезпечує спрощення конструкції механізму та підвищує його надійність. При неможливості виготовлення довгоходових гідроциліндрів застосовуються механізми з канатно-блочними (рис. 1.22., г, з) або шестеренно-рейковими (рис. 1.22., д, ж) мультиплікаторами та двома розташованими гідроциліндрами (рис. 1.22., е, є) з проміжною опорою 5.

1.4. Огляд змінних робочих органів ОГЕ, оснащених ТРО

Змінні робочі органи поділяють на шість груп: екскаваторне обладнання (ківші зворотних лопат з зубцями, профільовальні ківші та ківші з сітчастим днищем для іригаційних робіт); планувальне обладнання (ківші збільшеної місткості без зубців та відвали); обладнання для дорожнього будівництва (розпушувачі, ківші з зубцями для розтину асфальту); навантажувально-розвантажувальне та вантажопідйомне обладнання (ківші прямих лопат для завантаження сипучих матеріалів, захвати для круглих матеріалів, щелепні захвати для підйому та укладання рейок та шпал, грейферне обладнання, крюкові обійми і т. д.); спеціальні види змінного РО (сваєзабивне обладнання, пристосування для очистки конвеєрів та доменних печей, обладнання і т. д.); подовжувачі та надставки для ТС. Основні види змінних робочих органів ОГЕ з ТРО зображені на рис. 1.23, 1.24 [15].

ОГЕ забезпечують екскаваторними ківшами (з зубцями) місткістю 0.5 та 0.65 м³. Існують ківші без зубців місткістю 0.65 м³, призначені для виконання планувальних та зачисних робіт, профільні ківші місткістю 0.35 та 0.5 м³, для копання зрошувальних каналів та різноманітних іригаційних споруджень.

Для збільшення радіусу дії ОГЕ, обладнаного екскаваторними ківшами чи відвалом, використовується подовжувачі стріли довжиною 1.5 та 3 м. На цих машинах застосовані спеціальні пристрої для швидкої зміни робочих органів без притягнення додаткового обслуговуючого персоналу та вантажопідйомних засобів. Конструкції механізму висування-втягування ТС стріли значно спрощені шляхом застосування одного довгоходового гідроциліндра.

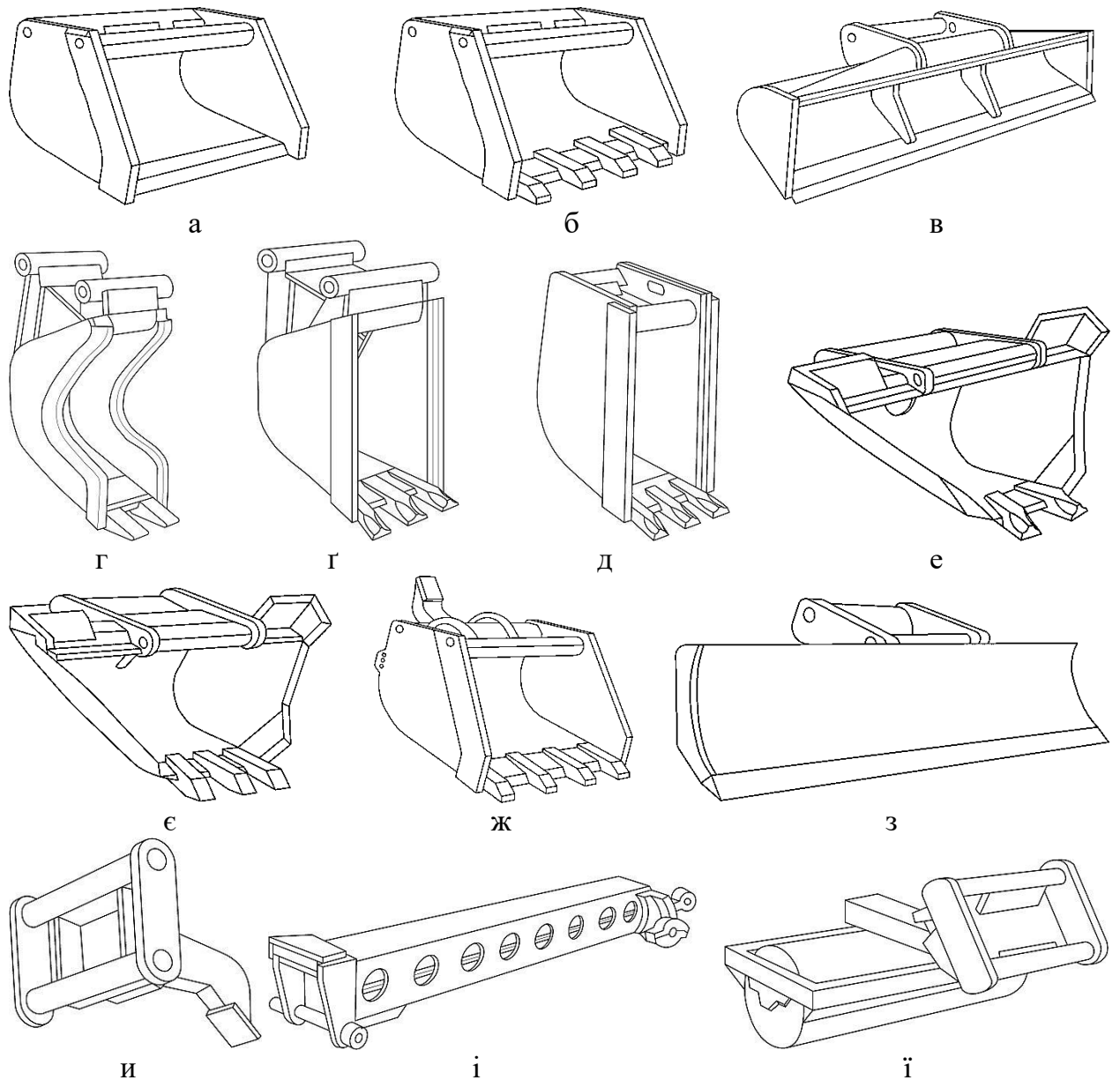


Рис. 1.23. Змінні робочі органи для ОГЕ з ТРО: а – основний ківш без зубців; б – ківш з зубцями; в – планувальний ківш; г - д – ківші для дренажних робіт; е, є – профільні ківші; ж – розпушувач з ківшом; з – відвал; и – розпушувач; і – подовжувальна секція; ї – ущільнювальний коток

Компанія *Liebherr* пропонує для ОГЕ власного виробництва до 30 видів різноманітних ковшів і маніпуляційних пристроїв, основні види яких представлені на рисунку 1.24 [24].

Для комплексної механізації земляних робіт в будівництві доцільно використовувати ОГЕ з ТРО третьої та четвертої розмірних груп з екскаваторними ківшами місткістю $0.4 \dots 1.6 \text{ м}^3$ та планувальними $0.6 \dots 1.0 \text{ м}^3$.

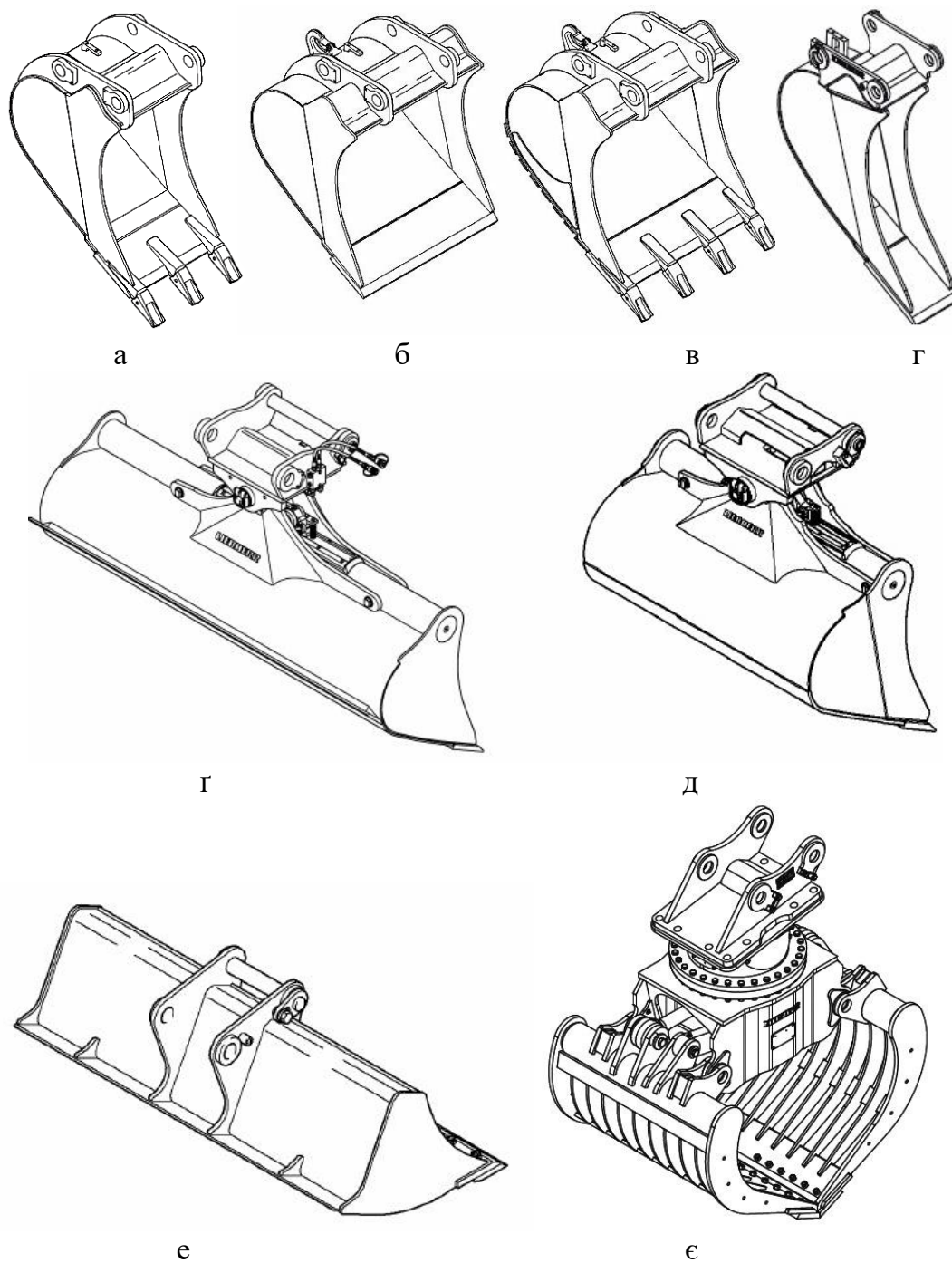


Рис. 1.24. Ківші розробки компанії *Liebherr*: а, б, в, г – екскаваційні ківші; г, д, е – планувальні ківші; е – сортувальний гідравлічний грейфер

1.5. Огляд досліджень для розрахунку та проектування РО ОГЕ

1.5.1. Визначення раціональних параметрів гідромеханізмів приводу РО ОГЕ

При проектуванні важільних механізмів з гідравлічним приводом вирішується наступна задача: необхідно визначити діаметр поршня D та хід S поршня гідроциліндра, а також координати ρ і l кріплення шарнірів

гідроциліндрів до базової і веденої ланки відносно шарніру, який поєднує ці ланки. Гідромеханізм з переліченими параметрами при умові мінімальної металоємності повинен забезпечувати задані навантаження на веденій ланці і технологічно необхідні кути її обертання.

Проектування важільного гідромеханізму за допомогою графоаналітичного методу [25] виконується у наступній послідовності: приблизний підбір гідроциліндру та координат кріплення його шарнірів, масштабна побудова механізму в різноманітних його положеннях, вимірювання плечей зусиль діючих на ведену ланку та перевірочний силовий розрахунок.

Башкіров В. А., Церлюк М. Д. та Рустамович А. В. розробили методику вибору параметрів стрілопідйомних механізмів з гідроприводом [26] методом послідовних приближень.

Ряд досліджень по визначенню раціональних параметрів механізмів приводу РО ОГЕ виконано у роботах В. К. Тимошенко [27, 28]. Для встановлення основних тригонометричних залежностей розглянуті кінцеві положення чотириланкового важільного гідромеханізму [29], який включає в себе базову і ведену ланки і гідроциліндр (рис. 1.25), для яких справедлива тригонометричні тотожності по теоремам косинусів і синусів:

$$S_{\text{Поч}} = \sqrt{\rho^2 + l^2 - 2\rho l \cos \varphi_{\text{Поч}}} ; \quad (1.1)$$

$$S_{\text{Кін}} = \sqrt{\rho^2 + l^2 - 2\rho l \cos(\varphi_{\text{Поч}} + \varphi_0)} ; \quad (1.2)$$

$$S_{\text{Поч}} \sin(90^\circ - \gamma_{\text{Поч}}) = l \sin \varphi_{\text{Поч}} ; \quad (1.3)$$

$$S_{\text{Кін}} \sin(90^\circ - \gamma_{\text{Кін}}) = l \sin(\varphi_{\text{Поч}} + \varphi_0) , \quad (1.4)$$

де $S_{\text{Поч}}, S_{\text{Кін}}$ – відстань між шарнірами гідроциліндра при втягнутому і витягнутому штоку, відповідно, $S_{\text{Поч}} = S_0 + S$, $S_{\text{Кін}} = S_0 + 2S$; S_0 – конструкційний розмір гідроциліндру; S – хід поршня гідроциліндру; ρ, l – полярні координати шарнірів гідроциліндру відносно шарніру 0 кріплення веденої ланки до базового (рис. 1.25); $\varphi_{\text{Поч}}$ – кут між радіусами ρ та l при втягнутому і виштовхнутому штоку гідроциліндру; φ_0 – повний кут повороту

веденої ланки; $\gamma_{\text{Поч}}$, $\gamma_{\text{Кін}}$ – кути тиску (кути між векторами зусилля гідроциліндру та швидкості руху осі шарніру кріплення гідроциліндру до веденої ланки) при втягнутому і виштовхнутому штоку гідроциліндра (рис. 1.25).

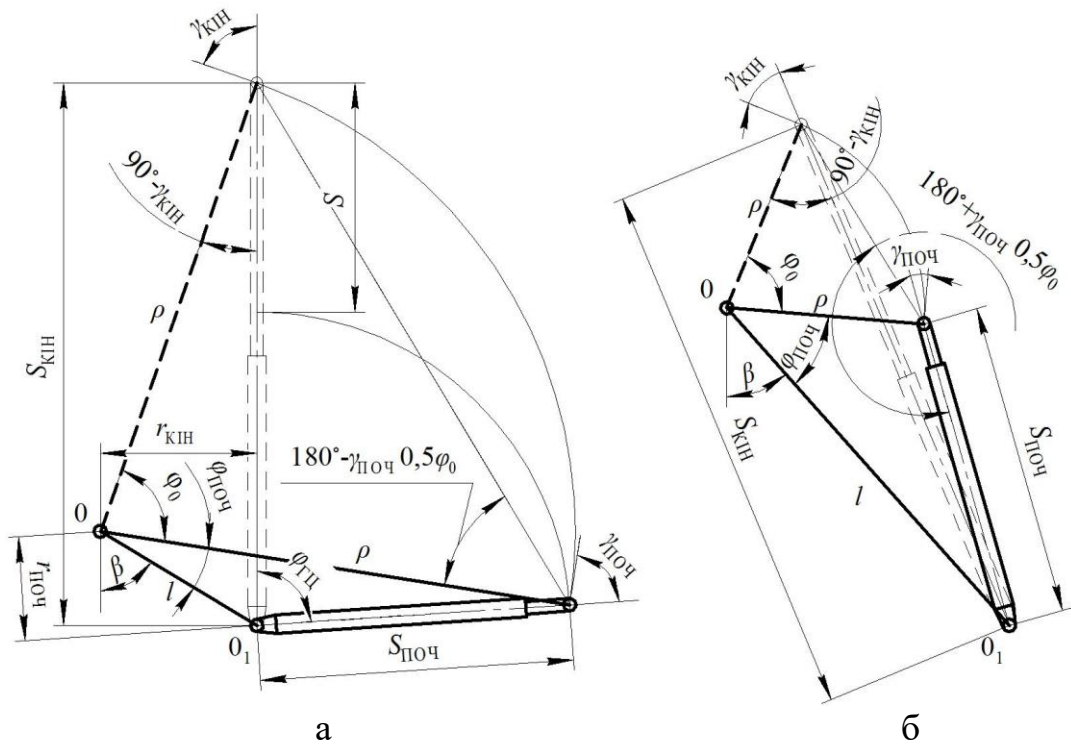


Рис. 1.25. Схеми для встановлення залежностей між кутами механізму та повздовжніми розмірами гідроциліндра: а – при $\rho > l$; б – при $\rho < l$

На основі системи рівнянь (1.1)-(1.4) в роботах В.К. Тимошенко отримані залежності для кута $\varphi_{\text{Поч}}$ в функції від співвідношення косинусів крайніх значень кутів тиску і для полярних координат ρ та l в функції від кута $\varphi_{\text{Поч}}$ [30, 31]:

$$\tan \varphi_{\text{П}} = \frac{\sin \varphi_0}{N \frac{\cos \gamma_{\text{Кін}}}{\cos \gamma_{\text{Поч}}} - \cos \varphi_0}; \quad (1.5)$$

$$\rho = \sqrt{\frac{0,5(S_{\text{Кін}}^2 - S_{\text{Поч}}^2) \cdot (K \pm \sqrt{K^2 - 1})}{\cos \varphi_{\text{Поч}} - \cos(\varphi_{\text{Поч}} + \varphi_0)}}; \quad (1.6)$$

$$l = \frac{\rho}{(K \pm \sqrt{K^2 - 1})}; \quad (1.7)$$

$$\text{де } K = \frac{N^2 \cos \varphi_{\text{Поч}} - \cos(\varphi_{\text{Поч}} + \varphi_0)}{N^2 - 1}; \quad N = \frac{S_{\text{Кін}}}{S_{\text{Поч}}}.$$

Приведені [31] також формули для визначення плечей r зусилля гідроциліндру $F_{ГЦ}$ (відстані від вісі шарніру веденої ланки до вісі гідроциліндра) в початковому, кінцевому та проміжному положеннях:

$$r_{\text{ПОЧ}} = \frac{\rho l \sin \varphi_{\text{ПОЧ}}}{S_{\text{ПОЧ}}}; \quad (1.8)$$

$$r_{\text{КІН}} = \frac{\rho l \sin(\varphi_{\text{ПОЧ}} + \varphi_0)}{S_{\text{КІН}}}; \quad (1.9)$$

$$r = \frac{\rho l \sin(\varphi_{\text{ПОЧ}} + \varphi)}{\sqrt{\rho^2 + l^2 - 2\rho l \cos(\varphi_{\text{ПОЧ}} + \varphi)}}, \quad (1.10)$$

та рушійного моменту [31], який розвивається гідроциліндром на веденій ланці:

$$M = F_{ГЦ} \cdot r = \frac{\pi D^2 P_H \rho l \sin(\varphi_{\text{ПОЧ}} + \varphi)}{4\sqrt{\rho^2 + l^2 - 2\rho l \cos(\varphi_{\text{ПОЧ}} + \varphi)}}, \quad (1.11)$$

де φ – кут відхилення веденої ланки від початкового положення, $0 < \varphi < \varphi_0$; D – діаметр поршня гідроциліндра; P_H – номінальний тиск робочої рідини у гідросистемі.

Приведені також формули для визначення початкового і кінцевого кутів тиску:

$$\cos \gamma_{\text{ПОЧ}} = r_{\text{ПОЧ}} / \rho; \quad (1.12)$$

$$\cos \gamma_{\text{КІН}} = r_{\text{КІН}} / \rho. \quad (1.13)$$

Перелічені тригонометричні залежності дозволяють досліджувати різноманітні чотириланкові механізми з приводом від гідроциліндра.

1.5.2. Огляд досліджень по визначенню просторового позиціонування РО маніпуляторного типу

Задача по визначенню абсолютних положень ланок при їх заданих відносних положеннях може бути вирішена методом, на основі використання формул кінцевого повороту твердого тіла. Метод дозволяє визначати нове положення вектору, знаючи його старе положення, вісь повороту та кут повороту. Векторні методи використовувались у роботах М. Г. Бруєвіча, В. О. Зінов'єва, О. Г. Овакімова, П. А. Лебєдєва [32, 33, 34].

Розглянемо формули кінцевого повороту твердого тіла. Відома формула Родріга має вигляд [34, 35]:

$$\vec{r}_1 = \vec{r} \cos \varphi + (1 - \cos \varphi)(\vec{e} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{e} + \vec{e} \times \vec{r} \sin \varphi, \quad (1.14)$$

де \vec{r} і \vec{r}_1 – вектори, зв'язані з тілом до і після повороту; \vec{e} – орт вісі повороту; φ – кут повороту.

Формулі (1.14) можна надати інший вигляд, роблячи заміну:

$$\cos \varphi = \frac{1-\Theta^2}{1+\Theta^2}; \sin \varphi = \frac{2\Theta}{1+\Theta^2}, \quad (1.15)$$

де $\Theta = \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)$.

В цьому випадку отримуємо:

$$\vec{r}_1 = \vec{r} \frac{1-\Theta^2}{1+\Theta^2} + (1 - \cos \varphi)(\vec{e} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{e} \frac{2\Theta^2}{1+\Theta^2} + \vec{e} \times \vec{r} \frac{2\Theta}{1+\Theta^2}. \quad (1.16)$$

Якщо кут між віссю і вектором \vec{r} дорівнює $\frac{\pi}{2}$, то формула спрощується і приймає вигляд:

$$\vec{r}_1 = \vec{r} \cos \varphi + \vec{e} \times \vec{r} \sin \varphi, \quad (1.17)$$

При здійсненні двох кінцевих поворотів тіла навколо осей, які визначаються ортами \vec{e}_1 і \vec{e}_2 , результуючий поворот знаходиться по формулі:

$$\vec{\Theta} = \frac{\vec{\Theta}_1 + \vec{\Theta}_2 - \vec{\Theta}_1 \times \vec{\Theta}_2}{1 - \vec{\Theta}_1 \cdot \vec{\Theta}_2}, \quad (1.18)$$

де $\vec{\Theta} = \vec{e} \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)$; $\vec{\Theta}_1 = \vec{e}_1 \tan\left(\frac{\varphi_1}{2}\right)$; $\vec{\Theta}_2 = \vec{e}_2 \tan\left(\frac{\varphi_2}{2}\right)$; \vec{e} – орт результуючого повороту.

Формула (1.18) показує, що результуючий поворот двох кінцевих поворотів твердого тіла навколо нерухомих осей залежить від порядку виконання цих поворотів.

1.5.3. Огляд теорій різання і досліджень процесу взаємодії з ґрунтом ковшів ОГЕ

Зі створенням землерийної техніки виникли питання по зменшенню питомих витрат праці та енергоємності, які потрібно їм витратити на копання ґрунту, тобто створення такого РО, робота якого дозволила б підвищити продуктивність машини, підвищити ефективність взаємодії з ґрунтом та

знизити вартість виконуваних робіт. Для створення такого РО необхідно дослідити процес різання ґрунту. Рішенню цих питань присвячено багато наукових праць як вітчизняних так і закордонних вчених серед яких Абезгауз В. Д. [36], Айзеншток І. Я. [37], Баловнєв В. І. [38], Вєтров Ю. О. [39], Горячкін В. П. [40], Далін А. Д. [41], Домбровський М. Г. [42], Зелєнін А. М. [43], Кравець С. В. [44], Нічке В. В. [45], Фьодоров Д. І. [46], Хмара Л. А. [38].

Для створення РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками, властивості якого будуть сприяти зменшенню енергоємності процесу копання, був проведений аналіз теорії різання та фізики руйнування ґрунту, при якому враховувались характеристики і властивості розроблюваного середовища.

Айзеншток І. Я.

$$P = kbh \times \frac{\cos \nu}{\cos(\nu+\beta)[1-\tan \rho \tan(\nu+\beta) \sin \beta]}, \quad (1.19)$$

де k – коефіцієнт зчеплення ґрунту; b, h – відповідно ширина та глибина копання; ν – кут мінімальної сили різання; β – кут нахилу поверхні здвигу.

Абезгауз В. Д.

$$P = ab\sigma_c \left(k_p + k_s \frac{\Delta_2 + l_0 b}{a} \right), \quad (1.20)$$

де a, b – відповідно глибина та ширина зрізу; σ_c – межа міцності матеріалу в момент всебічного стиснення; k_p – коефіцієнт, враховуючий опір різанню; k_s – коефіцієнт, який характеризує питому силу необхідну для впровадження задньої поверхні РО в розроблюване середовище; Δ_2 – лінійний знос задньої поверхні; $l_0 b$ – середня товщина ущільненого ядра перед ріжучим елементом.

Баловнєв В. І.

$$P_p = A(1 + \cot \alpha \tan \delta)bh \times \left(\frac{\gamma h}{2} + h \cot \rho + q_{пл} \right), \quad (1.21)$$

де A – коефіцієнт, який визначається аналітично; δ – кут зовнішнього тертя; ρ – кут внутрішнього тертя; $q_{пл}$ – об'єм зрізаного пласту.

Вєтров Ю. А.

$$P = \gamma m_{CB}bh + 2m_{БОК}h^2 + 2m_{БОК,CF}h, \quad (1.22)$$

де γ – коефіцієнт, який враховує кут різання; m_{CB} – питома сила різання, яка утворюється в лобовій частині прорізу при куті різання $\alpha = 45^\circ$; $m_{БОК}$ –

коефіцієнт, який характеризує силу, виникаючу при руйнуванні ґрунту в бокових частинах прорізу; $m_{\text{БОК.СР}}$ – коефіцієнт, який характеризує питому силу, яка виникає при зрізанні ґрунту боковими ребрами ножа.

Горячкін В. П.

$$P = fG + kab + \varepsilon abv^2, \quad (1.23)$$

де f – коефіцієнт тертя плуга о ґрунт; G – вага плуга; k – коефіцієнт опору деформації зрізу; a – ширина зрізу; ε – коефіцієнт, який враховує опори, виникаючі при відкиданні вирізаного пласта ґрунту; v – швидкість руху плуга.

Далін А. Д.

$$\begin{aligned} \text{при } \alpha_p < 50^\circ: P &= P_{(\alpha_p=20^\circ)}(1 + 0,017\alpha_p), \\ \text{при } \alpha_p > 50^\circ: P &= P_{(\alpha_p=20^\circ)}(1 + 0,06\alpha_p), \end{aligned} \quad (1.24)$$

де $P_{(\alpha_p=20^\circ)}$ – опір різанню ґрунту при куті різання $\alpha_p = 20^\circ$; α_p – кут різання.

Домбровський М. Г.

$$P = kbh = kF, \quad (1.25)$$

де k – коефіцієнт питомого опору копанню ґрунту РО; F – площа різання.

Зеленін А. М.

а) при копанні елементарними профілями:

$$P = ch^{1.35}(1 + 0,1s) \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{180^\circ}\right) \beta_0, \quad (1.26)$$

б) при копанні ріжучими профілями без зубців:

$$P = ch^{1.35}(1 + 2,6L)(1 + 0,0075\alpha) \times (1 + 0,035)\beta_0\mu, \quad (1.27)$$

де c – коефіцієнт щільності ґрунту, який визначається динамічним щільноміром ДорНДІ; h – глибина різку; α – кут різання; s – товщина профілю; L – довжина горизонтальної кромки; β_0 – коефіцієнт, який залежить від куту загострення; μ – коефіцієнт, який характеризує вплив блокованих сторін різку.

Кравець С. В.

$$P = b_c q_{\text{СР}} h_{\text{КР}} [(f + f_{\text{ОП}}) \tan \alpha + (1 - f f_{\text{ОП}})] + K_{\text{УП}} b (H - h_{\text{КР}}), \quad (1.28)$$

де b_c – ширина зрізу; $q_{\text{СР}}$ – середній об'єм зрізаного ґрунту; $h_{\text{КР}}$ – критична товщина різання; f – коефіцієнт зовнішнього тертя; $f_{\text{ОП}}$ – коефіцієнт переміщення базової машини; $K_{\text{УП}}$ – питомий опір різанню ґрунту.

Фьодоров Д. І.

$$P = P_{CT} + G_{ГР}(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) \cos \alpha + P'_{CT}\mu + P_{ЗС} + P_{ВІВ} + P_{ЗГ}, \quad (1.29)$$

де P_{CT} – опір ґрунту стисненню; $G_{ГР}$ – вага ґрунту над ножом; μ – коефіцієнт тертя ґрунту о сталь; α – кут різання; P'_{CT} – опір ґрунту стисненню поверхні зносу ножа; $P_{ЗС}$ – опір ґрунту зсуву по боковим поверхням; $P_{ЗГ}$ – опір зрізаної стружки ґрунту згину.

Хмара Л. А.

$$P = P_{Р.НОЖ} + P_{ЗАТ} + P_{Б.Н} + P_{ГР} + P_{ОТВ} + P_{ПР.ГР}, \quad (1.30)$$

де $P_{Р.НОЖ}$ – опір лобової поверхні ножа при відділенні ґрунту від масиву; $P_{ЗАТ}$ – опір врізання леза при наявності затуплення; $P_{Б.Н}$ – опір від сил тертя бокової грані ножа зуба о ґрунт; $P_{ГР}$ – опір від сил тертя пласта о ґрунт; $P_{ОТВ}$ – опір від сил тертя пласта о металеву поверхню; $P_{ПР.ГР}$ – опір призми волочіння.

1.5.4. Визначення дотичних зусиль на ріжучій кромці ковша ОГЕ

Ряд досліджень по визначенню дотичних зусиль і реактивних зусиль механізмах приводу РО ОГЕ виконано у роботах Л. А. Хмари та В. К. Тимошенко [28, 29].

При розрахунках приймають, що гідроциліндр рукояті (ковша) розвиває постійне активне зусилля $F_{ГЦ}$ при номінальному тиску P_H в гідроприводі:

$$F_{ГЦР(К)} = P_H \frac{\pi D^2}{4}, \quad (1.31)$$

де D – діаметр поршня гідроциліндра.

Дотичні зусилля на ріжучій кромці ковша знаходять з рівності рушійного моменту від гідроциліндра моменту зовнішніх сил відносно осі обертання рукояті (точка B) при максимально опущеній нерухомій стрілі (рис. 1.26, а):

$$P_{01} = \frac{F_{ГЦР}r_{ГЦР} \pm G_P r_{PB} \mp G_{КГ} r_{KB} + 0.5 G_{ГЦР} r_B}{r_{OB}}, \quad (1.32)$$

а при копанні обертанням ковша відносно точки C при нерухомій рукояті (рис. 1.26, б):

$$P_{01} = \frac{F_{ГЦР}r_{ГЦР} \frac{r_{TC}}{r_{TD}} \pm G_{КГ} r_{KC}}{R}, \quad (1.33)$$

орієнтуватися в безперервно обновлюваній землерийній техніці, особливо в умовах широкого застосування систем автоматизованого проектування [47].

Для підвищення темпів пошуку нових рішень на етапі проектування систем покладено ряд методичних рекомендацій та розробок [48]. Широке застосування знаходять прийоми розчленування [49, 50] та аналізу функціонального призначення об'єкту та його частин, запропонований В. І. Баловнєвим та Л. А. Хмарою [38].

Метод не дає конкретних директив по розділенню об'єкту на елементи і складання з них нового. Методи комбінаторики, основані на трикутнику Паскаля, дозволяють визначити загальну кількість можливих конструктивних рішень.

Об'єкт являє сукупність N елементів. Перестановкою з n при $n \leq N$ тут є будь-яка кінцева послідовність, котра отримується в результаті впорядкованості деякої множини таких елементів.

Кількість різноманітних сполучень (комбінацій) із загальної кількості N елементів по n елементів C_N^n визначається залежностями [45]:

$$C_N^N = 1; \quad (1.34)$$

$$C_N^{n-1} = \frac{N!}{(n-1)!}; \quad (1.35)$$

$$C_N^{n-2} = \frac{N!}{(n-2)!2!}; \quad (1.36)$$

.....

$$C_N^{N-(n-1)} = \frac{N!}{[N-(n-1)]!(n-1)!}. \quad (1.37)$$

Кількість сполучень елементів, коли в кожному присутній постійний елемент:

$$C_{N-1}^{n-1} = \frac{(N-1)!}{(N-n)!(n-1)!}. \quad (1.38)$$

Кількість сполучень елементів, коли в кожній з множин присутні по m постійних елементів:

$$C_{N-m}^{n-m} = \frac{(N-m)!}{(N-n)!(n-m)!}. \quad (1.39)$$

Стосовно до формування робочих органів землерийних машин в якості постійних елементів розглядаються зуби, ножі, наявність яких обов'язкова.

Сума можливих сполучень з N елементів по n , де обов'язково присутні 1, 2, ..., m елементів при $N \geq n \geq m$:

$$\Pi = \sum_{k=1}^m C_{N-1}^{n-k} = C_{N-1}^{n-1} + C_{N-2}^{n-2} + \dots + C_{N-m}^{n-m}. \quad (1.40)$$

Процес утворення нових технічних об'єктів з наявного набору елементів можна розглядати як випадковий. Вірогідність події, яка характеризує отримання раціональних конструкцій :

$$p_i = \frac{\sum_1^k N_i}{\sum_1^n N_j} \text{ при } N_i \in N_j, \text{ а } k \ll n, \quad (1.41)$$

де p_i – вірогідність події отримання фізично можливих раціональних конструкцій; $\sum_1^k N_i$ – загальна кількість фізично можливих раціональних конструкцій; $\sum_1^n N_j$ – загальна кількість можливих рішень, які включають фізично нереалізовані та нераціональні.

Шукана вірогідність p_i визначає досить малу величину, так як $k \ll n$.

Метод розчленування в розглянутому варіанті володіє низкою суттєвих недоліків, які ускладнюють його практичне застосування при формуванні ТРО ОГЕ:

- відсутні чіткі рекомендації по методиці розчленування для формування ТРО;
- відсутні рекомендації по вибору елементів ТРО, потребуючих удосконалення;
- відсутні рекомендації по складанню нового раціонального конструктивного рішення ТРО.

Висновки по розділу 1

Аналіз технічних рішень по зміні геометричних параметрів РО ОГЕ показав, що в реальних конструкціях РО зазвичай використовуються секції РО збільшеного розміру, додаткові секції РО, а також телескопічні рукояті. При цьому, конструктивне телескопуванням стріли не використовується. Окрім цього, огляд світових та вітчизняних моделей ОГЕ показав, що екскаватори III

та IV розмірних груп, масою від 14т до 35т та обладнані ківшами місткістю від 0.4м^3 до 1.4м^3 дозволяють проводити роботи по розробці ґрунту на максимальній глибині від 5.5...7м (традиційне РО) до 14...18м (РО збільшеної довжини) та до 30м при використанні грейферних ковшів у поєднанні з телескопічною рукояттю. Таким чином, виникає задача по формуванню параметричного ряду різноманітних схем ТРО ОГЕ, яке здатне виконувати роботи по розробці ґрунту та спеціальні роботи в цих межах глибин

Огляд досліджень по формуванню, оцінці ефективності та вивченню процесів взаємодії РО ОГЕ зі змінними геометричними характеристиками з ґрунтовим середовищем, котрі викладені у розділі, показали, що:

- формування ТРО ОГЕ на основі метода розчленування та комбінаторного синтезу має низку суттєвих недоліків [45];

- розрахунково-технічні та методичні підходи по визначенню продуктивності ОГЕ не враховують час пересування машини та збільшення об'єму розроблюваного ґрунту, пов'язане із застосуванням ТРО;

- комплекс показників для оцінки ефективності машин для земляних робіт не враховує збільшення глибини копання, пов'язане із застосуванням ТРО, що не дозволяє в повній мірі оцінити ефективність обладнання цього типу;

Окрім цього, досліджень по адаптації товщини зрізаної стружки в процесі роботи робочим органом ОГЕ не знайдено.

Метою дисертаційної роботи 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 оптимізаційну математичну модель для визначення 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.

Результати дослідження, які викладені у першому розділі дисертації, опубліковані автором у наукових виданнях та представлені у загальному списку літератури [51, 52, 53, 54].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТРО ОГЕ

2.1. Формування ТРО ОГЕ

Методи структурного синтезу передбачають розчленування об'єкту на складові елементи з наступним об'єднанням їх у нову структуру та виконання низки етапів (рис. 2.1) [38, 49, 50]. Розглянемо ТРО ОГЕ, як структуру, яка складається з n секцій елемента стріли A та k секцій елемента рукояті B .

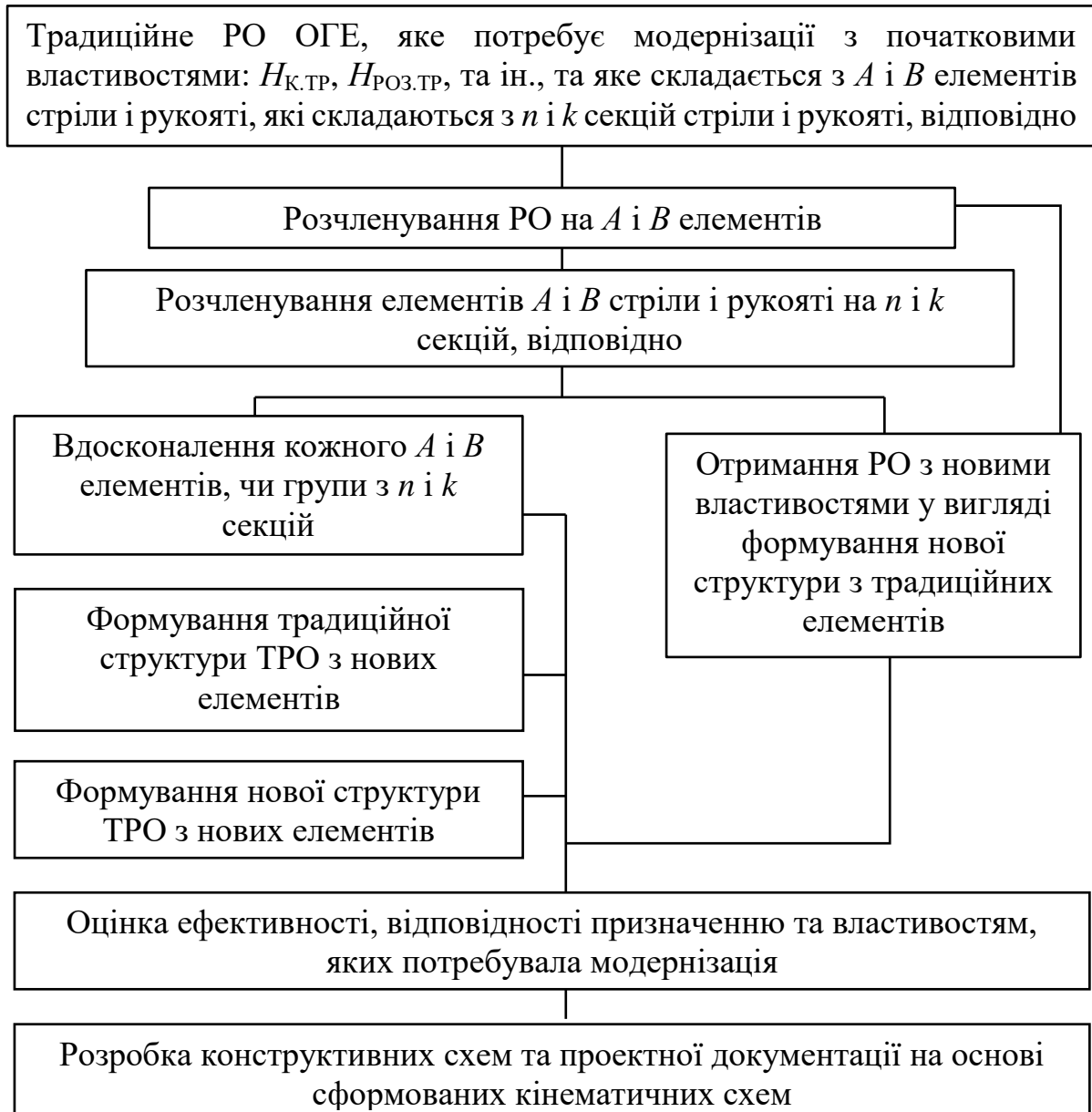


Рис. 2.1. Схема формування ТРО ОГЕ методом структурного синтезу

На першому етапі здійснюється операція по розділенню РО на елементів стріли A та рукояті B на секції n і k , відповідно, з використанням низки традиційних змінних робочих органів, таким чином отримується різноманіття

традиційних елементів, з яких можливо отримати нові структури без модернізацій кожного з них. Далі розкриваються етапи по формуванню нових рішень. В розділі 1 були розглянуті нові рішення, які полягають у формуванні нової структури РО, яка складається з традиційних елементів без їх зміни (наприклад, декількох традиційних рукоятей, рис 1.2), а також рішень пов'язаних з вдосконаленням та модифікацією кожного елементу та формування традиційної структури (рис. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7), а також формування нових структур з нових елементів (рис. 1.8, 1.9, 1.12, 1.13, 1.14).

Формування як традиційних структур ТРО з телескопічних елементів, так і нових структур ТРО з телескопічних елементів здатне забезпечити різноманіття зміни лінійних параметрів обладнання для розробки ґрунту на глибинах в межах від $H_K=5.5\dots 22$ м, а також до $H_K=35$ м з використанням грейферних ковшів. З означеним різноманіттям в повній мірі здатні впоратись одно-, двох- і трисекційні телескопічні системи 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 синтез у нові структури у поєднанні з основними видами робочих органів $\{E_w\}$. Структури з більшою кількістю телескопічних елементів є менш доцільними, оскільки виникають питання по забезпеченню жорсткості та розподіленню ваги телескопічних елементів і їх приводів, а також складності конструкції [55, 56, 57]. Для полегшення розрахунків та комбінаторної кількості варіацій ТРО, умовно вважаємо рівнозначними конструкції моноблочної та шарнірно-зчленованої стріли – $\{A1, A2\} = A$, де $A1$ – моноблочна конструкція стріли; $A2$ – шарнірно-зчленована конструкція стріли. Описати створення подібних структур можна використовуючи метод орієнтованих гіперграфів. Представимо схему формування ТРО ОГЕ, зображену на рисунку 2.1 у вигляді орієнтованого гіперграфу – рисунок 2.2, а структурний гіперграф комбінацій реалізованих рішень на рисунку 2.3.

Компактна та впорядкована структура гіперграфу формування ТРО ОГЕ, показана на рисунках 2.2 та 2.3 дає підстави вважати рішенням деякий

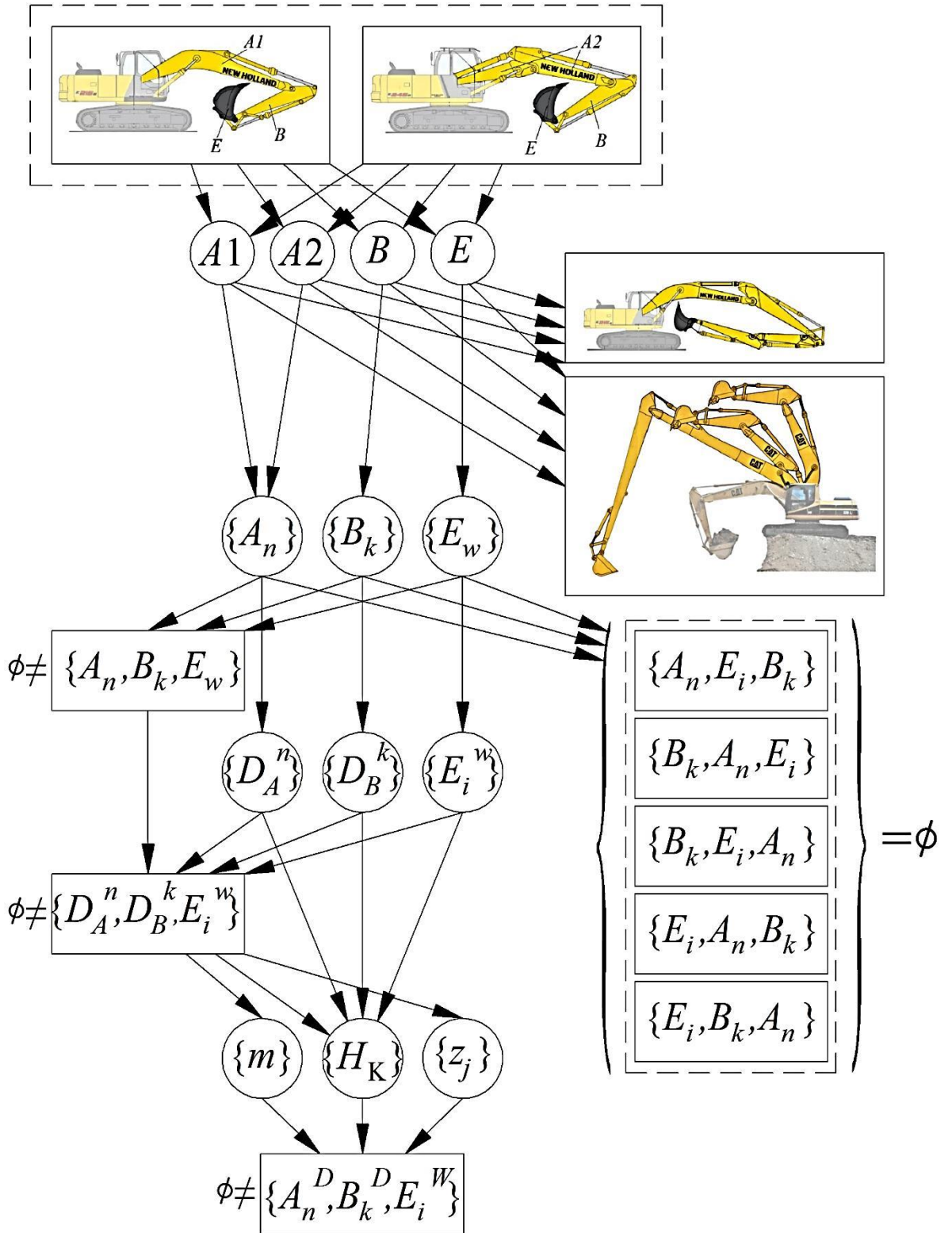


Рис. 2.2. Структурний гіперграф формування ТРО ОГЕ

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 [58, 59, 60].

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 c . 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

$$out(\{A, B, E\}) = \bigcup_{(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \in \{A, B, E\}} out(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}), \quad (2.1)$$

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

$$in(\{A, B, E\}) = \bigcup_{(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \in \{A, B, E\}} in(\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \setminus out(\{A, B, E\}), \quad (2.2)$$

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

$$in(c) = \emptyset, \quad (2.3)$$

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

$$\forall (\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\}) \in \{A, B, E\}, in(\{A, B, E\} \setminus (\{A_n\}, \{B_k\}, \{E_w\})) \neq \emptyset. \quad (2.4)$$

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 $\{B_k\}$ (рис.2.4) представимо у вигляді декартового добутку їх комбінацій $\{A_n\} \times \{B_k\} \Leftrightarrow \{A_0, A_1, A_2\} \times \{B_0, B_1, B_2\}$:

$$A \times B = \{(A_n B_k) | A_n \in A \wedge B_k \in B\}, \quad (2.5)$$

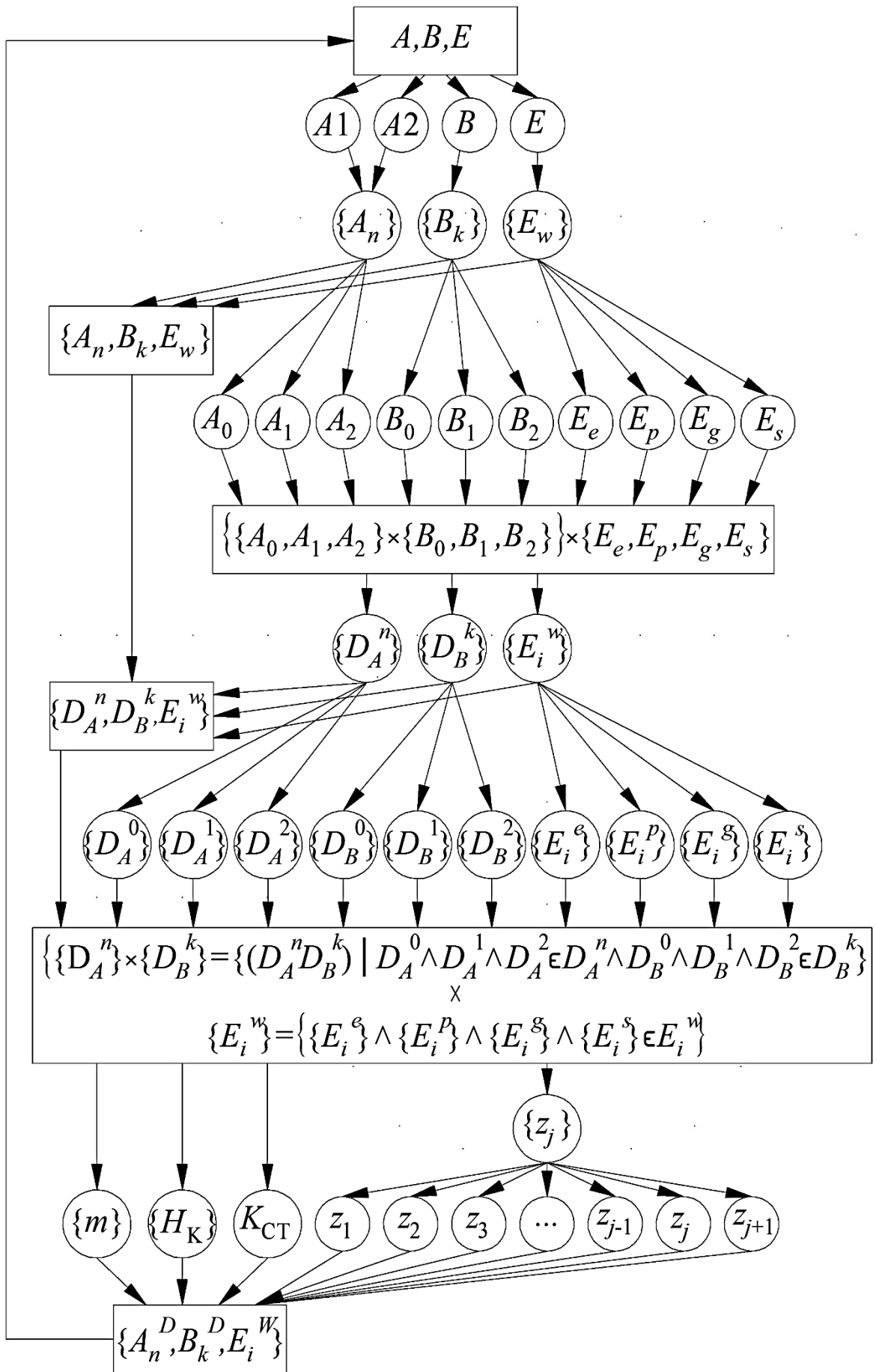


Рис. 2.3. Структурний гіперграф комбінацій реалізованих рішень ТРО ОГЕ

$$\{A_0, A_1, A_2\} \times \{B_0, B_1, B_2\} = \begin{matrix} & B_0 & B_1 & B_2 \\ A_0 & A_0B_0 & A_0B_1 & A_0B_2 \\ A_1 & A_1B_0 & A_1B_1 & A_1B_2 \\ A_2 & A_2B_0 & A_2B_1 & A_2B_2 \end{matrix} \quad (2.6)$$

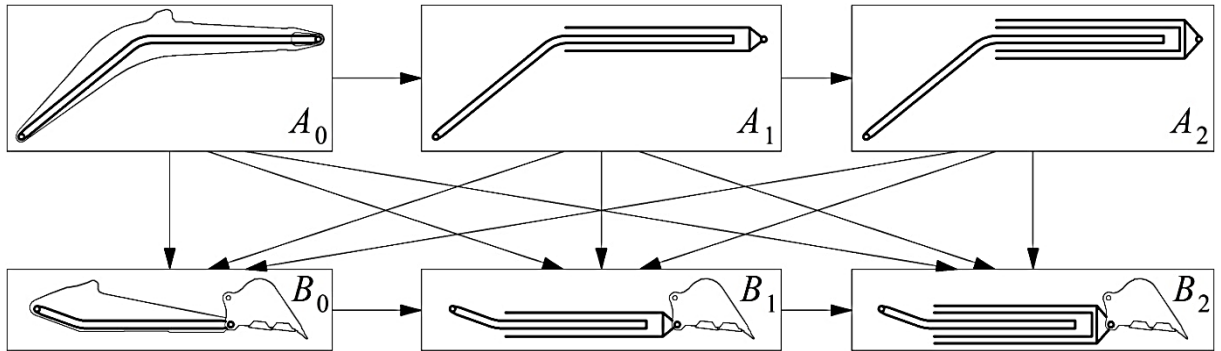


Рис. 2.4. Структурний граф комбінацій ТРО ОГЕ

Різноманіття сполучень отриманих кінематичних схем з одно-, двох- і трисекційних ТС стріли ($A_{TP}=n$; $A_{T.1}=n+n_1$; $A_{T.2}=n+n_1+n_2$) та рукояті ($B_{TP}=k$; $B_{T.1}=k+k_1$; $B_{T.2}=k+k_1+k_2$), представлено на рисунку 2.5 у кількості 9 кінематичних схем без урахування робочих органів.

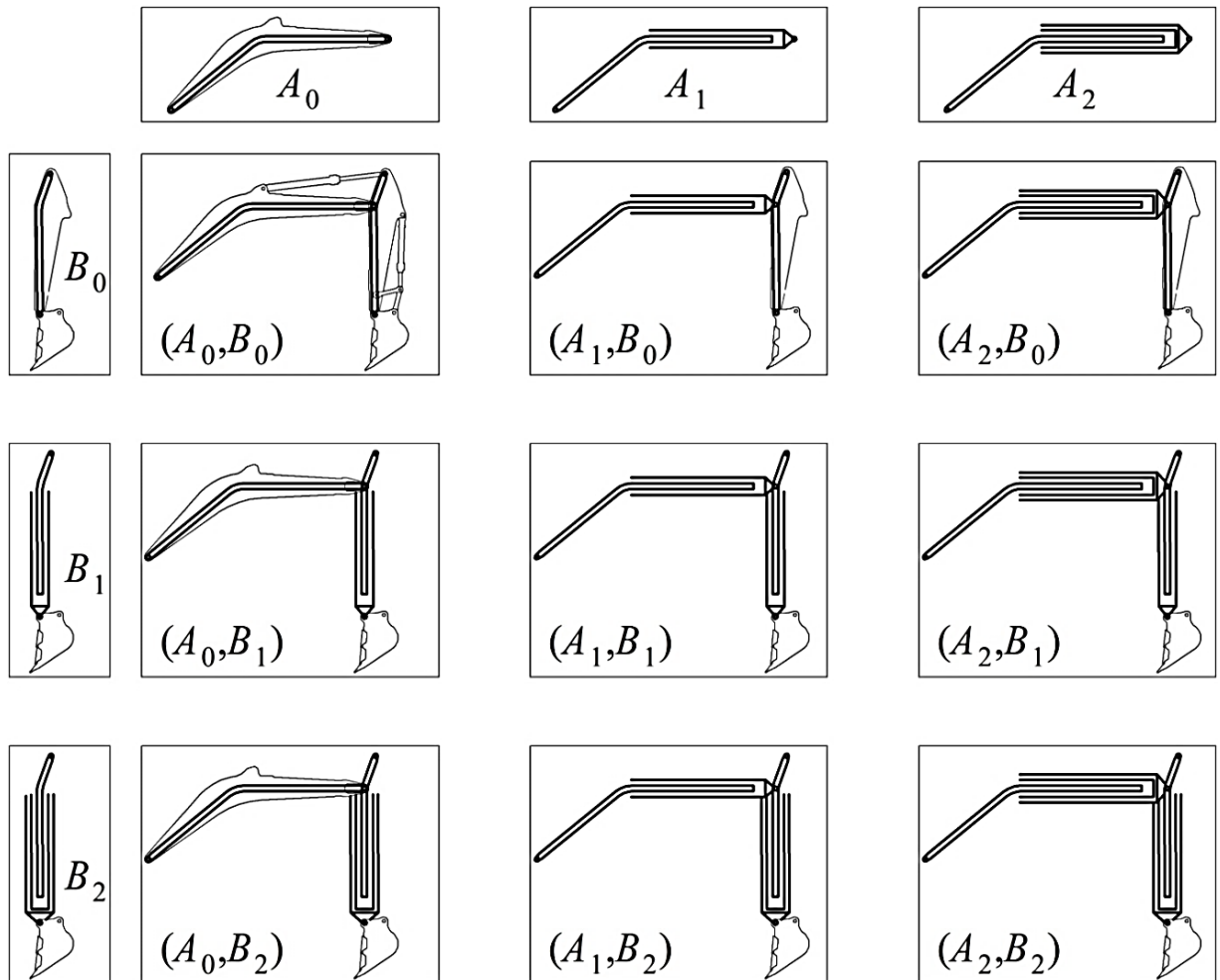


Рис. 2.5. Кінематичні схеми ТРО ОГЕ

Представимо задачу структурного синтезу в формі дискретного математичного програмування [58, 59, 60]. Нехай існує ряд елементів ТРО, а його узагальнена структура задана в виді орієнтованого гіперграфу. Позначимо через $Z = \{z_i, i = \overline{1, n}\}$ множину гіпердуг графу, а через $S = \{s_j\}$ – множину його вершин:

$$\{s_j\} = \{A_n\} + \{B_k\} + \{E_w\}, \quad (2.7)$$

$$\{z_i\} = C_{\{z_i\}}^{\{c\}}; \quad (2.8)$$

$$C_{\{s_j\}}^{\{c\}} = \frac{\{s_j\}!}{(\{s_j\} - \{c\})! \cdot \{c\}!}. \quad (2.9)$$

Для формалізації задачі введемо змінні:

1. $z_i, i = \overline{1, n}$

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо дуга входить в рішення;} \\ 0, & \text{в зворотньому випадку.} \end{cases}$$

2. $y_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r_i}$, де y_{ij} – вихід елемента z_i під номером j , а r_i – загальна кількість виходів елемента z_i . Вважаємо, що:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j \text{ – ий зв'язок елемента } z_i \text{ активовано;} \\ 0, & \text{в зворотньому випадку.} \end{cases}$$

3. $x_{ik}, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, m_i}$, де x_{ik} – вхід елемента z_i під номером k , а m_i – загальна кількість входів елемента z_i . Вважаємо, що

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k \text{ – ий зв'язок елемента } z_i \text{ активовано;} \\ 0, & \text{в зворотньому випадку.} \end{cases}$$

Змінні z_i, y_{ij}, x_{ik} являють собою основні складові для формування системи обмежень для цільових функцій в задачі структурного синтезу.

Будь-яке рішення задачі структурного синтезу складається з активованих дуг орієнтованого гіперграфу. Дуга є активованою тоді і тільки тоді, коли активовані всі її виходи. Напишемо цю умову в вигляді наступної системи рівнянь:

$$r_i z_i = \sum_{j=1}^{r_i} y_{ij}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2.10)$$

Перевіримо, якщо $z_i = 0$, тоді усі змінні $y_{ij} = 0$, або якщо $z_i = 1$, то всі $y_{ij} = 1$.

Для активування елемента необхідно активувати усі його вхідні зв'язки. Це означає, що $z_i = 1$ тоді і тільки тоді, коли $x_{ik} = 1, k = \overline{1, m_i}$. Якщо $\exists x_{ik} = 0$, то $z_i = 0$. Для запису цієї умови в алгебраїчній формі введемо n допоміжних змінних $u_i \in \{0,1\}, i = \overline{1, n}$. Розглянемо систему нерівностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^{m_i} x_{ik} - m_i \geq -m_i u_i; \end{array} \right. \quad (2.11.1)$$

$$z_i - 1 \geq -u_i; \quad (2.11.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^{m_i} x_{ik} \geq m_i z_i; \end{array} \right. \quad (2.11.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^{m_i} x_{ik} - m_i < 1 - u_i; \end{array} \right. \quad (2.11.4)$$

$$i = \overline{1, n}.$$

Нехай $z_i = 1$, в цьому випадку підсистема (2.11.2) виконується при будь-яких значеннях u_i . Із (2.11.3) слідує, що $x_{ik} = 1, k = \overline{1, m_i}$. Підсистема (2.11.4) приймає вигляд $0 < 1 - u_i$, звідси виходить, що $u_i = 0, i = \overline{1, n}$ і підсистема (2.11.1) виконується автоматично.

Якщо $z_i = 0$, то (2.11.3) виконується автоматично для будь-яких значень аргументів в лівій частині. Підсистема (2.11.2) зводиться до вигляду $u_i \geq 1$, котрий має єдине рішення $u_i = 1, i = \overline{1, n}$. Підставимо ці значення в (2.11.1) та в (2.11.4). Перша підсистема прийме форму $\sum_{k=1}^{m_i} x_{ik} \geq 0$, та виконується тривіально. Підсистема (2.11.4) перетвориться в $\sum_{k=1}^{m_i} x_{ik} < m_i$, яка справедлива, якщо хоча б один з аргументів лівої частини дорівнює нулю.

Формалізуємо умову збуджуваності входів елементів узагальненої структури обладнання. Кожен активний вхід повинен бути забезпечений по крайній мірі одним активним виходом, який знято з іншого елемента гіперграфу. Для формалізації цієї умови усі змінні вигляду x_{ik} та u_{ij} впорядкуємо лексикографічно по значенням їх індексів. Після цієї операції

змінна $x_{ik}(y_{ij})$ отримує новий одинарний індекс $\alpha(i, k)$ ($\beta(i, j)$), який показує номер змінної в лексикографічному впорядкуванні.

Позначимо через $M = \sum_{i=1}^n r_i$ та $K = \sum_{i=1}^n m_i$. Нехай задана прямокутна матриця (0,1) – матриця $P = \|p_{ij}\|$ розміру $K \times M$, в якій

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо вхід } x_i \text{ забезпечений виходом } y_j ; \\ 0, \text{ в іншому випадку,} \end{cases}$$

де i та j – номери змінних x_i та y_j в новому лексикографічному впорядкуванні.

Систему нерівностей, які формалізують умову забезпеченості активованих входів, можна записати в наступному вигляді:

$$\sum_{j=1}^M p_{ij} \geq x_i, i = \overline{1, k}. \quad (2.12)$$

Якщо $x_i = 1$, то в цій сумі знайдеться хоча б один доданок виду 1×1 . Це значить, що існує активований вихід, який забезпечує вхід x_i . Якщо $x_i = 0$, то нерівність виконується автоматично.

Будь-яке вірне рішення задачі структурного синтезу ТРО повинно задовольняти поставленим технічним вимогам, наприклад, відповідність вазі базової машини m , максимальній глибині копання H_K , машина повинна бути стійкою $K_{СТ} > 1$, де $K_{СТ}$ – коефіцієнт стійкості, а також комплексу показників критеріїв оптимізації. Для цього включимо в рішення гіперграфу умовний елемент «зовнішнє середовище» :

$$z_1 = 1. \quad (2.13)$$

Система рівнянь (2.7) - (2.10) виражає фізичний сенс структурного синтезу по узагальненій структурі, зображеної у вигляді орієнтованого гіперграфу. Будь-яке рішення цієї системи являє собою допустимий варіант структури ТРО. Система є відкритою і допускає включення додаткових обмежень, які описують особливості прийняття технічного рішення в конкретній ситуації.

Розглянемо заборони на поєднання. Вважаємо, що заборонені комбінації структурних елементів ТРО задані у вигляді матриці ідентичності $Q = \|q_{ij}\|$

розміру $n \times l$, де n – кількість елементів узагальненої структури (2.7), а l – кількість заборонених комбінацій:

$$l = C_{\{s_j\}}^{\{c\}} - \{c | A_n \wedge B_k \wedge E_w \subset c\}, \quad (2.14)$$

де $\{c\}$ – множина структур по три елемента; $\{c | A_n \wedge B_k \wedge E_w \subset c\}$ – коректна структура, визначається по (2.5) та (2.6). Елементи цієї матриці задаються наступним виразом:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо елемент } z_i \text{ входить у заборонену комбінацію } v_j; \\ 0, \text{ в іншому випадку.} \end{cases}$$

Заборони на сполуки можна записати у вигляді наступної системи нерівностей:

$$\sum_{i=1}^n q_{ij} z_i < \sum_{i=1}^n q_{ij}, j = \overline{1, l}. \quad (2.15)$$

Усі залежності приведені системи обмежень (2.10)-(2.15) є лінійними, а областю визначення змінних є множина $\{1, 0\}$, таким чином, поставлена задача відноситься до задач лінійного булевого програмування.

Описана комбінаторна-логічна модель дозволяє отримувати нові рішення за рахунок коректного поєднання елементів, які належать реалізованим рішенням. Синтез нових структур ТРО (рис. 2.5) з основними видами робочих органів $\{E_w\}$, наприклад розглянутих у першому розділі (рис. 1.23, 1.24), дозволяє отримати 117 коректних структур ТРО. Синтез у нові структури з урахуванням відомих конструктивних схем для даних ТС, наприклад представлених на рисунку 1.22, дозволяє отримати $\{c | A_n \wedge B_k \wedge E_w \subset c\} = 2197$ коректних структур (при $\{D_A^0\} = 2$, $\{D_A^1\} = 6$, $\{D_A^2\} = 5$, $\{D_B^0\} = 2$, $\{D_B^1\} = 6$, $\{D_B^2\} = 5$, тобто однакових схемах ТС стріли та рукояті та $\{E_w\} = 13$). При цьому, відповідно до (2.9) загальна кількість можливих отриманих структур $C_{\{s_j\}}^{\{c\}} = 9139$, тобто 24.04% є коректними структурами, знаходження цільової функції у вигляді коректної структури ТРО, яка відповідає межах заданих показників оцінки ефективності.

Користуючись методами комбінаторики та структурного синтезу визначаємо загальну кількість можливих технологічних схем, перемінними

факторами в яких буде кількість задіяних для роботи приводів в телескопічних системах стріли та рукояті.

Нехай об'єкти A і B являють собою сукупність телескопічних елементів n і k , а число технологічних схем визначатиметься кількістю задіяних приводів z елементів n і k , в об'єктах A і B (рис.2.4), тоді кількість варіативних комбінацій роботи ТРО ОГЕ дорівнюватиме:

$$A_n B_k \rightarrow \{A_0 \vee \{A_1^z\} \vee \{A_2^z\}\} \times \{B_0 \vee \{B_1^z\} \vee \{B_2^z\}\}, \quad (2.16)$$

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;

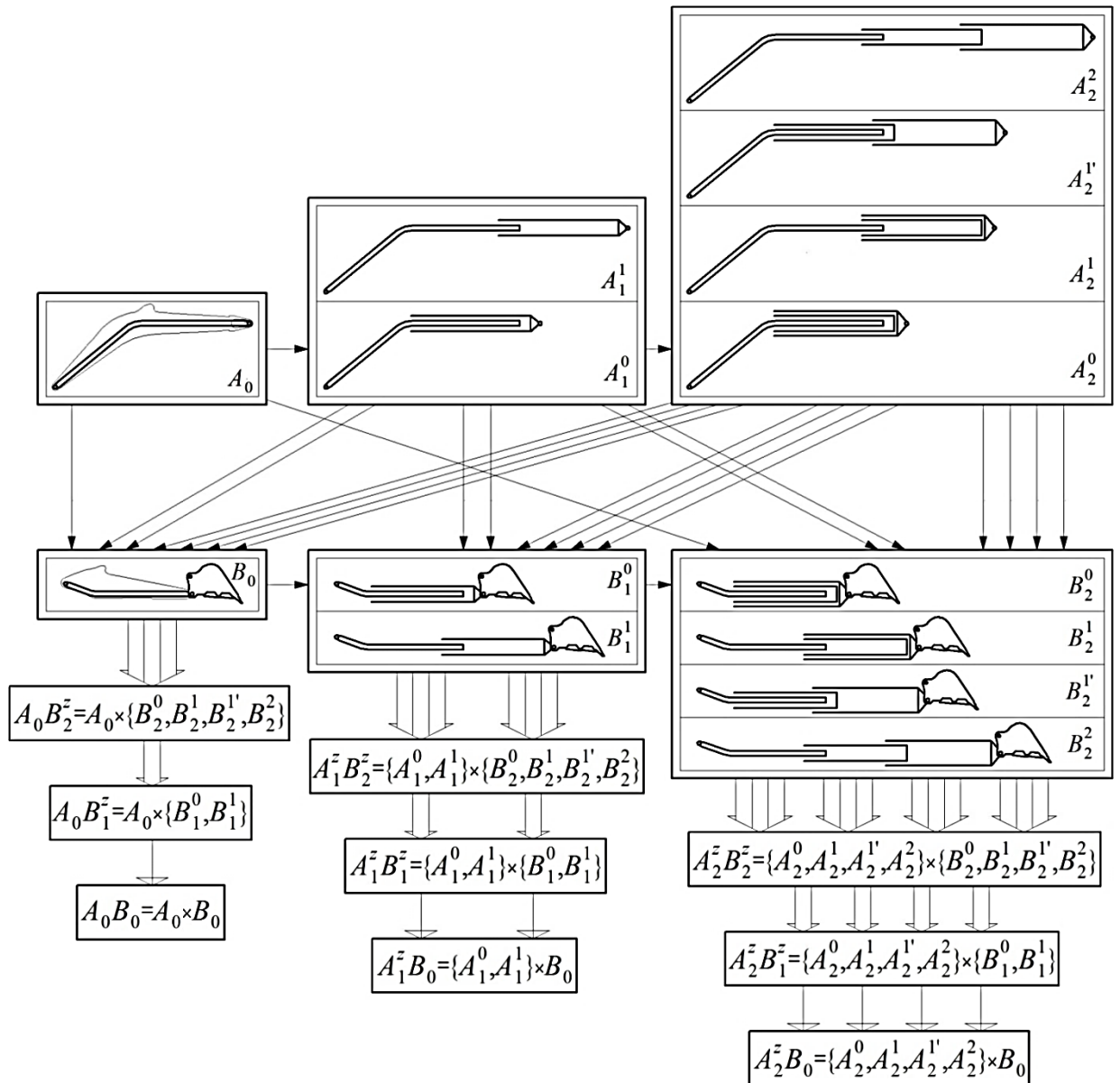


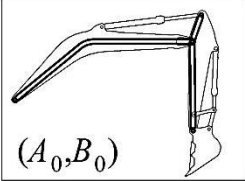
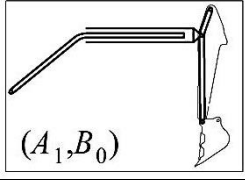
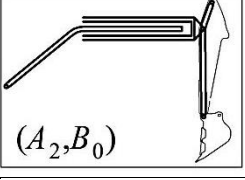
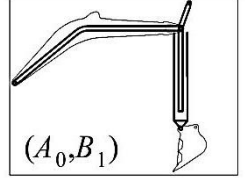
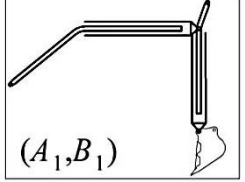
Рис. 2.6. Структурний гіперграф варіацій технологічних схем ТРО ОГЕ

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.

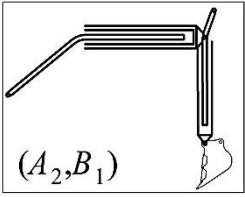
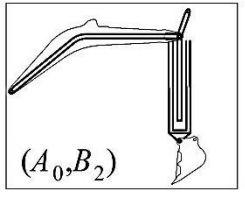
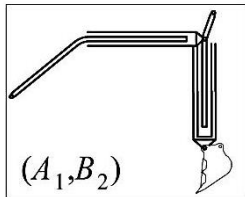
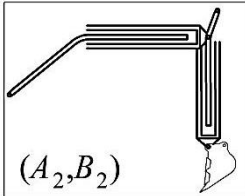
Варіацій реалізованих технологічних схем ТРО ОГЕ зображених на рисунку 2.6 представлено у таблиці 2.1. Отримані структури із традиційних та телескопічних елементів включають усі можливі комбінації та варіації технологічних схем, та налічують $\{A_n^Z B_k^Z\} = 49$ варіантів.

Таблиця 2.1

Варіації технологічних схем ТРО ОГЕ

Кінематична схема $A \times B$ $= \{(A_n B_k) A_n \in A \wedge B_k \in B\}$	Число тел. елем. та їх приводів			Структурна формула $(A_n B_k) = \{A_n\} \times \{B_k\}$	Варіації технологічних схем $\{A_n^Z B_k^Z\} = \{A_n^Z\} \times \{B_k^Z\}$	
	n	k	z		С	формула
1	2	3	4	5	6	7
 (A_0, B_0)	0	0	0	$(A_0 B_0) = A_0 \times B_0$	1	$A_0^Z B_0^Z = A_0 \times B_0$
 (A_1, B_0)	1	0	1	$(A_1 B_0) = \{A_1\} \times B_0$	2	$A_1^Z B_0^Z = A_1^0 \times B_0$ $A_1^Z B_0^Z = A_1^1 \times B_0$
 (A_2, B_0)	2	0	2	$(A_2 B_0) = \{A_2\} \times B_0$	4	$A_2^Z B_0^Z = A_2^0 \times B_0$ $A_2^Z B_0^Z = A_2^1 \times B_0$ $A_2^Z B_0^Z = A_2^{1'} \times B_0$ $A_2^Z B_0^Z = A_2^2 \times B_0$
 (A_0, B_1)	0	1	1	$(A_0 B_1) = A_0 \times \{B_1\}$	2	$A_0^Z B_1^Z = A_0 \times B_1^0$ $A_0^Z B_1^Z = A_0 \times B_1^1$
 (A_1, B_1)	1	1	2	$(A_1 B_1) = \{A_1\} \times \{B_1\}$	4	$A_1^Z B_1^Z = A_1^0 \times B_1^0$ $A_1^Z B_1^Z = A_1^1 \times B_1^0$ $A_1^Z B_1^Z = A_1^0 \times B_1^1$ $A_1^Z B_1^Z = A_1^1 \times B_1^1$

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
 (A ₂ , B ₁)	2	1	3	(A ₂ B ₁) = {A ₂ } × {B ₁ }	8	$A_2^z B_1^z = A_2^0 \times B_1^0$ $A_2^z B_1^z = A_2^1 \times B_1^0$ $A_2^z B_1^z = A_2^{1'} \times B_1^0$ $A_2^z B_1^z = A_2^2 \times B_1^0$ $A_2^z B_1^z = A_2^0 \times B_1^1$ $A_2^z B_1^z = A_2^1 \times B_1^1$ $A_2^z B_1^z = A_2^{1'} \times B_1^1$ $A_2^z B_1^z = A_2^2 \times B_1^1$
 (A ₀ , B ₂)	0	2	2	(A ₀ B ₂) = A ₀ × {B ₂ }	4	$A_0 B_2^z = A_0 \times B_2^0$ $A_0 B_2^z = A_0 \times B_2^1$ $A_0 B_2^z = A_0 \times B_2^{1'}$ $A_0 B_2^z = A_0 \times B_2^2$
 (A ₁ , B ₂)	1	2	3	(A ₁ B ₂) = {A ₁ } × {B ₂ }	8	$A_1^z B_2^z = A_1^0 \times B_2^0$ $A_1^z B_2^z = A_1^1 \times B_2^0$ $A_1^z B_2^z = A_1^0 \times B_2^1$ $A_1^z B_2^z = A_1^1 \times B_2^1$ $A_1^z B_2^z = A_1^0 \times B_2^{1'}$ $A_1^z B_2^z = A_1^1 \times B_2^{1'}$ $A_1^z B_2^z = A_1^0 \times B_2^2$ $A_1^z B_2^z = A_1^1 \times B_2^2$
 (A ₂ , B ₂)	2	2	4	(A ₂ B ₂) = {A ₂ } × {B ₂ }	16	$A_2^z B_2^z = A_2^0 \times B_2^0$ $A_2^z B_2^z = A_2^0 \times B_2^1$ $A_2^z B_2^z = A_2^0 \times B_2^{1'}$ $A_2^z B_2^z = A_2^0 \times B_2^2$ $A_2^z B_2^z = A_2^1 \times B_2^0$ $A_2^z B_2^z = A_2^1 \times B_2^1$ $A_2^z B_2^z = A_2^1 \times B_2^{1'}$ $A_2^z B_2^z = A_2^1 \times B_2^2$ $A_2^z B_2^z = A_2^{1'} \times B_2^0$ $A_2^z B_2^z = A_2^{1'} \times B_2^1$ $A_2^z B_2^z = A_2^{1'} \times B_2^{1'}$ $A_2^z B_2^z = A_2^{1'} \times B_2^2$ $A_2^z B_2^z = A_2^2 \times B_2^0$ $A_2^z B_2^z = A_2^2 \times B_2^1$ $A_2^z B_2^z = A_2^2 \times B_2^{1'}$ $A_2^z B_2^z = A_2^2 \times B_2^2$

2.2. Визначення продуктивності та оцінка ефективності ТРО ОГЕ

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

Для оцінки ефективності та експлуатаційних властивостей екскаваторів, обладнаних ТРО та комплексів запропоновано ряд показників різноманітного призначення, які формалізують особливості прийняття технічного рішення в різних проектних ситуаціях (табл. 2.2).

Продуктивність – один з головних критеріїв ефективності одноківшевих екскаваторів та одна з головних початкових величин загального розрахунку цих машин [61, 62, 63, 64].

Розрахунки продуктивності та встановлення робочих розмірів екскаваторів при їх проектуванні безпосередньо пов'язані з об'ємом ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення. Застосування ТРО ОГЕ дає змогу збільшити робочу зону ОГЕ та відповідно об'єм розроблюваного ґрунту у порівнянні з традиційними структурами РО. Поєднання робочих операцій з одночасною зміною геометричних параметрів дозволяє зменшити час на подолання робочих траєкторій обладнанням.

Попередній оціночний аналіз об'єму ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОГЕ – $V_{\text{тех.}i}$, можна провести, знаючи технологічні параметри земляної споруди (ширину – B та глибину копання – H_K) та основні параметри машини-прототипу (рис. 2.7):

$$V_{\text{тех.}i} \cong \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot r_2} \right) \cdot r_2 \cdot \Delta l_i \cdot H_K, \quad (2.17)$$

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

Відстань переміщення екскаватора та радіуси роботи ТРО та у площині стоянки ОГЕ та на дні забою (рис. 2.7) дорівнюють:

$$\Delta l_i = l_{\text{пер.}i} = (r_2 - r_{2\text{поч.}}) \vee (r_1 - r_{1\text{поч.}}) \rightarrow \text{max}, \quad (2.18)$$

$$r_1 = \sqrt{R_K^2 - (H_K + h_{\text{ш}})^2} - \sqrt{\left(\frac{H_K}{\sin \alpha_{\text{заб}}} \right)^2 - H_K^2}; \quad (2.19)$$

$$r_{1\text{поч.}} = \frac{1.2G^{1/3}}{2} + z; \quad (2.20)$$

$$r_2 = \sqrt{R_K^2 - (H_K + h_{\text{ш}})^2}; \quad (2.21)$$

$$r_{2\text{поч.}} = \sqrt{\left(\frac{H_K}{\sin \alpha_{\text{заб}}}\right)^2 - H_K^2} + \left(\frac{1.2G^{1/3}}{2} + z\right), \quad (2.22)$$

де R_K – радіус копання; $h_{\text{ш}}$ – висота кріплення шарніру п'яти стріли; $1.2G^{1/3}$ – поздовжня відстань між ходовими катками гусениці [29], G – маса екскаватора; z – мінімальна відстань від катка ходового пристрою (опор екскаватора) до верхньої брівки відкосу виїмки при умові дотримання допустимого кута відкосу забою $\alpha_{\text{заб}} = 38^\circ \dots 90^\circ$, в залежності від типу ґрунту, та дорівнює $z=0.3 \dots 1$ м [56, 64, 65, 66].

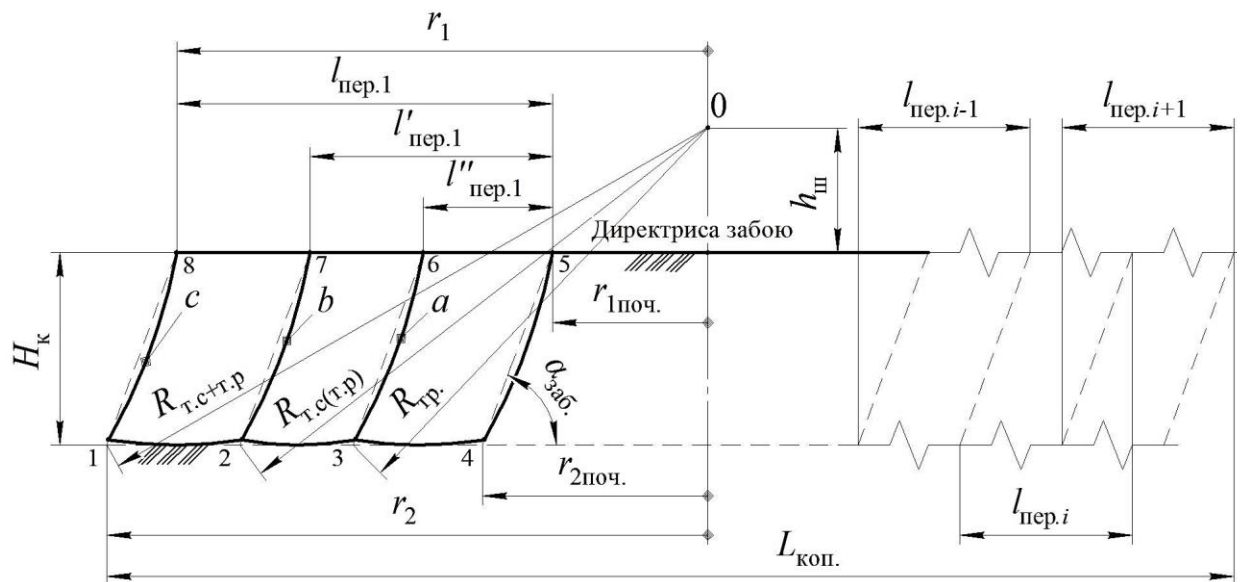


Рис. 2.7. Параметрична схема для визначення об'єму копання ґрунту ТРО та традиційним РО при заданій глибині копання H_K : a, b, c – траєкторії копання традиційним РО, ТРО з телескопічною стрілою (рукояттю) та ТРО з телескопічними стрілою і рукояттю, відповідно; $R_{\text{тр.}}$, $R_{\text{т.с(т.р)}}$, $R_{\text{т.с+т.р}}$ – радіуси копання традиційним РО, ТРО з телескопічною стрілою (рукояттю) та ТРО з телескопічними стрілою і рукояттю, відповідно; $l_{\text{пер.1}}$, $l_{\text{пер.i-1}}$, $l_{\text{пер.i}}$, $l_{\text{пер.i+1}}$ – перша та наступні циклові відстані переміщень ОґЕ з телескопічними стрілою і рукояттю, відповідно; $l'_{\text{пер.1}}$ – циклова відстань переміщення ОґЕ з телескопічною стрілою (рукояттю); $l''_{\text{пер.1}}$ – циклова відстань переміщення ОґЕ з традиційним РО; $L_{\text{коп}}$ – довжина копання; $h_{\text{ш}}$ – відстань від площини стоянки ОґЕ (директриси забою) до шарніру кріплення п'яти стріли; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – точки для позначення перетину робочих траєкторій

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

$$L_{\text{КОП}} = \sum_{i=1}^n \Delta l_i. \quad (2.23)$$

На рисунку 2.7 площа поперечного перетину елемента забою при роботі традиційним РО позначена точками 3, 4, 5, 6, при роботі ТРО з телескопічною стрілою (рукояттю) – точками 2, 4, 5, 7, а при роботі ТРО з телескопічними стрілою та рукояттю – 1, 4, 5, 8.

Об'єм розроблюваного ґрунту в забої дорівнюватиме:

$$V_{\text{заб.}} = V_{\text{тех.1}} + V_{\text{тех.2}} + V_{\text{тех.3}} + \dots + V_{\text{тех.i-1}} + V_{\text{тех.i}} + V_{\text{тех.i+1}}, \quad (2.24)$$

$$V_{\text{заб.}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{тех.i}}. \quad (2.25)$$

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

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

$$P_{e_i} = \frac{3600 \cdot V_{\text{тех.i}}}{T_i}; \quad (2.26)$$

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

$$T_i = t_{\text{пер}} + \sum_{j=1}^{m_j} t_{\text{ц}}; \quad (2.27)$$

$$T' = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (2.28)$$

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; T' – загальний час роботи ОГЕ за n переміщень.

$$m_j = \frac{V_{\text{тех.}i}}{q_{\Gamma}}; \quad (2.27)$$

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

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

$$\Pi_e = \frac{3600 \cdot \sum_{i=1}^n V_{\text{тех.}i}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{пер.}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_j} t_{\text{ц}}}. \quad (2.29)$$

Застосування ТРО ОҒЕ зі змінними геометричними характеристиками, дозволяє отримати низку змінних геометричних параметрів, а саме, $H_{\text{К}} = [H_{\text{К.min}}^{\text{T}}, H_{\text{К.max}}^{\text{T}}]$ – глибини копання та $R = [R_{\text{min}}^{\text{T}}, R_{\text{max}}^{\text{T}}]$ – радіусів копання.

$$[H_{\text{К.min}}^{\text{T}}, H_{\text{К.max}}^{\text{T}}] \stackrel{\text{def}}{=} \{H_{\text{К}} \in \mathbb{R}: H_{\text{К.min}}^{\text{T}} \leq H_{\text{К}} \leq H_{\text{К.max}}^{\text{T}}, H_{\text{К}} \rightarrow \text{max}\}; \quad (2.30)$$

$$[R_{\text{min}}^{\text{T}}, R_{\text{max}}^{\text{T}}] \stackrel{\text{def}}{=} \{R \in \mathbb{R}: R_{\text{min}}^{\text{T}} \leq R \leq R_{\text{max}}^{\text{T}}, R \rightarrow \text{max}\}. \quad (2.31)$$

Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОҒЕ, збільшити об’єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОҒЕ $V_{\text{тех.}i} \rightarrow \text{max}$ та забезпечити максимальну продуктивність при роботі на майданчиках з обмеженими під’їздами та вузьких місцях. Виконання робочих операцій з одночасною зміною геометричних параметрів, яку дозволяє виконувати ТРО, забезпечує зменшення часу циклу та робочих операцій у порівнянні з ОҒЕ з фіксованими геометричними параметрами $t_{\text{ц}} \rightarrow \text{min}$, $t_{\text{орк}} \rightarrow \text{min}$.

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 [38, 66, 67]. Об’єктами для порівняння ОҒЕ з ТРО, доцільно приймати комплекс ОҒЕ з фіксованими геометричними параметрами РО або ОҒЕ з комплексом змінного РО, кожен з яких призначений для виконання усього комплексу робіт, еквівалентного

умовам роботи Q , які виконуються ОГЕ з ТРО. Таким чином, питомі енергоємність та матеріалоємність для ОГЕ з ТРО $N_{\text{ПТ}}^{\text{T}}, G_{\text{ПТ}}^{\text{T}}$, зі змінними РО $N_{\text{ПТ}}^{\text{M}}, G_{\text{ПТ}}^{\text{M}}$ та комплексу ОГЕ $N_{\text{ПТ}}^{\text{KM}}, G_{\text{ПТ}}^{\text{KM}}$, відповідно дорівнює:

$$N_{\text{ПТ}}^{\text{T}} = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (2.32)$$

$$N_{\text{ПТ}}^{\text{M}} = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} k_{\Gamma} p_i}; \quad (2.33)$$

$$N_{\text{ПТ}}^{\text{KM}} = \frac{\sum_1^m N_i}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (2.34)$$

$$G_{\text{ПТ}}^{\text{T}} = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (2.35)$$

$$G_{\text{ПТ}}^{\text{M}} = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} k_{\Gamma} p_i}; \quad (2.36)$$

$$G_{\text{ПТ}}^{\text{KM}} = \frac{\sum_1^m G_i}{\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i}; \quad (2.37)$$

де Π_{e_i} – експлуатаційна продуктивність на i -й операції; p_i – вірогідність виконання i -ї операції [38, 67, 68]; k_{Γ} – коефіцієнт готовності виконання i -ї операції [69].

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

$$\Pi_{NG} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i} p_i\right)^2}, \Pi_{NG} \rightarrow \min \quad (2.38)$$

Слід зазначити, що наведена вище система показників не дозволяє оцінити застосування ТРО при копанні на максимальних глибинах H_K , радіусах копання R та їх змінних значеннях. Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОГЕ, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення та забезпечити

максимальну продуктивність при роботі на майданчиках з обмеженими під'їздами та вузьких місцях. Впровадження ТРО призводить до розширення технологічних умов виконання робіт, таким чином, ОГЕ однієї розмірної категорії може виконувати роботи на глибинах ОГЕ декількох розмірних груп, в тому числі наступної розмірної категорії, тим самим РО. Для визначення ефективності використання ОГЕ з ТРО по глибині та радіусу копання розроблено ряд показників:

- показник оцінки енергоємності по глибині копання:

$$H_N = \frac{N}{H_K} = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_{K^T}^T p_i}, H_N \rightarrow \min; \quad (2.39)$$

- показник оцінки матеріалоємності по глибині копання:

$$H_G = \frac{G}{H_K} = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_{K^T}^T p_i}, H_G \rightarrow \min; \quad (2.40)$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання:

$$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_{K^T}^T p_i\right)^2}, H_{NG} \rightarrow \min; \quad (2.41)$$

- показник оцінки енергоємності по радіусу копання:

$$R_N = \frac{N}{R} = \left[\min \left(\frac{N}{R^T} \right), \max \left(\frac{N}{R^T} \right) \right], R_N \rightarrow \min; \quad (2.42)$$

- показник оцінки матеріалоємності по радіусу копання:

$$R_G = \frac{G}{R} = \left[\min \left(\frac{G}{R^T} \right), \max \left(\frac{G}{R^T} \right) \right], R_G \rightarrow \min; \quad (2.43)$$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання:

$$R_{NG} = \frac{NG}{R^2} = \left[\min \left(\frac{NG}{(R^T)^2} \right), \max \left(\frac{NG}{(R^T)^2} \right) \right], R_{NG} \rightarrow \min; \quad (2.44)$$

Виконання спеціальних робіт (наприклад, копання глибоких траншей) не завжди потребує використання ковшів великої місткості для цих робіт. Таким чином, при створенні ТРО треба враховувати технологічні умови використання робочих органів. Тому систему показників оцінки ефективності

ТРО ОГЕ доповнено визначенням значень додаткових показників, в основі яких лежить врахування типорозміру ковша по його місткості q , м³ [67]:

- показник оцінки енергоємності по місткості ковша q_N :

$$q_N = \frac{N}{q}, q_N \rightarrow \min; \quad (2.45)$$

- показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша q_G :

$$q_G = \frac{G}{q}, q_G \rightarrow \min; \quad (2.46)$$

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

$$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}, q_{NG} \rightarrow \min; \quad (2.47)$$

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

$$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2} = \frac{N^2 G^2}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_{Kp_i}^T\right)^2 q^2}, H_{NGq} \rightarrow \min; \quad (2.48)$$

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

$$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2} = \left[\min \left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2} \right), \max \left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2} \right) \right], R_{NGq} \rightarrow \min. \quad (2.49)$$

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

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

$$w_{\text{ПТ}} = \frac{1}{w} \cdot \sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i}, w_{\text{ПТ}} \rightarrow \max \quad (2.50)$$

Орієнтовна попередня оцінка ефективності конструкційних рішень машини з ТРО може бути виконана на основі аналізу узагальненого показника

енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного робітника Π_{NGW} . Ефективність визначають порівнянням показників Π_{NGW_T} та $\Pi_{NGW_{KM}}$ – ОГЕ з ТРО та комплекту ОГЕ з РО одно цільового призначення, виконуючих ті самі види робіт, відповідно, [38, 66, 67]:

$$\Pi_{NGW_T} = \frac{N_{\text{ПТ}}(G + \sum_1^k G_j)w_p p_{w_p}}{\sum_{1,1}^{k,Q} (\Pi_{jq} p_j p_q)^3}, \Pi_{NGW_T} \rightarrow \min, \quad (2.51)$$

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_{NGW_K} , який записується в наступному вигляді:

$$\Pi_{NGW_{KM}} = \sum_{1,1}^{k,Q} \Pi_{NGW_{jq}}, \quad (2.52)$$

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

Збільшення глибини копання H_K можна досягти збільшенням куту повороту $\alpha \rightarrow \max$ стріли, але оскільки останній обмежений конструктивними параметрами гідромеханізму обертання, то збільшити його можна застосуванням шарнірно-зчленованої стріли (рис. 2.8). Таким чином, при телескопуванні стріли використання моноблочної конструкції стріли є менш доцільним, тому слід віддавати перевагу конструкції стріли шарнірно-зчленованої конструкції.

$$H_K = R_{P+K} + R_C \cdot \sin \alpha - h_{\text{Ш}}, \quad \alpha \rightarrow \max \quad (2.53)$$

Система показників для оцінки ефективності ТРО ОГЕ

№ п/п	Показники	Розмірність	Загальна форма запису показників	Умови раціоналізації та оптимізації	Шифр в гіперграфі
1	2	3	4	5	6
1	Експлуатаційна продуктивність на i -му виді робіт	$\frac{м^3}{год}$	$П_{e_i}$	$П_{e_i} \rightarrow max$	z_2
2	Об'єм ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОГЕ	$м^3$	$V_{тех.i}$	$V_{тех.i} \rightarrow max$	z_3
3	Глибина копання	$м$	H_K	$H_K \rightarrow max$	z_4
4	Радіус копання	$м$	R	$R \rightarrow max$	z_5
5	Місткість ковша	$м^3$	q	$q \rightarrow max$	z_6
6	Маса (сила тяжіння) ОГЕ	$кг$ ($кН$)	G	$G \rightarrow min$	z_7
7	Потужність ОГЕ	$кВт$	N	$N \rightarrow min$	z_8
8	Час циклу, робочих операцій та переміщення	$с$	$t_{ц}, t_{орк}, t_{пер.}$	$t_{ц} \rightarrow min$ $t_{пер.} \rightarrow min$ $t_{орк} \rightarrow min$	z_9 z_{10} z_{11}
9	Питома енергоємність на i -му виді робіт	$\frac{кВт}{м^3/год}$	$N_{ПТ} = \frac{N}{П_{e_i}}$	$N_{ПТ} \rightarrow min$	z_{12}
10	Питома матеріалоємність на i -му виді робіт	$\frac{кН}{м^3/год}$	$G_{ПТ} = \frac{G}{П_{e_i}}$	$G_{ПТ} \rightarrow min$	z_{13}
11	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності на i -му виді робіт	$\frac{кВт \cdot кН}{(м^3/год)^2}$	$П_{NG} = \frac{NG}{П_{e_i}^2}$	$П_{NG} \rightarrow min$	z_{14}
12	Показник оцінки енергоємності по глибині копання	$\frac{кВт}{м}$	$H_N = \frac{N}{H_K}$	$H_N \rightarrow min$	z_{15}
13	Показник оцінки матеріалоємності по глибині копання	$\frac{кН}{м}$	$H_G = \frac{G}{H_K}$	$H_G \rightarrow min$	z_{16}
14	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання	$\frac{кВт \cdot кН}{м^2}$	$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2}$	$H_{NG} \rightarrow min$	z_{17}
15	Показник оцінки енергоємності по радіусу копання	$\frac{кВт}{м}$	$R_N = \frac{N}{R}$	$R_N \rightarrow min$	z_{18}

продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
16	Показник оцінки матеріалоємності по радіусу копання	$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$R_G = \frac{G}{R}$	$R_G \rightarrow \min$	z_{19}
17	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{\text{м}^2}$	$R_{NG} = \frac{NG}{R^2}$	$R_{NG} \rightarrow \min$	z_{20}
18	Питома продуктивність по потужності ОГЕ на i -му виді робіт	$\frac{(\text{м}^3/\text{год})}{\text{кВт}}$	$\Pi_{\text{ПТ}_N} = \frac{\Pi_{e_i}}{N}$	$\Pi_{\text{ПТ}_N} \rightarrow \max$	z_{21}
19	Питома продуктивність по масі ОГЕ на i -му виді робіт	$\frac{(\text{м}^3/\text{год})}{\text{кН}}$	$\Pi_{\text{ПТ}_G} = \frac{\Pi_{e_i}}{G}$	$\Pi_{\text{ПТ}_G} \rightarrow \max$	z_{22}
20	Питома продуктивність по місткості ковша ОГЕ на i -му виді робіт	$\frac{(\text{м}^3/\text{год})}{\text{м}^3}$	$\Pi_{\text{ПТ}_q} = \frac{\Pi_{e_i}}{q}$	$\Pi_{\text{ПТ}_q} \rightarrow \max$	z_{23}
21	Показник оцінки енергоємності по місткості ковша	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	$q_N = \frac{N}{q}$	$q_N \rightarrow \min$	z_{24}
22	Показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша	$\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$	$q_G = \frac{G}{q}$	$q_G \rightarrow \min$	z_{25}
23	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{\text{м}^6}$	$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}$	$q_{NG} \rightarrow \min$	z_{26}
24	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша	$\frac{\text{кВт}^2 \cdot \text{кН}^2}{\text{м}^8}$	$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2}$	$H_{NGq} \rightarrow \min$	z_{27}
25	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша	$\frac{\text{кВт}^2 \cdot \text{кН}^2}{\text{м}^8}$	$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2}$	$R_{NGq} \rightarrow \min$	z_{28}
26	Виріток на одного робітника на i -му виді робіт	$\frac{(\text{м}^3/\text{год})}{w}$	$w_{\text{ПТ}} = \frac{\Pi_{e_i}}{w}$	$w_{\text{ПТ}} \rightarrow \max$	z_{29}
27	Узагальнений показник енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного робітника на i -му виді робіт	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН} \cdot w}{(\text{м}^3/\text{год})^3}$	$\Pi_{NGw} = \frac{NGw}{\Pi_{e_i}^3}$	$\Pi_{NGw} \rightarrow \min$	z_{30}

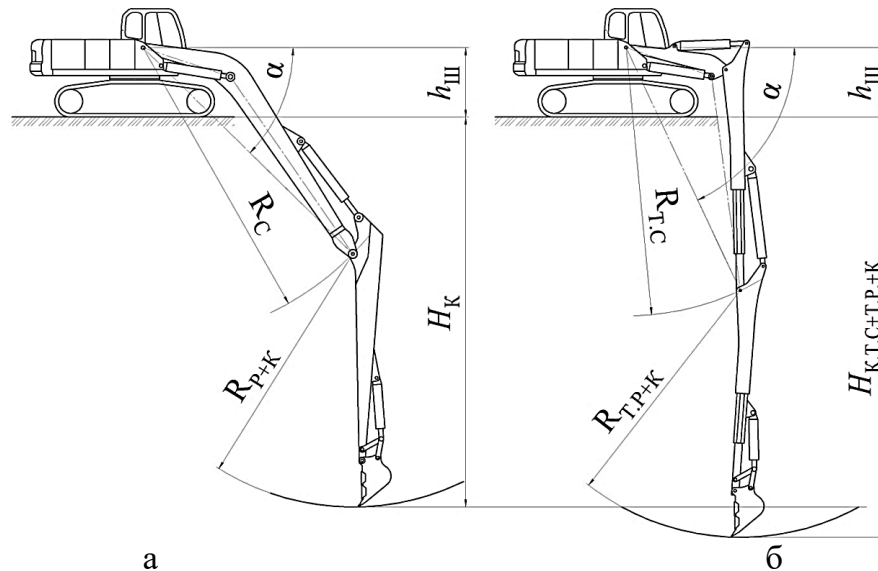


Рис. 2.8. Порівняльна схема глибини копання: а – ОГЕ з моноблочною стрілою; б – ОГЕ з телескопічною шарнірно-зчленованою стрілою; R_C , $R_{T.C}$ – відповідно радіуси моноблочної стріли та телескопічної шарнірно-зчленованої; R_{P+K} , $R_{T.P.+K}$ – відповідно радіуси рукояті з ківшом традиційної телескопічної конструкції; H_K , $H_{K.T.C+T.P.+K}$ – відповідно глибини копання традиційним РО та ТРО; $h_{Ш}$ – висота кріплення шарніру п'яти стріли

2.3. Визначення координат просторового позиціонування елементів ТРО ОГЕ

Інтегральні розрахунки по визначенню об'ємів копання, побудові траєкторій руху, роботи, силових навантажень та швидкостей елементів та ТРО в цілому, а також прями та зворотні задачі по визначенню абсолютних положень цих елементів безпосередньо пов'язані з точним визначень просторових координат, чи окремих їх частин.

Для універсальності розрахунків, за основу приймемо конструкцію ТРО ОГЕ з шарнірно-зчленованою стрілою, параметрична схема якої показана на рисунку 2.9.

Визначення координат точки $A(X_A, Y_A)$ (шарнір зчеплення нижньої частини стріли з верхньою частиною стріли):

$$x_A = L_{HЧC} \cos \varphi_1; \quad (2.54)$$

$$y_A = L_{HЧC} \sin \varphi_1. \quad (2.55)$$

Визначення координат точки $B(X_B, Y_B)$ (шарнір зчеплення верхньої частини стріли з рукояттю):

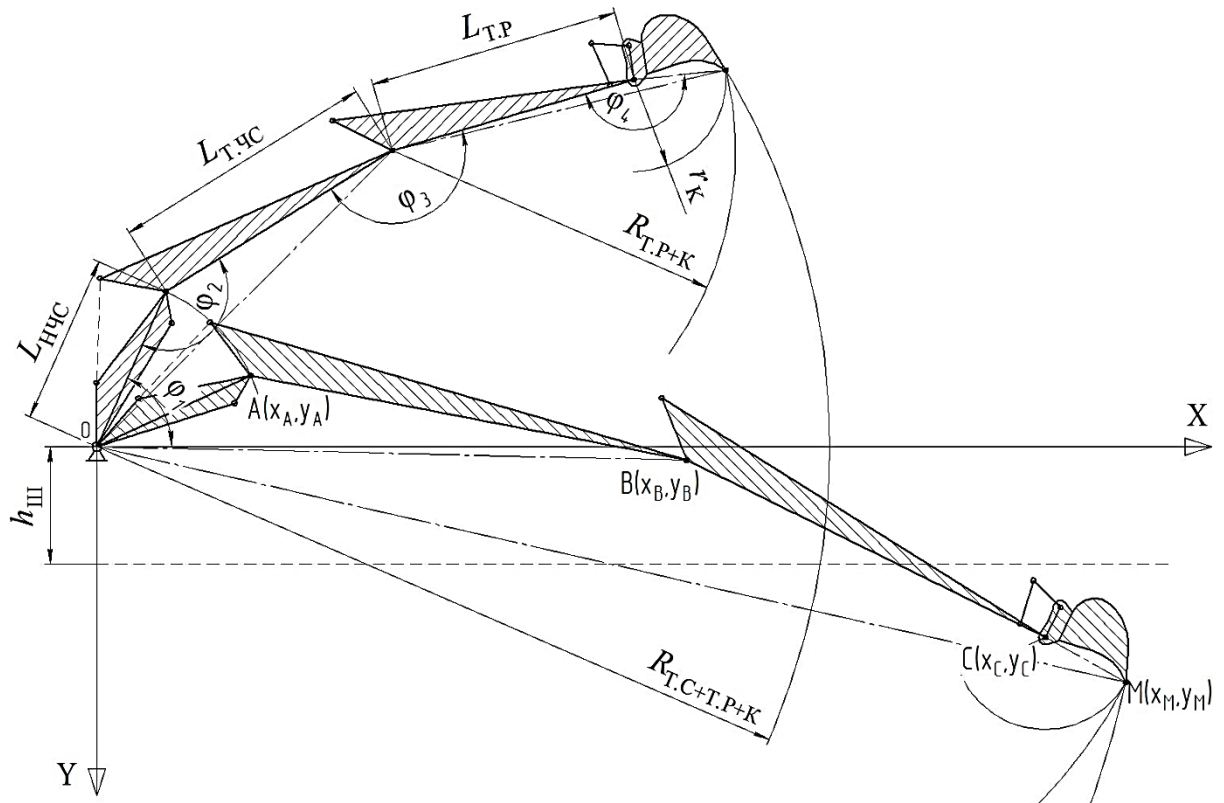


Рис. 2.9. Параметрична схема для визначення просторових координат: h_{III} – висота кріплення шарніру п’яти стріли; $L_{НЧС}$ – довжина нижньої частини стріли; $L_{ТЧС}$ – довжина телескопічної частини стріли; $L_{ТР}$ – довжина телескопічної рукояті; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – кути обертання відповідних елементів обладнання; $R_{Т.С+Т.Р+К}$, $R_{Т.Р+К}$, r_K – радіуси телескопічної стріли з телескопічною рукояттю та ківшом, телескопічної рукояті з ківшом та ковша, відповідно

$$x_B = L_{НЧС} \cos \varphi_1 + L_{ТЧС} \cos(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)); \quad (2.56)$$

$$y_B = L_{НЧС} \sin \varphi_1 + L_{ТЧС} \sin(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)); \quad (2.57)$$

$$(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) = \Delta_1. \quad (2.58)$$

Визначення координат точки $C (X_C, Y_C)$ (шарнір рукояті з ківшом):

$$x_C = L_{НЧС} \cos \varphi_1 + L_{ТЧС} \cos(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) + L_{ТР} \cos(\Delta_1 - (\pi - \varphi_3)); \quad (2.59)$$

$$y_C = L_{НЧС} \sin \varphi_1 + L_{ТЧС} \sin(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) + L_{ТР} \sin(\Delta_1 - (\pi - \varphi_3)); \quad (2.60)$$

$$(\Delta_1 - (\pi - \varphi_3)) = \Delta_2 \quad (2.61)$$

Визначення координат точки $M (X_M, Y_M)$ зуба ковша екскаватора:

$$x_M = L_{НЧС} \cos \varphi_1 + L_{ТЧС} \cos(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) + L_{ТР} \cos(\Delta_1 - (\pi - \varphi_3)) + R_K \cos(\Delta_2 - (\pi - \varphi_4)); \quad (2.62)$$

$$y_M = L_{\text{НЧС}} \sin \varphi_1 + L_{\text{ТЧС}} \sin(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) + L_{\text{ТР}} \sin(\Delta_1 - (\pi - \varphi_3)) + R_K \sin(\Delta_2 - (\pi - \varphi_4)); \quad (2.63)$$

або

$$x_M = L_{\text{НЧС}} \cos \varphi_1 + L_{\text{ТЧС}} \cos(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) + L_{\text{ТР}} \cos(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2) - (\pi - \varphi_3)) + R_K \cos(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2) - (\pi - \varphi_3) - (\pi - \varphi_4)); \quad (2.64)$$

$$y_M = L_{\text{НЧС}} \sin \varphi_1 + L_{\text{ТЧС}} \sin(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2)) + L_{\text{ТР}} \sin(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2) - (\pi - \varphi_3)) + R_K \sin(\varphi_1 - (\pi - \varphi_2) - (\pi - \varphi_3) - (\pi - \varphi_4)). \quad (2.65)$$

Запропонований метод дозволяє визначати положення наступного елемента ТРО, знаючи положення попереднього.

2.4. Теоретичне визначення об'єму копання ґрунту ТРО ОГЕ

Під екскаваторним забоєм розуміють робочу зону ОГЕ, яка включає в себе частину ґрунтового масиву, розроблюваного з даної стоянки ОГЕ, майданчик для його встановлення разом з транспортними машинами. Якщо розробка ґрунту ведеться по безтранспортній схемі, до екскаваторного забою відноситься також майданчик з відвалом ґрунту, укладеного з даної стоянки ОГЕ.

Розміри та форма забою залежать від типу та робочих розмірів ОГЕ та транспортних машин, а також від розмірів земляної споруди.

Окреслення поверхні ґрунтового масиву визначається робочими траєкторіями ковша. Вони змінюються по мірі виїмки ґрунту, але для характеристики форми та розмірів забою достатньо зафіксувати кінцеві траєкторії, обмежуючі об'єм ґрунту, розроблюваного з однієї стоянки ОГЕ.

Так як ОГЕ є повноповоротними машинами, то виїмка ґрунту відбувається по радіальним напрямках, а поверхня розробленого масиву має вигляд поверхні обертання.

Для загальних розрахунків ОГЕ користуються поняттям елемента забою. Під ним розуміють геометричне тіло, в межах якого може бути розроблено ґрунт з однієї стоянки ОГЕ. Окреслення елемента забою визначається кінцевими робочими траєкторіями ковша, шириною заходу, положенням екскаватора в забої [61, 62, 70, 71, 72].

Розглянемо геометричні тіла, які окреслюються робочими траєкторіями ковша a , b і c – при копанні ТРО зі втягнутими ТС стріли $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$, при одній $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$ та двох $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$ виштовхнутих ТС стріли, відповідно, параметрична схема яких зображена на рисунку 2.10 [73, 74].

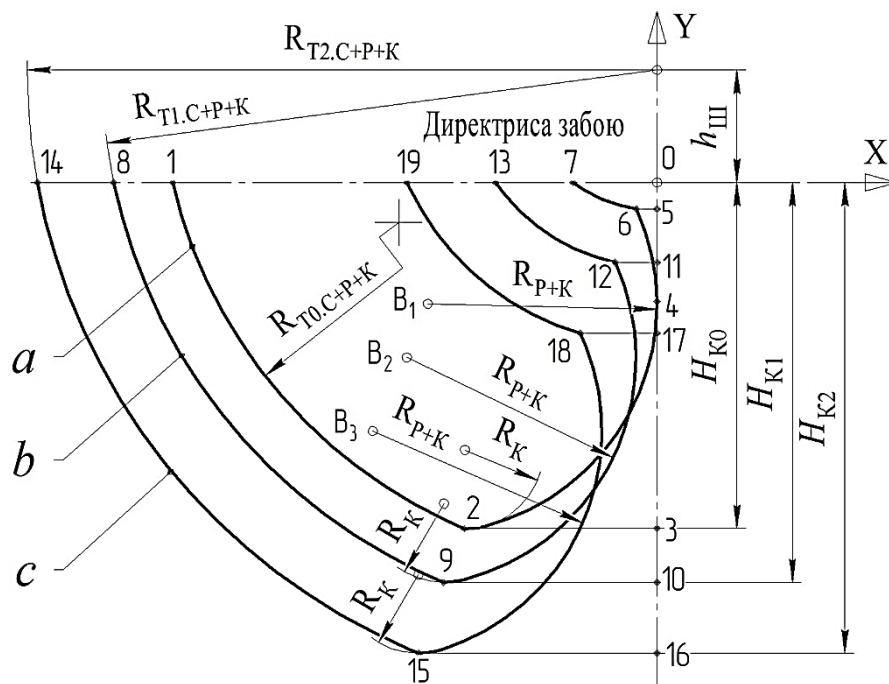


Рис. 2.10. Параметрична схема копання ґрунту ТРО, стріла, рукоять та ківш знаходяться в крайніх положеннях: a , b , c – робочі траєкторії ковша при копанні ТРО з втягнутими ТС, ТРО при одній та двох виштовхнутих ТС стріли, відповідно; $R_{T0.C+P+K}$ – радіус копання при втягнутих ТС стріли, $R_{T1.C+P+K}$ – радіус копання ТРО з однією виштовхнутою ТС стріли, $R_{T2.C+P+K}$ – радіус копання ТРО з двома виштовхнутими ТС стріли, R_K – радіус копання ковша, R_{P+K} – радіус копання рукояті з ковшем; $h_{Ш}$ – 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

Для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{T0.C}^{TEOP}$ (площа поперечного перерізу позначена точками (1, 2, 6, 7)), розроблюваного ТРО з

втягнутими ТС, розіб'ємо поперечний переріз на три геометричні тіла – $V_{1\text{Т0.С}}$, $V_{2\text{Т0.С}}$ та $V_{3\text{Т0.С}}$ (рис. 2.11, 2.12). Тоді об'єм ґрунту копання дорівнюватиме:

$$V_{\text{Т0.С}}^{\text{ТЕОР.}} = V_{1\text{Т0.С}} - (V_{2\text{Т0.С}} + V_{3\text{Т0.С}}). \quad (2.66)$$

Використовуючи метод інтегральних обчислень знайдемо об'єми цих геометричних тіл.

Координати точки $2(x_2, y_2)$ знаходяться із системи рівнянь кривих $R_{\text{Т0.С+P+K}}$ та $R_{\text{P+K}}$:

$$2(x_2, y_2) = \begin{cases} (x - x_{\text{Ш}})^2 + (y_{\text{Ш}} - y)^2 = R_{\text{Т0.С+P+K}}^2 \\ (x - x_{\text{B}_1})^2 + (y - y_{\text{B}_1})^2 = R_{\text{P+K}}^2 \end{cases}, \quad (2.67)$$

де $x_{\text{Ш}}$, $y_{\text{Ш}}$ – координати центру дуги, описаної радіусом $R_{\text{Т0.С+P+K}}$; $y_{\text{Ш}} = h_{\text{Ш}}$ – відстань від площини стоянки (директриси забою) до шарніру кріплення стріли; x_{B_1} , y_{B_1} – координати точки B_1 , – шарніру кріплення рукояті.

Таким чином, об'єм елемента забою $V_{1\text{Т0.С}}$ (рис. 2.11), позначений точками (0, 1, 2, 3) дорівнюватиме:

$$V_{1\text{Т0.С}} = \pi \int_{-H_{\text{К0}}}^0 [R_{\text{Т0.С+P+K}}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2] dy, \quad (2.68)$$

де $H_{\text{К0}} = y_2$, – максимальна глибина копання ТРО при втягнутих ТС стріли.

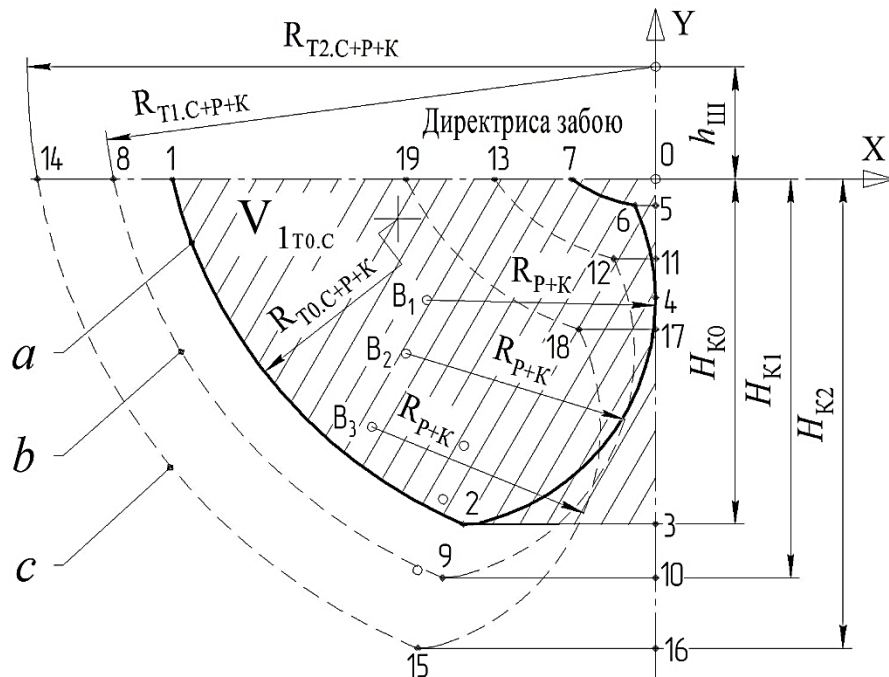


Рис. 2.11. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{1\text{Т0.С}}$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

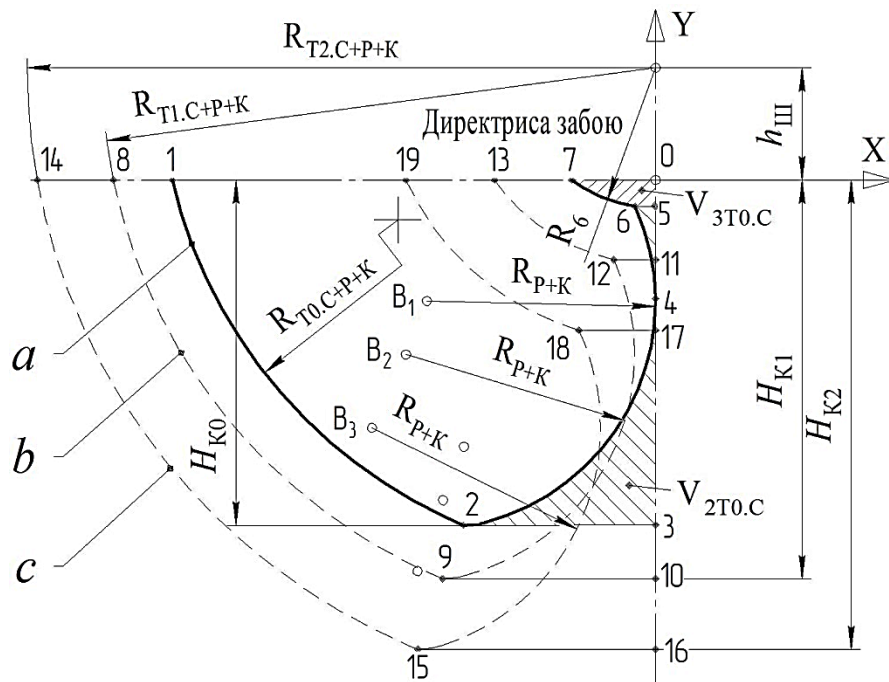


Рис. 2.12. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{2T0.C}$ та $V_{3T0.C}$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

Об'єми ґрунту копання при втягнутих ТС $V_{2T0.C}$ та $V_{3T0.C}$ (рис. 2.12), площа поперечних перетинів позначена точками (2, 3, 5, 6) та (0, 5, 6, 7), відповідно, дорівнюватиме:

$$V_{2T0.C} = \pi \int_{-H_{K0}}^{y_6} \left[x_{B_1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_1})^2} \right]^2 dy; \quad (2.69)$$

$$V_{3T0.C} = \pi \int_{y_6}^0 [R_6^2 - (y - h_{III})^2] dy, \quad (2.70)$$

де R_6 – радіус рукояті з ковшем, які знаходяться в крайніх положеннях (ківш наповнений ґрунтом).

Координати точки 6(x_6, y_6) знаходяться із системи рівнянь кривих R_6 та R_{P+K} :

$$6(x_6, y_6) = \begin{cases} (x - x_{III})^2 + (y_{III} - y)^2 = R_6^2 \\ (x - x_{B_1})^2 + (y - y_{B_1})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}. \quad (2.71)$$

Визначаємо теоретичний об'єм ґрунту копання $V_{T1.C}^{TEOP.}$ (рис. 2.13), площа поперечного перетину якого позначена точками (8, 9, 12, 13), розроблюваного ТРО при одній виштовхнутій ТС стріли:

$$V_{T1.C}^{TEOP.} = V_{1T1.C} - (V_{2T1.C} + V_{3T1.C}). \quad (2.72)$$

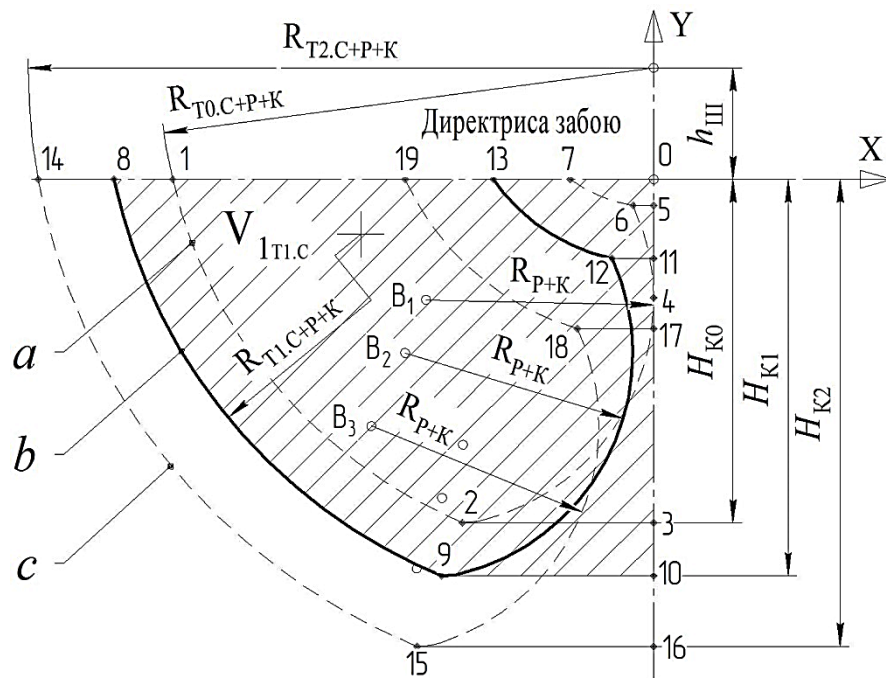


Рис. 2.13. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{1T1.C}$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

Координати точки $9(x_9, y_9)$ знаходяться із системи рівнянь кривих $R_{T1.C+P+K}$ та R_{P+K} :

$$9(x_9, y_9) = \begin{cases} (x - x_{Ш})^2 + (y_{Ш} - y)^2 = R_{T1.C+P+K}^2 \\ (x - x_{B_2})^2 + (y - y_{B_2})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}, \quad (2.73)$$

де x_{B_2}, y_{B_2} – координати точки B_2 , – шарніру кріплення рукояті при одній виштовхнутій ТС стріли.

Об'єм елемента забою $V_{1T1.C}$ (рис. 2.13), позначений точками (0, 8, 9, 10) дорівнюватиме:

$$V_{1T1.C} = \pi \int_{-H_{K1}}^0 [R_{T1.C+P+K}^2 - (h_{Ш} - y)^2] dy, \quad (2.74)$$

де $H_{K1} = y_9$, – максимальна глибина копання ТРО при одній виштовхнутій ТС стріли.

Об'єми ґрунту копання ТРО $V_{2T1.C}$ та $V_{3T1.C}$ (рис. 2.14), площа поперечних перетинів позначена точками (9, 10, 11, 12) та (0, 11, 12, 13), відповідно, дорівнюватиме:

$$V_{2T1.C} = \pi \int_{-H_{K1}}^{y_{12}} \left[x_{B_2} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_2})^2} \right]^2 dy; \quad (2.75)$$

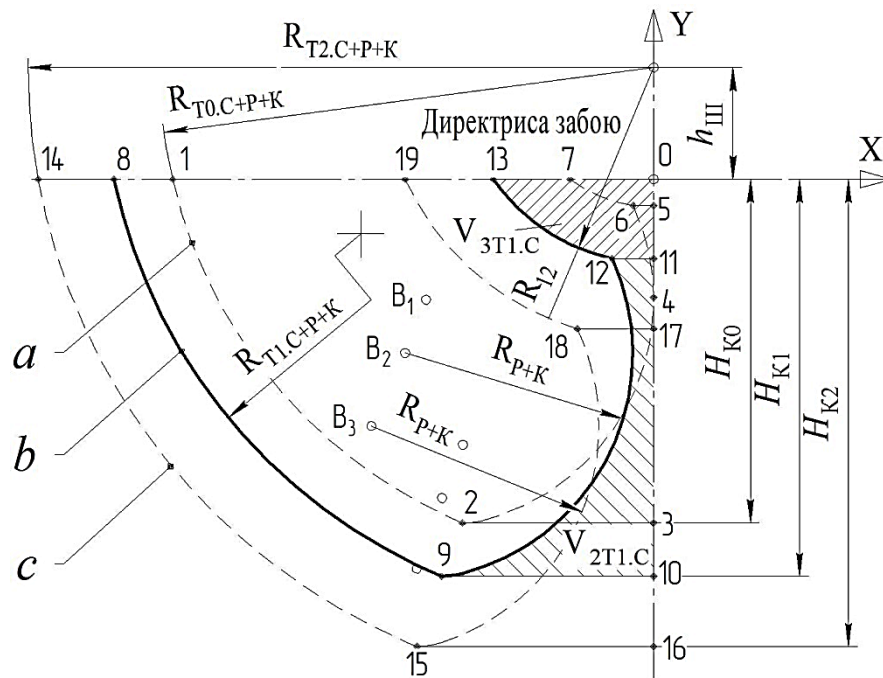


Рис. 2.14. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту $V_{2T1.C}$ та $V_{3T1.C}$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

$$V_{3T1.C} = \pi \int_{y_{12}}^0 [R_{12}^2 - (y - h_{III})^2] dy, \quad (2.76)$$

Координати точки $12(x_{12}, y_{12})$ знаходяться із системи рівнянь кривих R_{12} та R_{P+K} :

$$12(x_{12}, y_{12}) = \begin{cases} (x - x_{III})^2 + (y_{III} - y)^2 = R_{12}^2 \\ (x - x_{B_2})^2 + (y - y_{B_2})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}. \quad (2.77)$$

Визначаємо теоретичний об'єм ґрунту копання $V_{T2.C}^{TEOP.}$ (рис. 2.15), площа поперечного перетину якого позначена точками (14, 15, 17, 19), розроблюваного ТРО при одній виштовхнутій ТС стрілі:

$$V_{T2.C}^{TEOP.} = V_{1T2.C} - (V_{2T2.C} + V_{3T2.C}). \quad (2.78)$$

Координати точки $15(x_{15}, y_{15})$ знаходяться із системи рівнянь кривих $R_{T2.C+P+K}$ та R_{P+K} :

$$15(x_{15}, y_{15}) = \begin{cases} (x - x_{III})^2 + (y_{III} - y)^2 = R_{T2.C+P+K}^2 \\ (x - x_{B_3})^2 + (y - y_{B_3})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}, \quad (2.79)$$

де x_{B_3} , y_{B_3} – координати точки B_3 , – шарніру кріплення рукояті при двох виштовхнутих ТС стрілі.

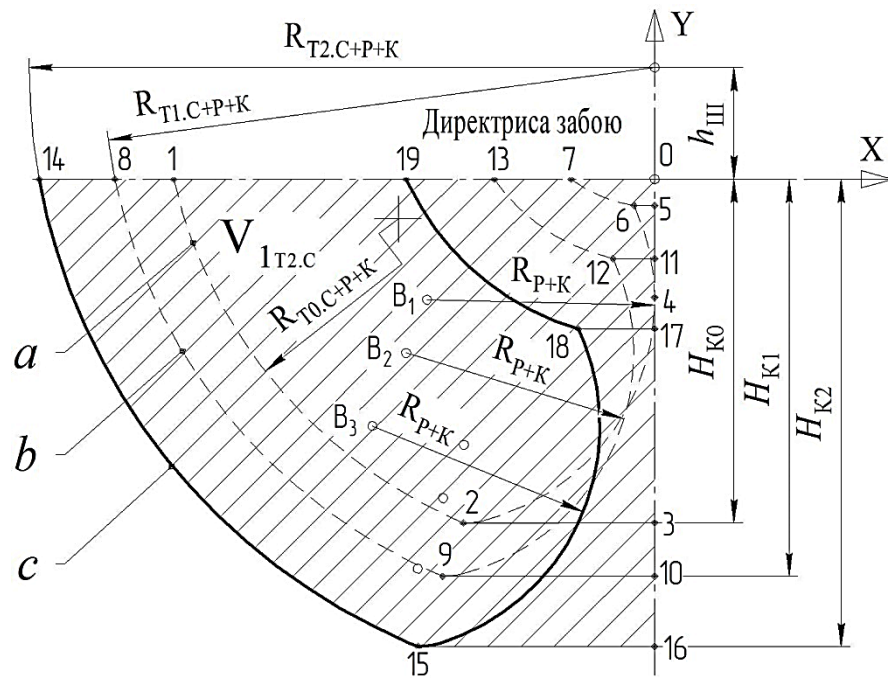


Рис. 2.15. Схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{T2.C}$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

Об'єм елементу забою $V_{1T2.C}$ (рис. 2.15), позначений точками (0, 14, 15, 16) дорівнюватиме:

$$V_{1T2.C} = \pi \int_{-H_{K1}}^0 [R_{T2.C+P+K}^2 - (h_{III} - y)^2] dy, \quad (2.80)$$

де $H_{K2} = y_{15}$, – максимальна глибина копання ТРО при двох виштовхнутих ТС стріли.

Об'єми ґрунту копання ТРО $V_{2T2.C}$ та $V_{3T2.C}$ (рис. 2.16, 2.17), площа поперечних перетинів позначена точками (15, 16, 17, 18) та (0, 17, 18, 19), відповідно, дорівнюватиме:

$$V_{2T2.C} = \pi \int_{-H_{K2}}^{y_{18}} \left[x_{B_3} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_3})^2} \right]^2 dy; \quad (2.81)$$

$$V_{3T2.C} = \pi \int_{y_{18}}^0 [R_{12}^2 - (y - h_{III})^2] dy. \quad (2.82)$$

Координати точки 18(x_{12} , y_{12}) знаходяться із системи рівнянь кривих R_{18} та R_{P+K} :

$$18(x_{18}, y_{18}) = \begin{cases} (x - x_{III})^2 + (y_{III} - y)^2 = R_{18}^2 \\ (x - x_{B_3})^2 + (y - y_{B_3})^2 = R_{P+K}^2 \end{cases}. \quad (2.83)$$

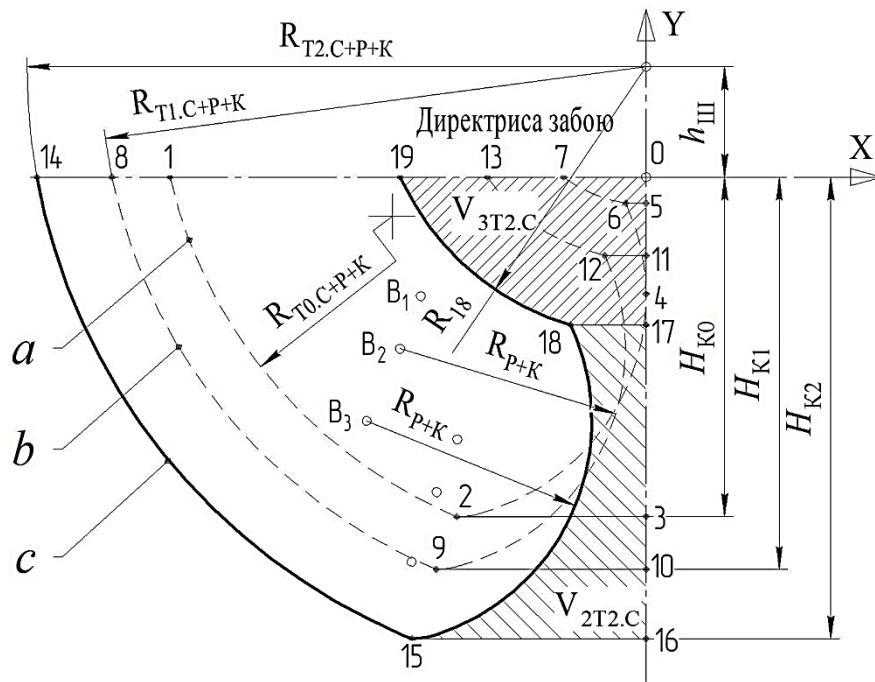


Рис. 2.16. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту $V_{2T2.C}$ та $V_{3T2.C}$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

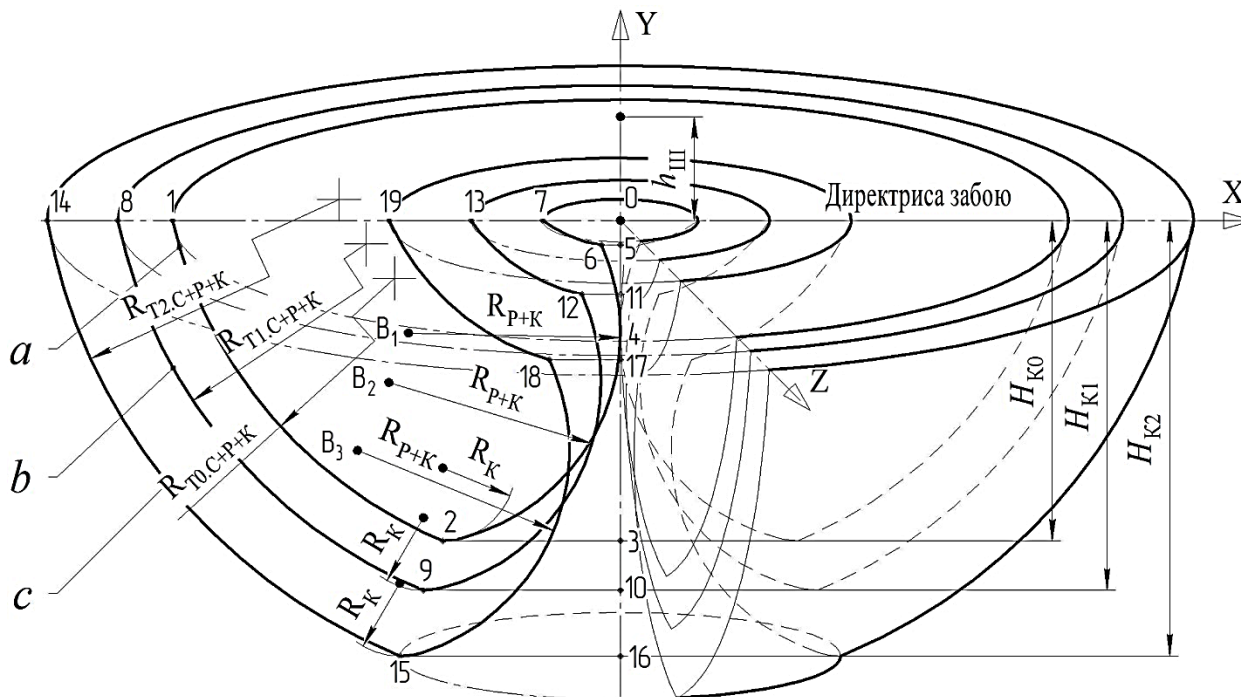


Рис. 2.17. Просторова схема для визначення теоретичного об'єму копання ґрунту, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

Об'єм ґрунту, розроблюваний ОГЕ на початку копання (рис. 2.17):

$$V_{\text{ТЕХ.}}^{\beta} = \frac{V_{\text{Ti.C}}^{\text{ТЕОР.}}}{360^{\circ}} \cdot \beta, \quad (2.84)$$

де $\beta = \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{2(9)(15)}} \right)$ – кут обертання екскаватора від вісі руху, залежить від ширини проходки B ; $x_{2(9)(15)}$ – абсциси відповідних точок. Ширину проходки

визначають залежності від найбільшого радіусу копання зворотної лопати R , та глибини виїмки H_K ; при розробці ґрунту з вантаженням у транспортний засіб її приймають: $B=(1,2\dots 1,3)R$, а при відсіпці у відвал – $B=(0,5\dots 0,8)R$. При односторонній подачі транспортних засобів вісь шляху ОГЕ зміщують в їх сторону, а ширина лобової проходки складає $B=1,3R$, при двосторонній подачі – $B=(1,6\dots 1,7)R$, [65].

При подальшій роботі ОГЕ слід розглядати фігури, зображені на рисунках 2.18 та 2.19, де відстань між точками 7-7', 13-13', 19-19' відповідно дорівнює відстаням переміщення $l_{\text{пер}}$. при роботі ОГЕ зі втягнутими ТС $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$, однією $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$ та двома виштовхнутими ТС $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$ стріли.

Тоді об'єм розроблюваного ґрунту в забої слід визначати за наступними формулами:

1. При втягнутих ТС ТРО ОГЕ $\{A_2^0, B_2^0, E_i^e\}$ (традиційна конструкція), (рис. 2.19, а):

$$V_{\text{ТЕХ.ТО.С}} = V_{\text{ТО.С}}^{\text{ТЕОР.}} + V_{1\text{ТО.С}}^* + V_{2\text{ТО.С}}^* + V_{3\text{ТО.С}}^* + V_{i\text{ТО.С}}^*; \quad (2.85)$$

$$V_{\text{ТЕХ.ТО.С}} = V_{\text{ТО.С}}^{\text{ТЕОР.}} + \sum_1^i V_{i\text{ТО.С}}^*, \quad (2.86)$$

де i – кількість елементів забоїв.

Об'єм елемента забою $V_{i\text{ТО.С}}^*$, дорівнюватиме:

$$V_{i\text{ТО.С}}^* = x_{20} \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{20}} \right) \cdot \left(\int_{-H_{K0}}^{y_{20}} \left[(R_{\text{ТО.С}+P+K}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2) - \left(x_{B_1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_1})^2} \right)^2 \right] dy + \int_{y_{20}}^{y_6} \left[\left(x_{B_1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_1})^2} \right)^2 - \left(x'_{B_1} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y'_{B_1})^2} \right)^2 \right] dy + \int_{y_6}^0 \left[\left(x_6 - \sqrt{R_6^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2} \right)^2 - (R_6^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2) \right] dy \right), \quad (2.87)$$

де x_{20}, y_{20} – координати точки 20, визначаються аналогічно координатам точок 2, 9 і 15 – (2.68), (2.74), (2.74).

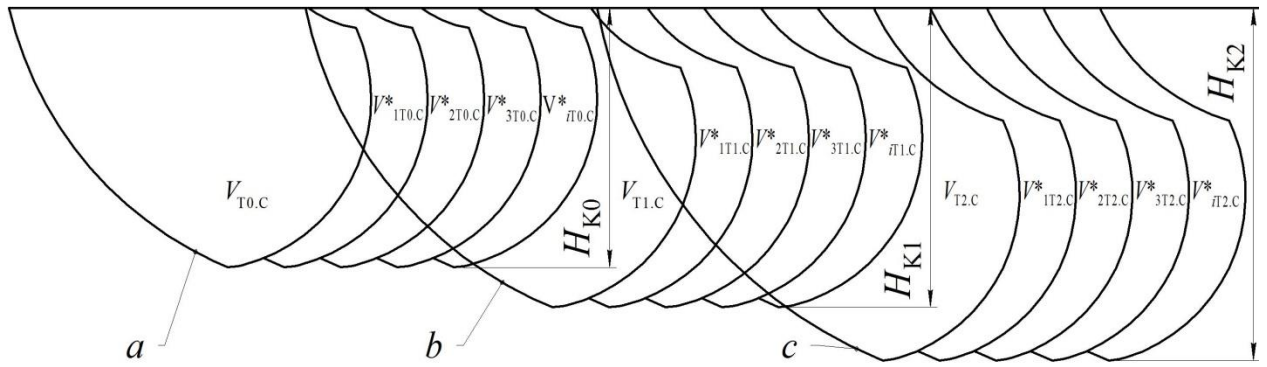


Рис. 2.18. Траєкторії копання ґрунту ТРО: $V_{T0.C}$, $V_{T1.C}$, $V_{T2.C}$ – піонерні елементи забою (початкова стадія копання) при роботі ТРО з обома втягнутими ТС стріли, з однією та двома виштовхнутими ТС стріли, відповідно; $V_{iT0.C}^*$, $V_{iT1.C}^*$, $V_{iT2.C}^*$ – елементи забою при подальшій розробці забою при роботі ТРО з обома втягнутими ТС стріли, з однією та двома виштовхнутими ТС стріли,

ВІДПОВІДНО

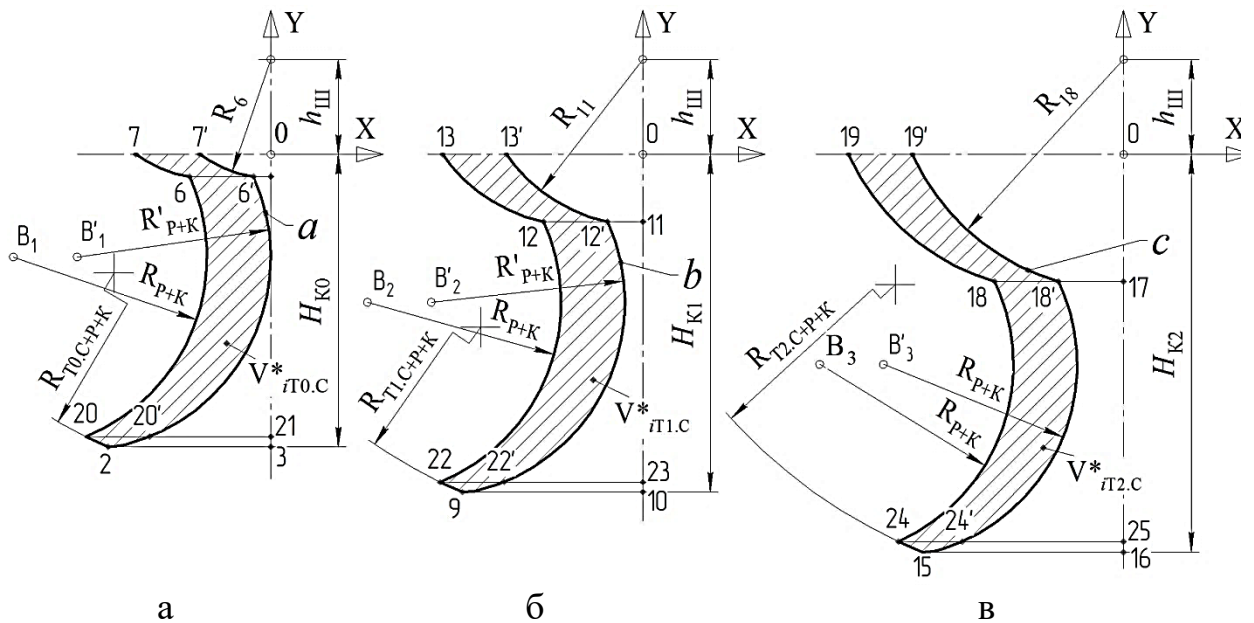


Рис. 2.19. Схема для визначення теоретичних об'ємів копання ґрунту: а – $V_{iT0.C}^*$; б – $V_{iT1.C}^*$; в – $V_{iT2.C}^*$, умовні позначення відповідно до рис. 2.10

2. При одній виштовхнутій ТС стрілі $\{A_2^1, B_2^0, E_i^e\}$, (рис. 2.19, б):

$$V_{\text{ТЕХ.Т1.С}} = V_{\text{Т1.С}}^{\text{ТЕОР.}} + V_{1\text{Т1.С}}^* + V_{2\text{Т1.С}}^* + V_{3\text{Т1.С}}^* + V_{i\text{Т1.С}}^* \quad (2.88)$$

$$V_{\text{ТЕХ.Т1.С}} = V_{\text{Т1.С}}^{\text{ТЕОР.}} + \sum_1^n V_{i\text{Т1.С}}^* \quad (2.89)$$

Об'єм елемента забою $V_{i\text{Т1.С}}^*$, дорівнюватиме:

$$V_{i\text{Т1.С}}^* = x_{22} \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{22}} \right) \cdot \left(\int_{-H_{K1}}^{y_{22}} \left[(R_{\text{Т1.С+P+K}}^2 - (h_{\text{Ш}} - y)^2) - \left(x_{B_2} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_2})^2} \right)^2 \right] dy + \int_{y_{22}}^{y_{12}} \left[\left(x_{B_2} - \sqrt{R_{\text{P+K}}^2 - (y - y_{B_2})^2} \right)^2 - \left(x'_{B_2} - \right. \right. \right.$$

$$\sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y'_{B_2})^2} \Big)^2 \Big] dy + \int_{y_{12}}^0 \left[\left(x_{12} - \sqrt{R_{12}^2 - (h_{III} - y)^2} \right)^2 - (R_{12}^2 - (h_{III} - y)^2) \right] dy \Big), \quad (2.90)$$

де x_{22}, y_{22} – координати точки 22, визначаються аналогічно координатам точок 2, 9, 15, 20 – (2.68), (2.72), (2.74).

3. При двох виштовхнутих ТС стріли $\{A_2^2, B_2^0, E_i^e\}$, (рис. 2.19, в):

$$V_{\text{ТЕХ.Т2.С}} = V_{\text{Т2.С}}^{\text{ТЕОР.}} + V_{1\text{Т2.С}}^* + V_{2\text{Т2.С}}^* + V_{3\text{Т2.С}}^* + V_{i\text{Т2.С}}^*; \quad (2.91)$$

$$V_{\text{ТЕХ.Т2.С}} = V_{\text{Т2.С}}^{\text{ТЕОР.}} + \sum_1^n V_{i\text{Т2.С}}^*. \quad (2.92)$$

Об'єм елементу забою $V_{i\text{Т2.С}}^*$, дорівнюватиме:

$$V_{i\text{Т2.С}}^* = x_{24} \left(2 \sin^{-1} \frac{B}{2 \cdot x_{24}} \right) \cdot \left(\int_{-H_{K2}}^{y_{244}} \left[(R_{\text{Т2.С}+P+K}^2 - (h_{III} - y)^2) - \left(x_{B_3} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_3})^2} \right)^2 \right] dy + \int_{y_{24}}^{y_{18}} \left[\left(x_{B_3} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y_{B_3})^2} \right)^2 - \left(x'_{B_3} - \sqrt{R_{P+K}^2 - (y - y'_{B_3})^2} \right)^2 \right] dy + \int_{y_{18}}^0 \left[\left(x_{18} - \sqrt{R_{18}^2 - (h_{III} - y)^2} \right)^2 - (R_{18}^2 - (h_{III} - y)^2) \right] dy \Big), \quad (2.93)$$

де x_{24}, y_{24} – координати точки 24, визначаються аналогічно координатам точок 2, 9, 15, 20, 22 – (2.68), (2.72), (2.74).

Розрахунки за наведеними математичними моделями, у зв'язку зі складністю та громіздкістю, доцільно проводити в системі комп'ютерної алгебри *Mathcad* [75, 76].

2.5. Визначення оптимальної товщини вирізаної стружки при копанні ТРО ОГЕ

Створення енергоефективних машин пов'язане з визначенням оптимальних траєкторій копання та товщини вирізаної ґрунтової стружки.

Режим навантаження гідромеханізмів ТРО ОГЕ являє собою випадковий процес, при цьому максимальні опори на робочому органі можуть виникнути в будь-якій точці траєкторії ріжучої кромки [77]. Приймаємо за основу для визначення дотичних зусиль на ріжучій кромці ковша формулу

М. Г. Домбровського (1.25). Вважаємо коефіцієнт питомого опору ґрунту копанню постійним в процесі копання $K_{\text{ПТ}} = \text{const}$, а дотична складова опору ґрунту копанню на ріжучій кромці ковша $P_{01}^{\Gamma\Pi}$ дорівнює максимальному зусиллю, яке може створити ТРО в цьому положенні.

Вважаємо товщиною вирізаної стружки h відстань по нормалі в кожній точці M_1 до точки M (рис. 2.20), тоді рівняння нормалі [77]:

$$Y_{M_1} - Y_M = k^*(X_{M_1} - X_M), \quad (2.94)$$

де k^* – коефіцієнт нормалі.

$$k^* = -\frac{1}{k} = -\frac{\dot{X}_M(P_h)}{\dot{Y}_M(P_h)}; \quad (2.95)$$

$$k = \frac{dY_M}{dX_M} = \frac{\frac{dY_M}{dP_h}}{\frac{dX_M}{dP_h}} = \frac{\dot{Y}_M(P_h)}{\dot{X}_M(P_h)}, \quad (2.96)$$

де P_h – аргумент товщини стружки h_{max} , $h_{\text{max}} = f(\varphi_1, \varphi_3, L_{\text{Т.ЧС}}, L_{\text{Т.Р}}, P_{01}, K_{\text{СТ}})$, кути φ_2 та φ_4 вважаємо незмінними в процесі копання рукояттю.

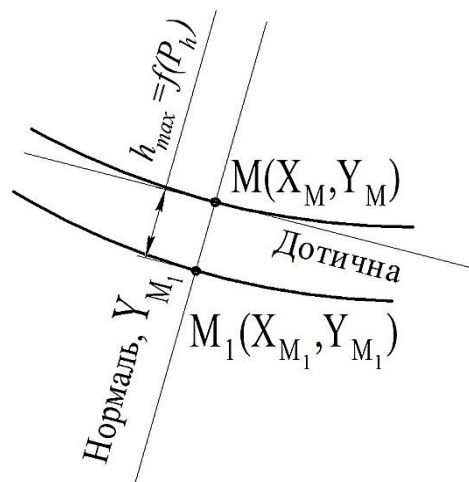


Рис. 2.20. Схема для визначення максимальної товщини стружки h_{max}
Підставимо (2.95) в (2.94), тоді рівняння нормалі:

$$Y_{M_1} = Y_M + \frac{\dot{X}_M}{\dot{Y}_M}(X_{M_1} - X_M). \quad (2.97)$$

Таким чином, товщина вирізаної стружки дорівнюватиме:

$$h = |\overline{MM_1}| = \sqrt{(Y_{M_1} - Y_M)^2 + (X_{M_1} - X_M)^2}, \quad (2.98)$$

де (X_{M_1}, Y_{M_1}) – координати точки M_1 , (X_M, Y_M) – координати точки M , визначаються за формулами (2.62) – (2.65).

Для знаходження умовних екстремумів h_{max} та градієнтної траєкторії в кожній точці копання при зміні кутів $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_4$ та довжин телескопічної стріли $L_{Т.ЧС}$ та телескопічної рукояті $L_{Т.Р}$ розбиваємо траєкторію копання на n, m, l, u та w відрізків, відповідно:

$$\begin{aligned} \varphi_{1_i} &= [\varphi_{1_{min}}, \varphi_{1_{max}}] \stackrel{\text{def}}{=} \{\varphi_{1_i} \in \mathbb{R}: \varphi_{1_{min}} \leq \varphi_{1_i} \leq \varphi_{1_{max}}\}, \\ \Delta\varphi_{1_i} &= \frac{\varphi_{1_{max}} - \varphi_{1_{min}}}{n}; \end{aligned} \quad (2.99)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{3_j} &= [\varphi_{3_{min}}, \varphi_{3_{max}}] \stackrel{\text{def}}{=} \{\varphi_{3_j} \in \mathbb{R}: \varphi_{3_{min}} \leq \varphi_{3_j} \leq \varphi_{3_{max}}\}, \\ \Delta\varphi_{3_j} &= \frac{\varphi_{3_{max}} - \varphi_{3_{min}}}{m}; \end{aligned} \quad (2.100)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{4_z} &= [\varphi_{4_{min}}, \varphi_{4_{max}}] \stackrel{\text{def}}{=} \{\varphi_{4_z} \in \mathbb{R}: \varphi_{4_{min}} \leq \varphi_{4_z} \leq \varphi_{4_{max}}\}, \\ \Delta\varphi_{4_z} &= \frac{\varphi_{4_{max}} - \varphi_{4_{min}}}{l}; \end{aligned} \quad (2.101)$$

$$\begin{aligned} L_{Т.ЧС_k} &= [L_{Т.ЧС_{min}}, L_{Т.ЧС_{max}}] \stackrel{\text{def}}{=} \\ &\stackrel{\text{def}}{=} \{L_{Т.ЧС_k} \in \mathbb{R}: L_{Т.ЧС_{min}} \leq L_{Т.ЧС_k} \leq L_{Т.ЧС_{max}}\}, \\ \Delta L_{Т.ЧС_k} &= \frac{L_{Т.ЧС_{max}} - L_{Т.ЧС_{min}}}{u}; \end{aligned} \quad (2.102)$$

$$\begin{aligned} L_{Т.Р_g} &= [L_{Т.Р_{min}}, L_{Т.Р_{max}}] \stackrel{\text{def}}{=} \{L_{Т.Р_g} \in \mathbb{R}: L_{Т.Р_{min}} \leq L_{Т.Р_g} \leq L_{Т.Р_{max}}\}, \\ \Delta L_{Т.Р_g} &= \frac{L_{Т.Р_{max}} - L_{Т.Р_{min}}}{w}, \end{aligned} \quad (2.103)$$

де $i, j, z, n, m, l, k, g, u, w$ – умовні одиниці.

Застосуємо метод невизначених множників Лагранжа для створення цільової функції $h_{max} = f(\varphi_1, \varphi_3, L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р}, P_{01}, K_{СТ})$ та знаходження умовних локальних екстремумів на кожному з цих відрізків, при відповідних значеннях в цих положеннях дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} та забезпеченні коефіцієнту стійкості $K_{СТ}$. Функція Лагранжа матиме вид:

$$\begin{aligned} \Phi(\Delta\varphi_{1_i}, \Delta\varphi_{3_j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, \Delta L_{Т.Р_g}, P_{01_{ij}}, \lambda_l) &= \\ &= h(\Delta\varphi_{1_i}, \Delta\varphi_{3_j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, \Delta L_{Т.Р_g}, P_{01_{ij}}) + \lambda_l[\omega_l] \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.104)$$

де $\lambda_l[\omega_l]$ – множник Лагранжа по кожному аргументу, який дорівнює:

$$\lambda_l[\omega_l] = \lambda_l \left[M_{УТ} - M_{ПЕР_{n,m}}(\Delta\varphi_{1_i}, \Delta\varphi_{3_j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, \Delta L_{Т.Р_g}, P_{01_{ij}}) \right] \quad (2.105)$$

де, $M_{УТ}$ та $M_{ПЕР}$ – відповідно утримуючий та перекидаючий моменти, таким чином умова стійкості виконується автоматично.

Цикл розрахунку повторюватиметься на кожній ділянці m руху точки M – ріжучої кромки ковша. Початковими координатами для кожної наступної траєкторії будуть координати в кожній точці попередньої траєкторії. Система є відкритою тому можна додавати додаткові чи прибирати введені обмеження при оптимізації по конкретному параметру. В даному випадку розглядається активна зміна усіх аргументів при розрахунку товщини стружки.

Визначаємо дотичне зусилля $P_{01}^{\Gamma\Pi}$ на ріжучій кромці ковша (по зусиллю гідроциліндра) при копанні поворотом рукояті (рис. 2.21), за основу приймаємо (1.32) та підставляючи в неї (1.6) та (1.7):

$$P_{01}^{\Gamma\Pi} = R_{Т.Р+К}^{-1} \left[\frac{P_{Н\Pi} \pi D^2 \rho l (\varphi_{Поч.} + \Delta\varphi_{3j})}{4S} + G_{Т.Р} r_{G_{Т.Р}} + (G_{К} + S_{ij} b_{К} \gamma_{Г}) r_{G_{К+Г}} \right], \quad (2.106)$$

де $G_{НЧС}$, $G_{ТЧС}$, $G_{Т.Р}$, $G_{К}$ – сили тяжіння разом з відповідними гідроциліндрами елементів ТРО та ковша; $r_{G_{НЧС}}$, $r_{G_{ТЧС}}$, $r_{G_{Т.Р}}$, $r_{G_{К+Г}}$ – плечі відповідних сил визначаються за формулами (2.107) – (2.111); S_{ij} – площа повздовжнього перетину елемента вирізаної стружки.

$$r_{G_{НЧС}} = (L_{НЧС} \cdot l_{G_{НЧС}}) \cos \varphi_1; \quad (2.107)$$

$$r_{G_{ТЧС}} = L_{НЧС} \cos \varphi_1 + (L_{ТЧС} \cdot l_{G_{ТЧС}}) \cos \Delta_1; \quad (2.108)$$

$$r_{G_{Т.Р}} = L_{НЧС} \cos \varphi_1 + L_{ТЧС} \cos \Delta_1 + (L_{Т.Р} \cdot l_{G_{Т.Р}}) \cos \Delta_2; \quad (2.109)$$

$$r_{G_{К+Г}} = L_{НЧС} \cos \varphi_1 + L_{ТЧС} \cos \Delta_1 + L_{Т.Р} \cos \Delta_2 + (R_{К} \cdot l_{G_{К+Г}}) \cos \Delta_3; \quad (2.110)$$

$$\Delta_3 = (\Delta_2 - (\pi - \varphi_4)), \quad (2.111)$$

де $l_{G_{НЧС}}$, $l_{G_{ТЧС}}$, $l_{G_{Т.Р}}$, $l_{G_{К+Г}}$ – відповідно відсоткові коефіцієнти положення центру ваги від довжини нижньої частини стріли, телескопічної частини стріли, телескопічної рукояті та ковша з ґрунтом, Δ_1 , Δ_2 – сумарні кути, визначаються за (2.58) та (2.61), відповідно.

Повздовжній перетин вирізаної стружки обмежується кривими: $Y1$ – від точки M до M_{ij} ; $Y2$ – від точки M_{ij} до M'_{ij} ; $Y3$ – від точки M'_{ij} до M''_{ij} ; $Y4$ – від точки M''_{ij} до M (рис. 2.21), тоді рівняння цих кривих відповідно дорівнюють:

$$Y1(x) = \sqrt{(L_{T.P.g} + r_K)^2 - (x - x_{B_{ij}})^2} + y_{B_{ij}}; \quad (2.112)$$

$$Y2(x) = \sqrt{r_K^2 - (x - x_{C_{(z+1)ij}})^2} + y_{C_{(z+1)ij}}; \quad (2.113)$$

$$Y3(x) = \sqrt{(L_{T.P.g} + r_K)^2 - (x - x_{B_{(i-1)j}})^2} + y_{B_{(i-1)j}}; \quad (2.114)$$

$$Y4(x) = \sqrt{r_K^2 - (x - x_{C_{zij}})^2} + y_{C_{zij}}. \quad (2.115)$$

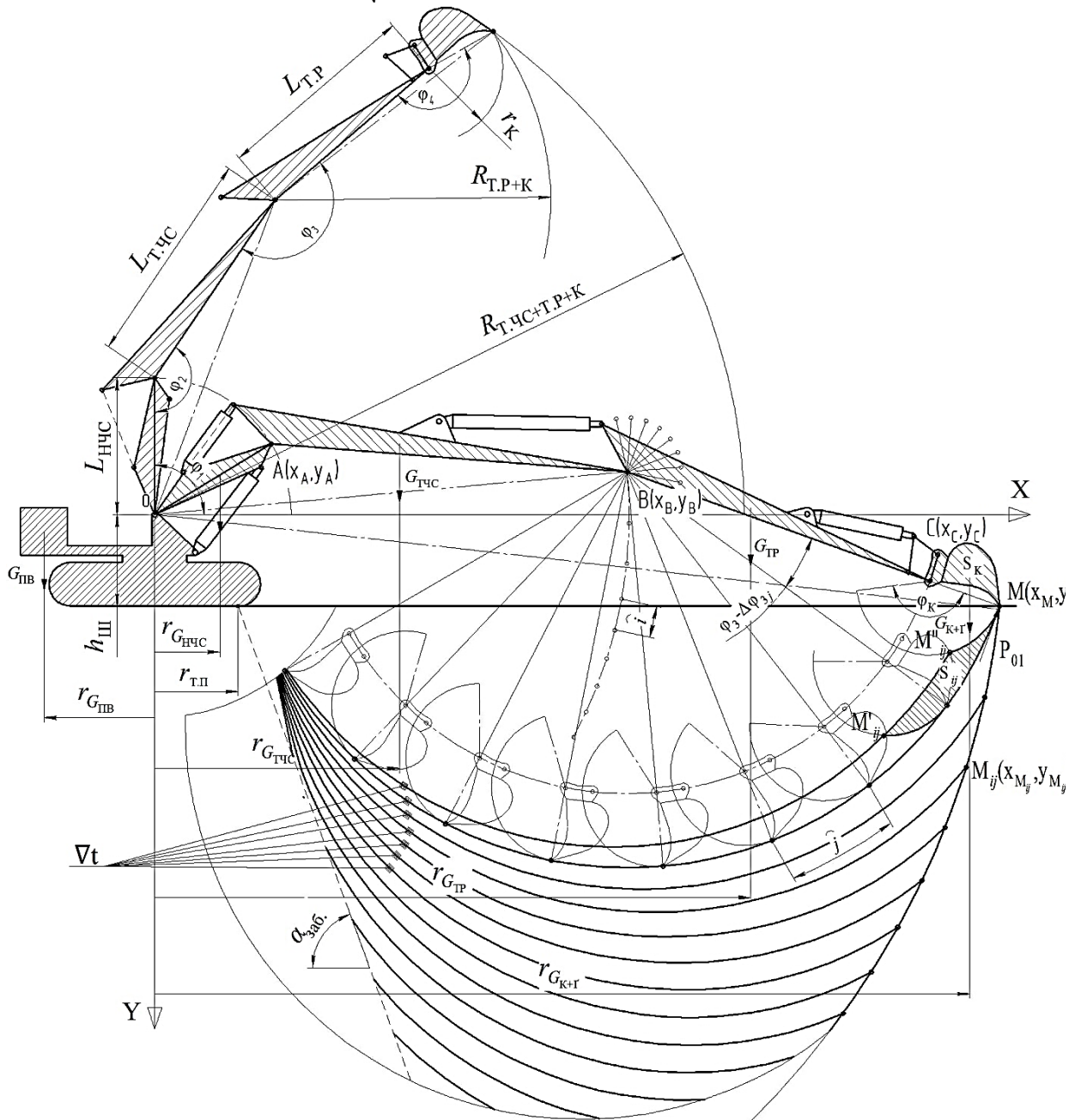


Рис. 2.21. Розрахункова схема для визначення траєкторій копання та товщини ґрунтової стружки: ∇t – градієнтні траєкторії; $\alpha_{заб.}$ – кут забою, визначається у відповідності до категорії ґрунту

При подальшому копанні ($y_{B_{ij}} > h_{III}$) утворюється крива $Y5$, яка відповідає крайнім положенням елементів ТРО, радіусом $R_{T.C+T.P+K}$:

$$Y5(x) = \sqrt{R_{T.C+T.P+K}^2 - (x - x_{M_i})^2}. \quad (2.116)$$

Таким чином, площа повздовжнього перетину вирізаної ґрунтової стружки S_{ij} із урахуванням коефіцієнтів розпушення ґрунту k_p та наповнення ковша k_H , при ($y_{B_{ij}} \leq h_{III}$), дорівнюватиме:

при ($y_{B_{ij}} \leq h_{III}$)

$$S_{ij} = \iint_D dx dy = \int_{x_{M_{ij}}}^{x_M} dx \int_{Y1(x)}^{Y4(x)} dy + \int_{x_{M'_{ij}}}^{x_{M_{ij}}} dx \int_{Y3(x)}^{Y2(x)} dy + \int_{x_{M'_{ij}}}^{x_{M_{ij}}} dx \int_{Y4(x)}^{Y3(x)} dy - \left(\frac{S_K \cdot k_H}{k_p} \right) = 0; \quad (2.117)$$

при $y_{B_{ij}} > h_{III}$

$$S'_{ij} = \iint_D dx dy = \int_{x_{M_{ij}}}^{x_M} dx \int_{Y1(x)}^{Y5(x)} dy + \int_{x_{M'_{ij}}}^{x_{M_{ij}}} dx \int_{Y2(x)}^{Y1(x)} dy + \int_{x_{M'_{ij}}}^{x_{M_{ij}}} dx \int_{Y3(x)}^{Y2(x)} dy - \left(\frac{S_K \cdot k_H}{k_p} \right) = 0. \quad (2.118)$$

Дотична складова зусилля опору ґрунту копанню P_{01} з умови постійності питомого опору ґрунту копанню в процесі копання $K_{ПГ} = const$, яка забезпечується зміною товщини вирізаної стружки відповідно до формул (1.25) і (2.106) при умові:

$$P_{01}^{ГП} \leq P_{01} \leq P_{01}^{ГЦ}. \quad (2.119)$$

Таким чином, відповідно до формул (1.25) і (2.98):

$$\frac{P_{01}}{b_K K_{ПГ}} = \sqrt{(Y_{M_1} - Y_M)^2 + (X_{M_1} - X_M)^2}. \quad (2.120)$$

Момент утримуючий (рис.2.21):

$$M_{УТ} = G_{ПВ} \cdot r_{G_{ПВ}} \quad (2.121)$$

Момент перекидаючий (рис.2.21):

$$M_{ПЕР} = f(\Delta\varphi_{1i}, \Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{T.Ck}, \Delta L_{T.Pg}, P_{01ij}) = G_{Ц} r_{G_{Ц}} + G_{ЦС} r_{G_{ЦС}} + G_{НЧС} r_{G_{НЧС}} + G_{ТЧС} r_{G_{ТЧС}} + G_{ЦР} r_{G_{ЦР}} + G_{ТР} r_{G_{ТР}} + G_{ЦК} r_{G_{ЦК}} + (G_K + S_{ij} b_K \gamma_\Gamma) r_{G_{K+\Gamma}} + P_{01} \sin \theta; \quad (2.122)$$

$$\theta = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 + \frac{\pi}{2}, \quad (2.123)$$

На рисунку 2.22 представлені графіки залежності коефіцієнту стійкості $K_{СТ}$ від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j} та місткості ковша q_i при копанні на максимальному вильоті телескопічних стріли та рукояті та ківшом місткістю $q_i=0.8 \text{ м}^3$, а також графіки залежності коефіцієнту стійкості $K_{СТ}$ та дотичної складової зусилля копання P_{01} від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j} (рис. 2.23).

Будуємо функцію Лагранжа в загальному виді для усіх обмежень по товщині стружки, з умови забезпечення стійкості та максимального зусилля P_{01} на ріжучій кромці ковша, використовуючи невизначені множники:

$$\lambda_1 [M_{УТ} - f(\Delta\varphi_{1i})] = 0; \quad (2.124)$$

$$\lambda_2 [M_{УТ} - f(\Delta\varphi_{3j})] = 0; \quad (2.125)$$

$$\lambda_3 [M_{УТ} - f(\Delta L_{Т.ЧС_k})] = 0; \quad (2.126)$$

$$\lambda_4 [M_{УТ} - f(\Delta L_{Т.Р_g})] = 0; \quad (2.127)$$

$$\lambda_5 [M_{УТ} - f(P_{01ij})] = 0. \quad (2.128)$$

$$\begin{aligned} & \Phi(\Delta\varphi_{1i}, \Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, \Delta L_{Т.Р_g}, P_{01ij}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) = \\ & = \sum_{i=1}^5 [h(\Delta\varphi_{1i}, \Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, \Delta L_{Т.Р_g}, P_{01ij}) + \lambda_l \omega_l] \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.129)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta\varphi_{1i}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta\varphi_{3j}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{Т.ЧС_k}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{Т.Р_g}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{01ij}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_5} = 0. \end{array} \right. \quad (2.130)$$

Будуємо функції Лагранжа для визначення товщини ґрунтової стружки v , з умови забезпечення стійкості та максимального зусилля P_{01} на ріжучій кромці ковша, використовуючи невизначені множники (2.124)-(2.128):

-при копанні поворотом рукояті на кут $\Delta\varphi_{3j}$ з адаптацією кута $\Delta\varphi_{1i}$ та постійних розмірах телескопічної частини стріли та рукояті (рис.2.24):

$$\begin{aligned} & \Phi(\Delta\varphi_{1i}, \Delta\varphi_{3j}, P_{01ij}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \\ & = \sum_{i=1}^3 [h(\Delta\varphi_{1i}, \Delta\varphi_{3j}, P_{01ij}) + \lambda_l \omega_l] \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.131)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta\varphi_{1i}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta\varphi_{3j}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{01ij}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_3} = 0; \end{cases} \quad (2.132)$$

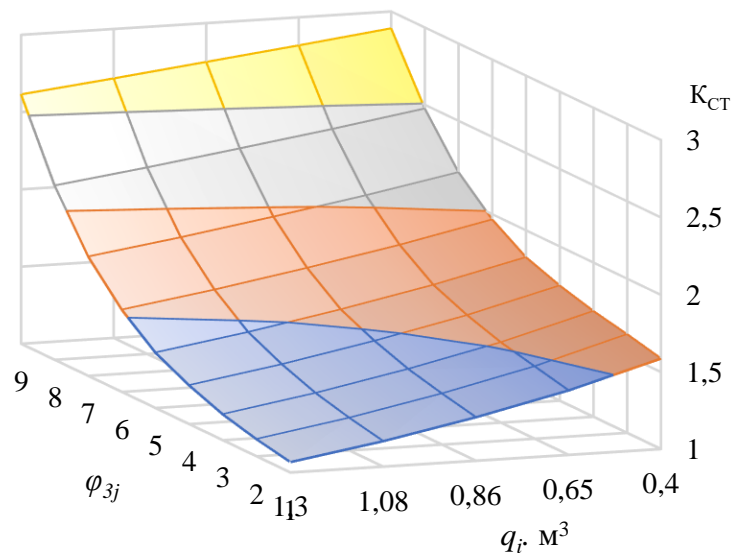


Рис. 2.22. Графік залежності коефіцієнту стійкості $K_{СТ}$ від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j} та місткості ковша q_i

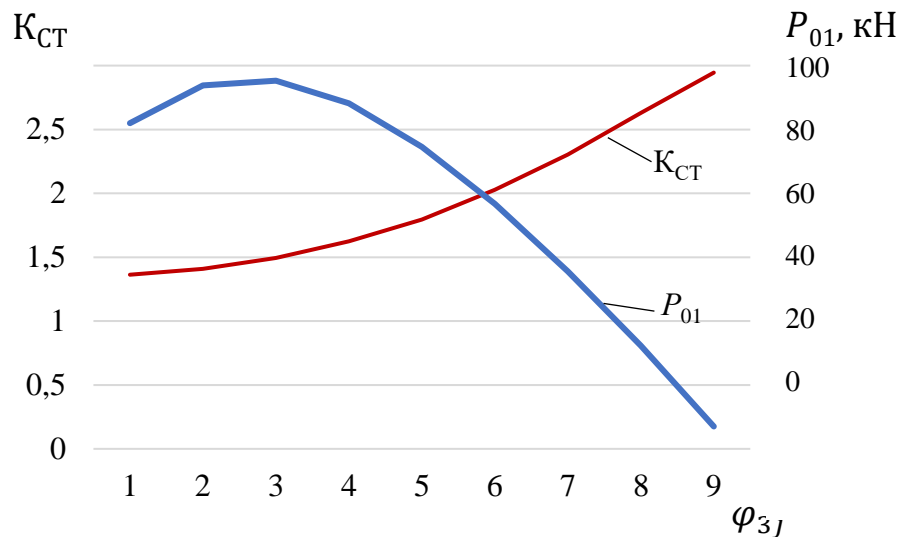


Рис. 2.23. Графіки залежності коефіцієнту стійкості $K_{СТ}$ та дотичної складової зусилля копання P_{01} від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j}

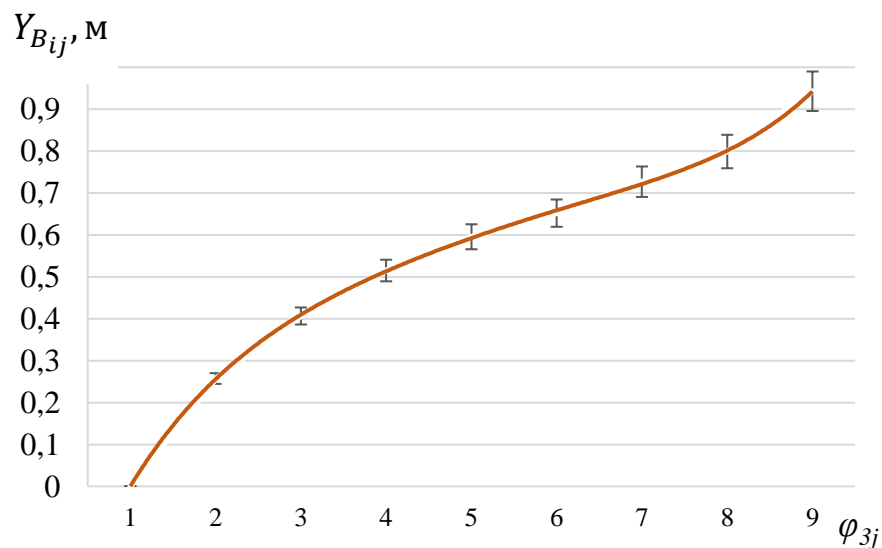


Рис. 2.24. Оптимізаційний графік зміни ординати точки B – шарніру кріплення рукояті від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j}

-при копанні поворотом рукояті на кут $\Delta\varphi_{3j}$ з адаптацією по довжині телескопічної частини стріли $\Delta L_{Т.ЧС_k}$ та постійних розмірі телескопічної рукояті та куті $\Delta\varphi_{1_i}$ (рис. 2.25):

$$\begin{aligned} & \Phi \left(\Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, P_{01_{ij}}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \right) = \\ & = \sum_{i=1}^3 \left[h \left(\Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{Т.ЧС_k}, P_{01_{ij}} \right) + \lambda_i \omega_i \right] \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.133)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta \varphi_{3j}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{T.ЧC_k}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{01ij}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_3} = 0; \end{array} \right. \quad (2.134)$$

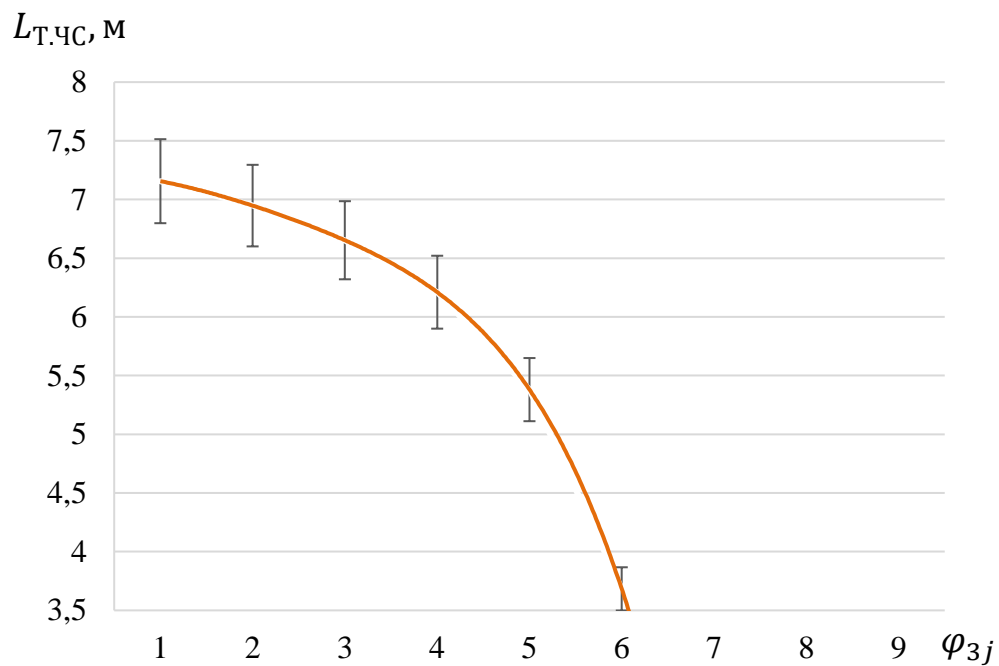


Рис. 2.25. Оптимізаційний графік зміни довжини телескопічної частини стріли $L_{T.ЧC}$ від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j}

-при копанні поворотом рукояті на кут $\Delta\varphi_{3j}$ з адаптацією по довжині телескопічної частини рукояті $\Delta L_{T.P_g}$ та постійних розмірі телескопічної стріли та куті $\Delta\varphi_{1i}$ (рис. 2.26):

$$\begin{aligned} \Phi \left(\Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{T.P_g}, P_{01ij}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \right) = \\ = \sum_{i=1}^3 \left[h(\Delta\varphi_{3j}, \Delta L_{T.P_g}, P_{01ij}) + \lambda_l \omega_l \right] \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (2.135)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta \varphi_{3j}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{T.P.g}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{01ij}} = 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_3} = 0. \end{array} \right. \quad (2.136)$$

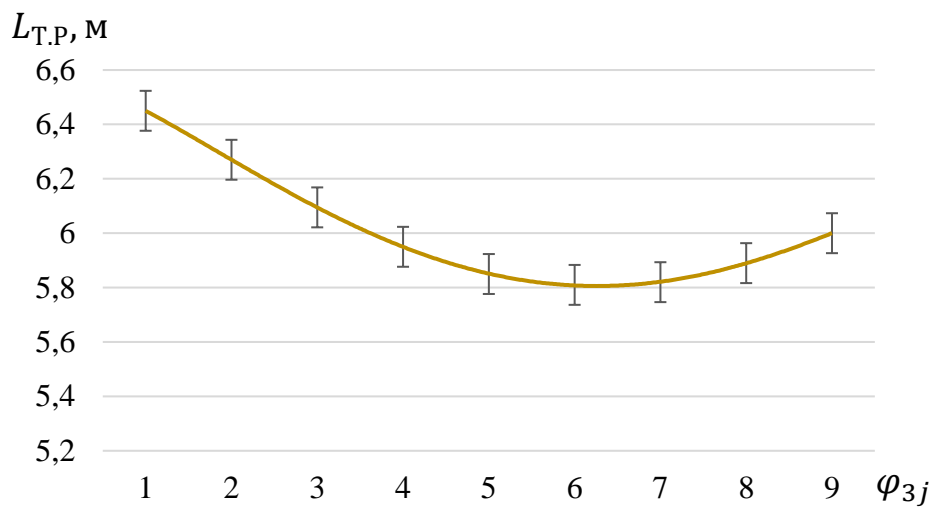


Рис. 2.26. Оптимізаційний графік зміни довжини телескопічної рукояті $L_{T.P.}$ від зміни кута повороту телескопічної рукояті φ_{3j}

Будуємо обмежуючі траєкторії копання через точки екстремумів кожній ділянці m руху точки M (рис. 2.21), відстань по нормалі від кожної точки M до точки M_1 дорівнюватиме оптимальній товщині стружки з умов забезпечення стійкості та максимально можливого зусилля P_{01} .

Копання відбувається по градієнтній кривій на кожній ділянці m руху точки M через точки екстремуму з умов наповнення ковша.

Висновки по розділу 2

1. В результаті теоретичного дослідження по формуванню ТРО ОГЕ отримано модель формування ТРО ОГЕ методом орієнтованих гіперграфів та теорії множин, яка дозволяє отримувати коректні поєднання з традиційних та телескопічних елементів у нові структури ТРО, які включають всі можливі

комбінації як кінематичних $\{c|A_n \wedge B_k \wedge E_w \subset c\}=2197$, так і технологічних схем $\{A_n^z B_k^z\} = 49$ (таблиця 2.1) та виключають фізично неможливі комбінації.

2. Встановлена залежність зміни експлуатаційної продуктивності $P_{\text{експ}}$ від збільшення об'єму розроблюваного ґрунту в забої $V_{\text{тех.}i}$ в періоді одного переміщення екскаватора T_i у зв'язку із застосуванням ТРО, формула (2.29).

3. Система показників для оцінки ефективності нових конструктивних рішень набула подальшого розвитку та доповнена комплексом показників, в якому враховується вплив зміни геометричних параметрів у зв'язку із застосуванням ТРО ОГЕ (таблиця 2.2), серед яких: об'єм ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОГЕ – $V_{\text{тех.}i}$; показник оцінки енергоємності глибини копання – H_N ; показник оцінки матеріалоємності по глибині копання – H_G ; узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання – H_{NG} ; показник енергоємності по радіусу копання – R_N ; показник матеріалоємності по радіусу копання – R_G ; узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання – R_{NG} ; питома продуктивність по масі ОГЕ – $P_{\text{ПТ}G}$; питома продуктивність по потужності ОГЕ – $P_{\text{ПТ}N}$; показник енергоємності по місткості ковша – q_N ; показник матеріалоємності по місткості ковша – q_G ; узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша – q_{NG} ; узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша – H_{NGq} ; узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша – R_{NGq} .

4. Координати просторового позиціонування елементів ТРО ОГЕ слід розраховувати по отриманим автором формулам (2.54)-(2.66).

5. Наведені математичні моделі для інтегральних розрахунків теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{\text{тех.}0}$ ТРО ОГЕ, як в періоді одного переміщення (піонерного забою) (2.67)-(2.85), так і забоїв при подальшому копанні ґрунту $V_{\text{тех.}i}$ (2.86)-(2.94). 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).

6. Наведені математичні моделі (2.105)-(2.121) для визначення зусиль та товщини вирізаної стружки при копанні ТРО ОГЕ дозволяють знаходити оптимальну товщину вирізаної стружки при умові забезпечення стійкості та максимально можливого зусилля $P_{01}^{ГЦ}$, за якими побудовані оптимізаційні графіки для руху по градієнтній траєкторії з розрахунковою товщиною ґрунтової стружки для зміни ординати шарніру кріплення рукояті, зміни довжини телескопічної частини стріли та зміни довжини телескопічної рукояті від зміни кута повороту телескопічної рукояті показують коректність моделей:

- для зміни куту ТРО гідроциліндрами стріли та зміни довжини телескопічної рукояті;

- для зміни довжини телескопічної частини стріли адаптація можлива до шостого розрахункового положення, для наступних розрахункових положень рішення знаходиться поза межами геометричних параметрів ТРО, таким чином зміну довжини телескопічної частини стріли необхідно поєднувати з одночасною зміною довжини телескопічної рукояті чи куту ТРО гідроциліндрами стріли.

Результати дослідження, викладені у другому розділі дисертації опубліковані автором у наукових виданнях та представлені у загальному списку літератури [55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 66, 67, 70, 71, 72, 77].

РОЗДІЛ 3

СТЕНДОВЕ ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета і задачі експериментальних досліджень, умови фізичного моделювання процесу взаємодії ТРО ОГЕ з ґрунтовим середовищем

Метою експериментальних досліджень є виявлення фізичної сторони процесу взаємодії з розроблюваним середовищем моделі ТРО ОГЕ, закономірностей зміни: активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}}$, дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} , маси розробленого ґрунту у зв'язку із застосуванням ТРО від варіювання його конструктивних і технологічних параметрів (довжина телескопічної частини стріли $L_{\text{Т.ЧС}}$, довжина телескопічної рукояті $L_{\text{Т.Р}}$, ширина ріжучої кромки ковша $b_{\text{К}}$ та товщина зрізаної стружки $h_{\text{СТР}}$) та виявлення раціональних параметрів ТРО та зусиль опору копання ґрунту.

Експериментальні дослідження передбачали рішення таких задач:

- створення стендового обладнання, фізичної моделі ТРО ОГЕ та фізичних моделей ковшів;
- дослідження на фізичних моделях ТРО ОГЕ та ковшів процесу взаємодії з розроблюваним ґрунтовим середовищем, вивчення якісної картини та фізичної суті процесу копання;
- визначення силових та енергетичних параметрів процесу взаємодії з розроблюваним ґрунтовим середовищем для оцінки достовірності результатів теоретичних досліджень;
- визначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ на основі одержаних закономірностей результатів експериментальних випробувань.

Фізичне моделювання дозволяє з мінімальними затратами провести дослідження нових конструктивних рішень робочих органів землерийних машин та оптимізацію їх параметрів. Методологія моделювання робочих процесів землерийних машин базується на теорії подібності [78, 79, 80, 81].

Умови фізичного моделювання робочих процесів землерийних машин полягають в наступному:

- визначальні критерії подібності процесу копання ґрунту для моделі та оригіналу повинні бути рівними;
- однойменні фізичні параметри рівнянь, які описують робочий процес та складених для моделі й оригіналу, повинні бути відповідно пропорційними;
- процес взаємодії ТРО із середовищем в моделі та оригіналі повинні належати до одного класу явищ та описуватись однаковою системою рівнянь;
- модель та оригінал ТРО і системи в цілому повинні бути геометрично подібними;
- початкові та кінцеві умови, які характеризують робочий процес у моделі, повинні бути подібними відповідним умовам оригіналу.

Для виконання умови подібності процесів, що протікають при взаємодії з модельованим ґрунтовим середовищем фізичної моделі ТРО ОГЕ необхідно виконання рівності геометричних та динамічних критеріїв подібності [79,80]:

$$\left(\frac{\tau}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{\tau}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \left(\frac{C_{\text{W}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{C_{\text{W}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \left(\frac{C_{\text{уд.}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{C_{\text{уд.}}}{\gamma_{\Gamma} \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \left(\frac{v^2}{g \cdot l}\right)_{\text{М}} = \left(\frac{v^2}{g \cdot l}\right)_{\text{Н}}; \quad (3.1)$$

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

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.

На основі рівнянь критеріїв подібності складені умови наближеного фізичного моделювання процесу взаємодії з модельованим ґрунтовим середовищем моделі ТРО ОГЕ. Ці умови та допустимі межі зміни параметрів модельованого ґрунтового середовища надані в таблиці 3.1.

Задачу по проведенню експерименту для встановлення раціональних геометричних параметрів ТРО ОГЕ з врахуванням широких меж міцнісних властивостей звичайних ґрунтів може бути спрощена. Відповідно [78, 79] за основний параметр, що визначає подібність ґрунту по міцності, допустимо

використовувати деякий умовний показник, який функціонально залежить від основних параметрів ($\tau, \rho, \delta, C_w, \gamma_\Gamma$), та відповідає даній дії на ґрунт. За такий умовний показник можна використовувати число ударів динамічного щільноміра ДорНДІ – $C_{уд}$. Достатньо, щоб вказані параметри моделі не виходили за межі розбіжності, яка присутня для ґрунтів заданого типу в природному стані. Такий узагальнений показник, як $C_{уд}$ цілком задовольняє вимоги подібності та забезпечує близьку подібність в натурі та в моделі.

Таблиця 3.1

Умови наближеного фізичного моделювання процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з розроблюваним ґрунтовим середовищем

Визначаючий параметр системи оригіналу	Зміна параметрів системи для моделі	
	Розрахункова формула	Допустимі межі зміни параметрів, примітки
Опір ґрунту копанню	$P_M = \frac{P_H}{k_l^3}$	k_l – масштаб лінійних розмірів l робочого органу
Опір ґрунту зсуву	$\tau_M = \tau_H \cdot k_l^{-1}$	
Зчеплення ґрунту з ґрунтом	$C_{WM} = C_{WH} \cdot k_l^{-1}$	$0 \leq C_{WM} \leq 0.4\gamma_\Gamma \frac{B_H}{k_l}$
Число ударів ударника	$C_{удМ} = C_{удН} \cdot k_l^{-1}$	$0 \leq C_{удМ} \leq 0.003\gamma_\Gamma \frac{B_H}{k_l}$ (для ударника в масштабі 1:10)
Кут внутрішнього тертя	$\rho_M = \rho_H$	$0.92\rho_H \leq \rho_M \leq 1.08\rho_H$
Об'ємна вага	$\gamma_{\Gamma(M)} = \gamma_{\Gamma(H)}$	$0.8\gamma_{\Gamma(H)} \leq \gamma_{\Gamma(M)} \leq 1.0\gamma_{\Gamma(H)}$
Лінійні розміри	$l_M = l_H \cdot k_l^{-1}$	
Кути різання, загострення та ін.	$\alpha_{i(M)} = \alpha_{i(H)}$	
Швидкість копання	$v_M = v_H \cdot k_l^{1/2}$	отримано за критерієм Фруда
Потужність	$N_M = \frac{N_H}{k_l^{3.5}}$	
Продуктивність	$P_{Т.ГОД(M)} = \left[q_M \frac{3600k_H}{t_{ц}k_P} \right] k_l^{2.5}$	k_H, k_P – відповідно коефіцієнти наповнення і розпушення

Для порівняння числових значень силових та енергетичних показників робочого процесу моделі ТРО ОГЕ визначених за експериментальними

залежностями та цих же залежностей, визначених за теоретичними формулами, треба підставляти в останні числові значення параметрів $\tau, C_w, \gamma_r, \rho, \delta$. Оскільки властивості модельованого середовища можуть бути відображені узагальненим показником $C_{уд}$, то необхідно для співставлення теоретичних та експериментальних досліджень встановити залежності між $C_{уд}$ та параметрами ґрунту $C_w, \gamma_r, \rho, \delta$.

При проведенні експериментальних досліджень процесу взаємодії ТРО ОґЕ було змодельоване ґрунтове середовище, при цьому була використана суміш річкового піску, глини та моторного мастила в наступних співвідношеннях: 74%, 21%, 5%, відповідно. Наявність в суміші моторного мастила дає змогу замінити розчинену в ній вологу, а майже його повна не випаровуваність підтримує вологість ґрунту та повітря весь час незмінною.

Дані для отримання характеристик модельованого ґрунту отримані шляхом його досліджень на зсувному приборі, визначенні щільності ґрунту γ_r в залежності від числа ударів $C_{уд}$ за допомогою стандартних методик, а також використані моделі зв'язку між основними показниками міцності ґрунтів (рис. 3.1) [82, 83, 84, 85, 86].

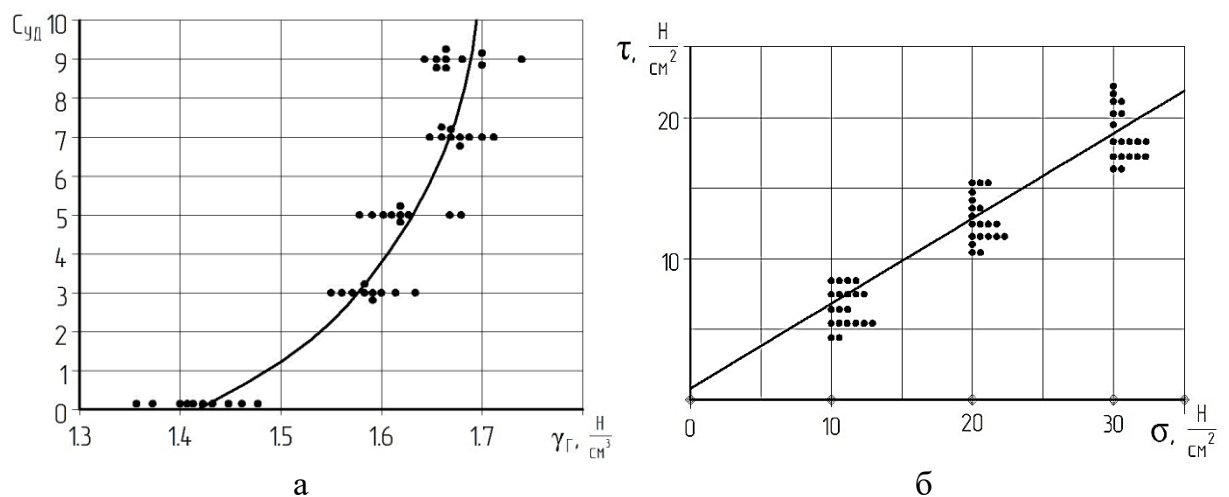


Рис. 3.1. Графіки залежностей: а – числа ударів $C_{уд}$ динамічного щільноміра ДорНДІ (М 1:10) від щільності модельованого ґрунту γ_r ; б – граничного опору ґрунту зсуву τ від нормального напруження σ

На рисунку 3.1 (а) приведено графік залежності числа ударів $C_{уд}$ динамічного щільноміра ДорНДІ в масштабі 1:10 в залежності від щільності модельованого ґрунту γ_r . На рисунку 3.1 (б) приведена зсувна характеристика

модельованого ґрунту, на основі якої було визначено кут внутрішнього тертя $\rho = 32^\circ$ та кут зовнішнього тертя $\delta = 20^\circ$.

Можливість використання такої суміші доведена в роботі [82].

3.2. Стендове обладнання для моделювання процесів взаємодії з ґрунтом ковша ТРО ОґЕ

Дослідження процесу копання ТРО ОґЕ можливо виконати на спеціальному стенді (рис. 3.2, 3.3) [87, 88, 89, 90, 91].

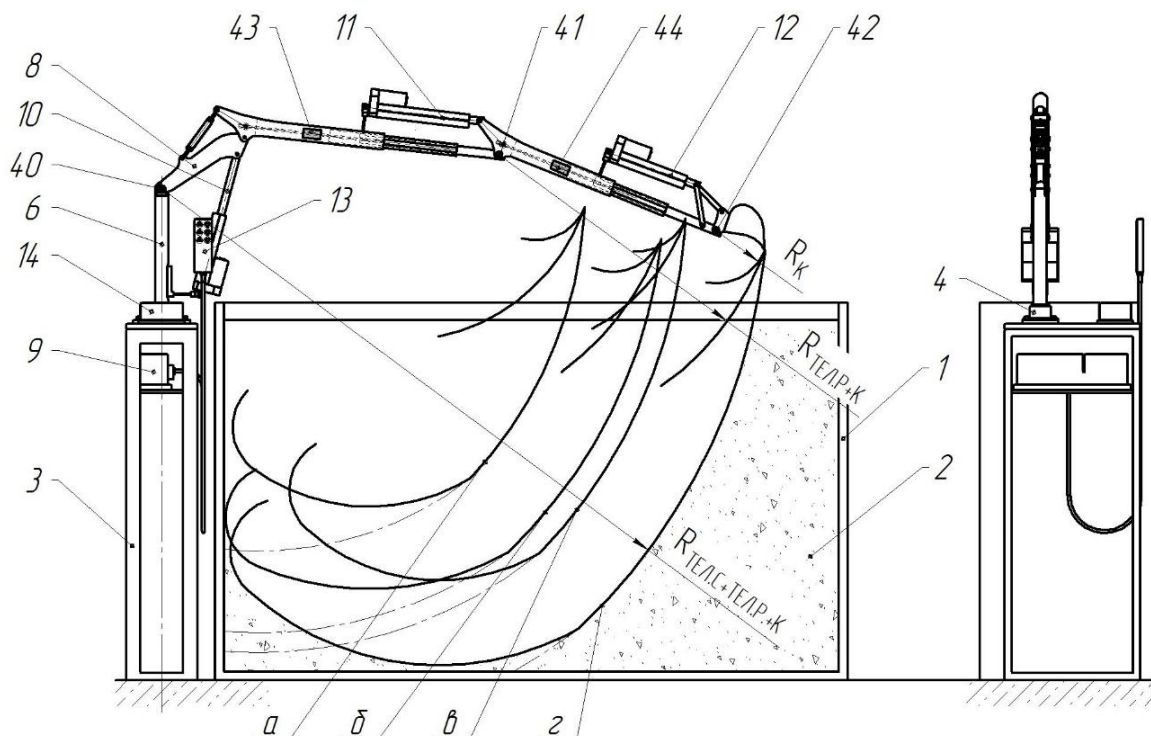


Рис. 3.2. Конструктивна схема стенду для експериментальних досліджень моделі ТРО ОґЕ: R_k , $R_{\text{ТЭЛ.Р.+К.}}$, $R_{\text{ТЭЛ.С.+ТЭЛ.Р.+К.}}$ – радіуси копання ківшом, телескопічною рукояттю з виштовхнутою ТС та ківшом, телескопічними стрілою та рукояттю з виштовхнутими ТС та ківшом, відповідно; *a* – траєкторія копання при втягнутих ТС стріли та рукояті (традиційна конструкція РО); *б* – те саме, при втягнутій ТС стріли та виштовхнутій ТС рукояті; *в* – те саме, при виштовхнутій ТС стріли та втягнутій ТС рукояті; *г* – те саме, при виштовхнутих ТС стріли та рукояті

Для дослідження процесу взаємодії з модельованим середовищем ТРО ОґЕ було розроблено стендове обладнання та фізична модель ТРО з параметричним рядом моделей ковшів. Конструктивна та параметрична схеми стенду представлені на рисунках 3.2 і 3.4, відповідно. Стенд для дослідження процесу взаємодії з модельованим ґрунтовим середовищем моделі ТРО ОґЕ



а



б



в

Рис. 3.3. Загальний вигляд стану для експериментальних досліджень моделі ТРО ОГЕ: а, б – при втягнутих та виштовхнутих ТС стріли і рукояті, відповідно; в – вид стану із забоем

В верхній частині поворотної колонки 6 шарнірно закріплена модель ТРО 8.

Також на рамі 3 розташовано блок живлення з електронним блоком керування 9, які знаходяться в одному корпусі. До електронного блоку керування під'єднані лінійні приводи 10, 11 і 12 моделі ТРО 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 вмикання тензорезисторів, дані з прибору через USB порт передаються на персональний комп'ютер (рис. 3.5). Параметри прибору 14 приведені в таблиці 3.2.

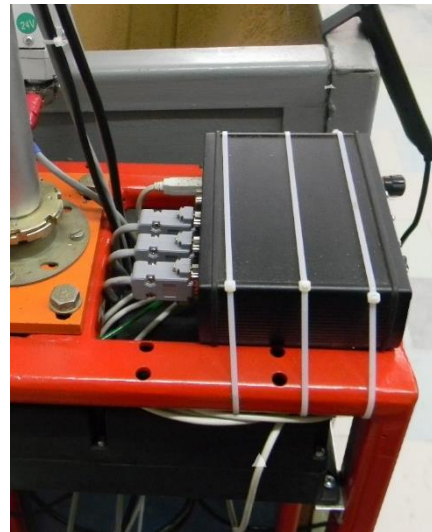
Таблиця 3.2

Параметри прибору «TenzoM-8»

№	Параметр	Значення
1.	Напруга живлення U_s , В	5
2.	Шина даних, тип	USB 2.0
3.	Струм споживання I_s , мА	<200
4.	Опір тензорезисторів, Ом	100...800
5.	Кількість каналів, шт.	8
6.	Період опитування даних, мс	13,6



а



б

Рис. 3.5. Прибор «TenzoM-8»: а – роз'єми для підключення тензометричних ланок; б – загальний вид

В якості зразка для виготовлення моделі ТРО ОГЕ прийнято ОГЕ IV розмірної групи – Hitachi ZX 290LC, масою 29.2т., максимальним радіусом копання $R_{C+P+K_{min}}=11.8\text{м}$ (при традиційному РО) та $R_{C+P+K_{max}}=18.2\text{м}$ (при РО зі збільшеними геометричними параметрами), робочим тиском в гідросистемі

$P_H=35\text{МПа}$, та діаметрами гідроциліндрів: стріли $D_C=170\text{мм}$, рукояті та ковша, відповідно $D_P=155\text{мм}$, $D_K=155\text{мм}$.

Модель ТРО 8 (рис.3.6, а) 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

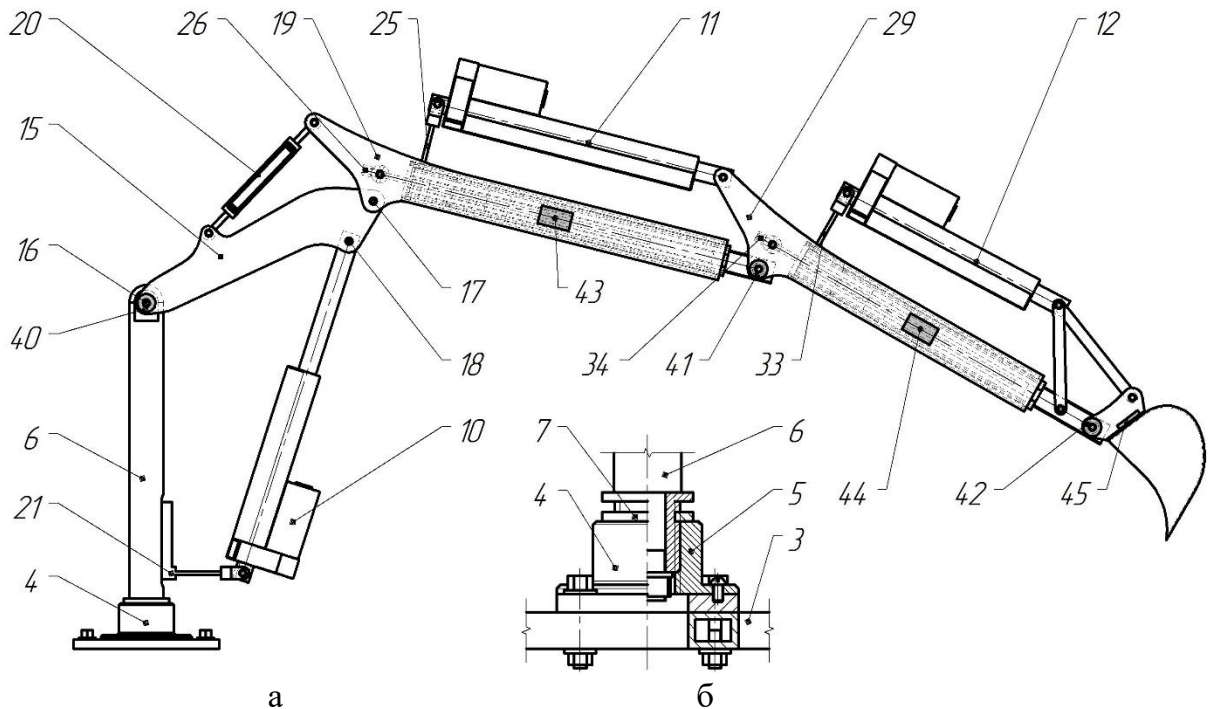


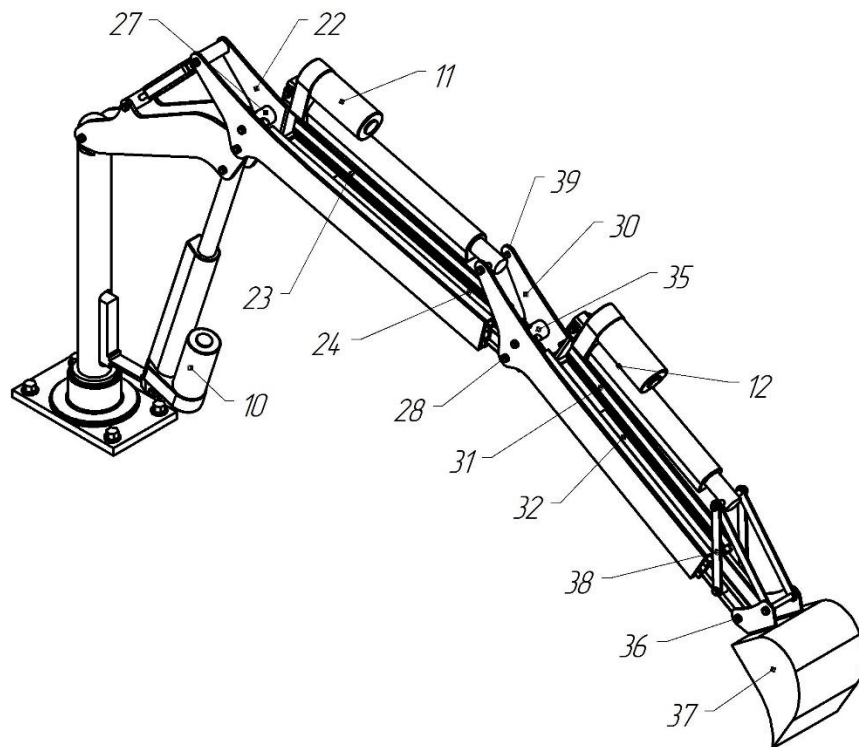
Рис. 3.6. Схема моделі ТРО ОГЕ: а – загальний вигляд; б – поворотний механізм

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. Телескопічна частина стріли 15 складається з двох бокових пластин 22 (рис. 3.7), 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 наклеєними на неї тензорезисторами КФ5П1-10-200-А-12, та нижньої, – що

повторює перетин осердя 24; також нижня частина тензометричної ланки має отвір діаметром 6мм з нарізаною різьбою М6. 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 шестигранний перетин, та шарнірно закріплена в розпірці 27. На кінці осердя 24 розташований шарнір 28 кріплення рукояті 29.



а



б

Рис. 3.7. Модель ТРО ОГЕ: а – фізична модель при виштовхнутих ТС стріли та рукояті; б – аксонометрична проекція моделі

Рукоять 29 складається з двох бокових пластин 30 (рис. 3.7), 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 шестигранний 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.

Поворот рукояті здійснюється лінійним приводом 11, шток якого шарнірно закріплений на осі-розпірці 39 рукояті, а корпус – шарнірно закріплений на тензометричній ланці 25. Поворот 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 (під'єднуються за потреби), відповідно. Датчики підключені по напівмостовій схемі та під'єднані до прибору «TenzoM-8» 14.

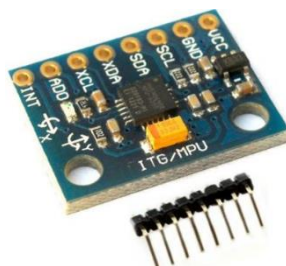
Окрім датчиків 40, 41 та 42 верхня частина стріли, рукоять та ківш обладнані датчиками MPU-6050 43, 44 та 45, відповідно. Датчик MPU-6050 являє собою 3-х осьовий акселерометр та 3-х осьовий гіроскоп для визначення магнітних та зенітних кутів, для визначення просторового позиціонування РО та робочого органу (рис. 3.8). Технічні характеристики датчика наведені в таблиці 3.3. Датчики 43, 44 та 45 підключаються до контролера Arduino Mega 2560 Rev3 (рис. 3.9) технічні характеристики наведені в таблиці 3.4.

Технічну характеристику фізичної моделі ТРО ОГЕ (рис. 3.5) представлено у таблиці 3.5.

Параметри датчика MPU-6050

№	Параметр	Значення
1.	Напруга живлення U_s , В	3-5
2.	Чіп, тип	MPU-6050
3.	Діапазон гіроскопу, $^{\circ}/с$	+250 500 1000 2000
4.	Діапазон акселерометра, g	$\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$
5.	Протокол, тип	ІС (I ² C, TWI)

а



б



Рис. 3.8. Обладнання для просторового позиціонування елементів ТРО: а – датчик MPU-6050; б – контролер Arduino Mega 2560 Rev3

Параметри контролер Arduino Mega 2560 Rev3

№	Параметр	Значення
1	Напруга живлення U_s , В	5
2	Мікроконтролер, тип	ATmega2560 - 16AU
3	Спосіб підключення до USB	ATmega16U2-MU USB контролер
4	Кількість цифрових входів/виходів, шт.	54
5	Кількість аналогових входів, шт.	16
6	Струм в лінії вводу I_s , мА	40
7	Флеш-пам'ять, кБ	256
8	Тактова частота, МГц	16

Технічна характеристика фізичної моделі ТРО ОГЕ

№	Назва параметру	Позначення	Розмірність	Значення
1.	Довжина нижньої частини стріли	$L_{НЧС}$	м	0.274
2.	Довжина телескопічної частини стріли	$L_{Т.ЧС}$	м	0.36...0.72
3.	Довжина телескопічної рукояті	$L_{Т.Р}$	м	0.3...0.6
4.	Висота поворотної колонки	h	м	0.325
5.	Радіус повороту телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ківшом	$R_{Т.С+Т.Р.+Кmin}$	м	0.969
		$R_{Т.С+Т.Р.+Кmax}$	м	1.92
6.	Радіус повороту телескопічної рукояті разом ківшом	$R_{Т.Р.+Кmin}$	м	0.594
		$R_{Т.Р.+Кmax}$	м	0.793
7.	Радіус повороту ковша	R_K	м	0.150
8.	Кут повороту ковша	α_K	град.	147.4
9.	Кут повороту телескопічної рукояті	$\alpha_{Т.Р}$	град.	119.2
10.	Кут повороту телескопічного РО	$\alpha_{Т.РО}$	град.	93
11.	Максимальна глибина копання при втягнутих ТС стріли і рукояті (традиційна конструкція РО)	$H_{К.ТР.С+ТР.Р}$	м	0.72
12.	Максимальна глибина копання при втягнутих ТС стріли та виштовхнутих ТС рукояті	$H_{К.ТР.С+Т.Р}$	м	1.13
13.	Максимальна глибина копання при виштовхнутих ТС стріли та втягнутих ТС рукояті	$H_{К.Т.С+ТР.Р}$	м	1.16
14.	Максимальна глибина копання при виштовхнутих ТС стріли та рукояті	$H_{К.Т.С+Т.Р}$	м	1.48
15.	Лінійні приводи:	-	-	<i>Dailymag motor</i>
	- тип	-	-	<i>ST600-310E</i>
	- споживана напруга	U	В	12
	- вантажопідйомність		Н	1200
	- швидкість висування штоку	v	мм/с	10
	- довжина, хід штоку:			
телескопічної стріли	$L_{ЛП.Т.С}$	мм	258...408	
телескопічної рукояті	$L_{ЛП.Т.Р}$	мм	308...508	
ковша	$L_{ЛП.К}$	мм	258...408	

3.3. Методика проведення експериментальних досліджень, параметри моделей та планування експерименту

В якості визначаючих геометричних параметрів для ТРО ОГЕ прийняті довжина телескопічної частини стріли $L_{Т.чс}$, довжина телескопічної рукояті $L_{Т.р}$, ширина ріжучої кромки ковша b_K та товщина зрізаної стружки $h_{стр}$.

Інші розміри, у відповідності із теорією подібності [80, 81] визначаються залежністю:

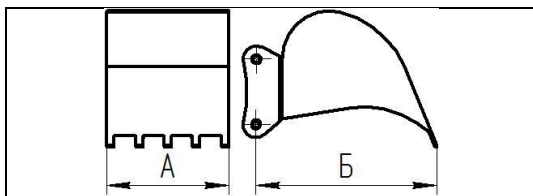
$$l_{им} = \frac{l_{ін}}{k_l}, \quad (3.2)$$

де k_l – масштабний коефіцієнт.

Для всебічних осцилографічних досліджень процесу взаємодії з модельованим ґрунтовим середовищем моделі ТРО ОГЕ було виготовлено параметричний ряд моделей ковшів в масштабі $k_l = 10$. Параметричний ряд складається з п'яти моделей ковшів, параметри яких наведені в таблиці 3.6.

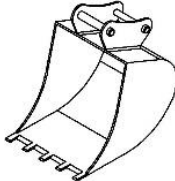
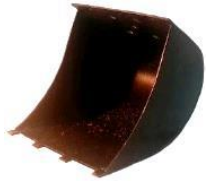
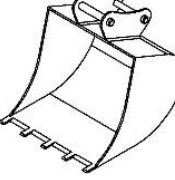

Таблиця 3.6

Параметри ковшів



№	А Ширина ковша, м	Б Радіус ковша, м	Місткість ковша, дм ³	Маса ковша, кг	Досліджувані моделі ковшів	
					3-D схема	Фото
1	2	3	4	5	6	7
1	0.060	0.150	0.44	0.530		
2	0.080	0.150	0.65	0.600		
3	0.100	0.150	0.86	0.690		

продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7
4	0.120	0.150	1.08	0.780		
5	0.140	0.150	1.3	0.850		

Моделі ковшів та ТРО ОГЕ, що використовувались для проведення багатofакторних експериментів представлено на рисунках 3.9, 3.10, 3.11.

Налагодження фізичної моделі ТРО полягає у встановленні відповідної довжин телескопічної частини стріли $L_{Т.ЧС}$ та телескопічної рукояті $L_{Т.Р}$, встановлення ковша з відповідною шириною ріжучої кромки b_K , перевірки роботи вимірювальної апаратури.

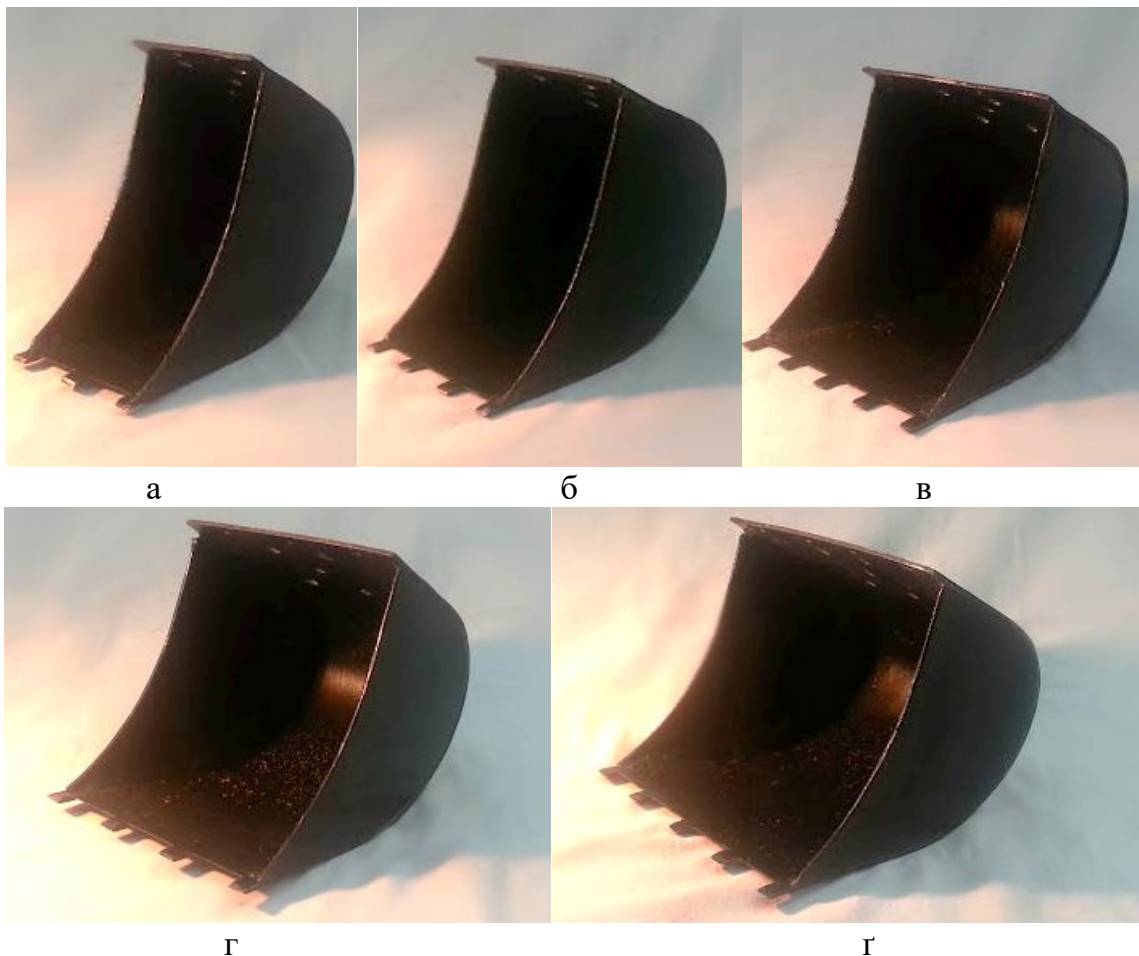


Рис. 3.9. Фото моделей ковшів: а – $q_1=0.44 \text{ м}^3$; б – $q_2=0.65 \text{ м}^3$; в – $q_3=0.86 \text{ м}^3$; г – $q_4=1.08 \text{ м}^3$; г – $q_5=1.3 \text{ м}^3$

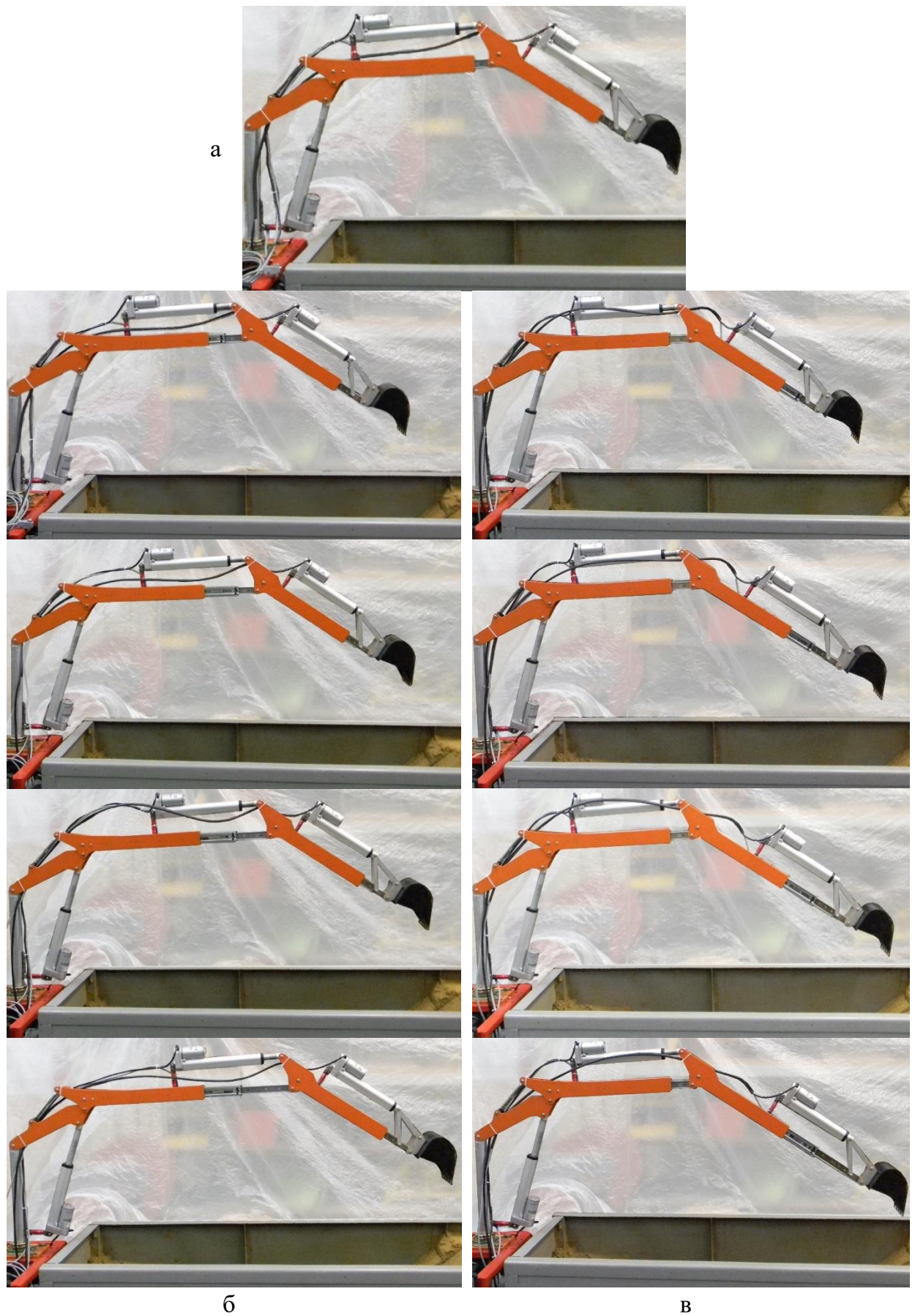


Рис. 3.10. Модель ТРО ОГЕ: а – при втягнутих ТС стріли і рукояті; б, – при виштовхнутих ТС стріли; в – при виштовхнутих ТС рукояті

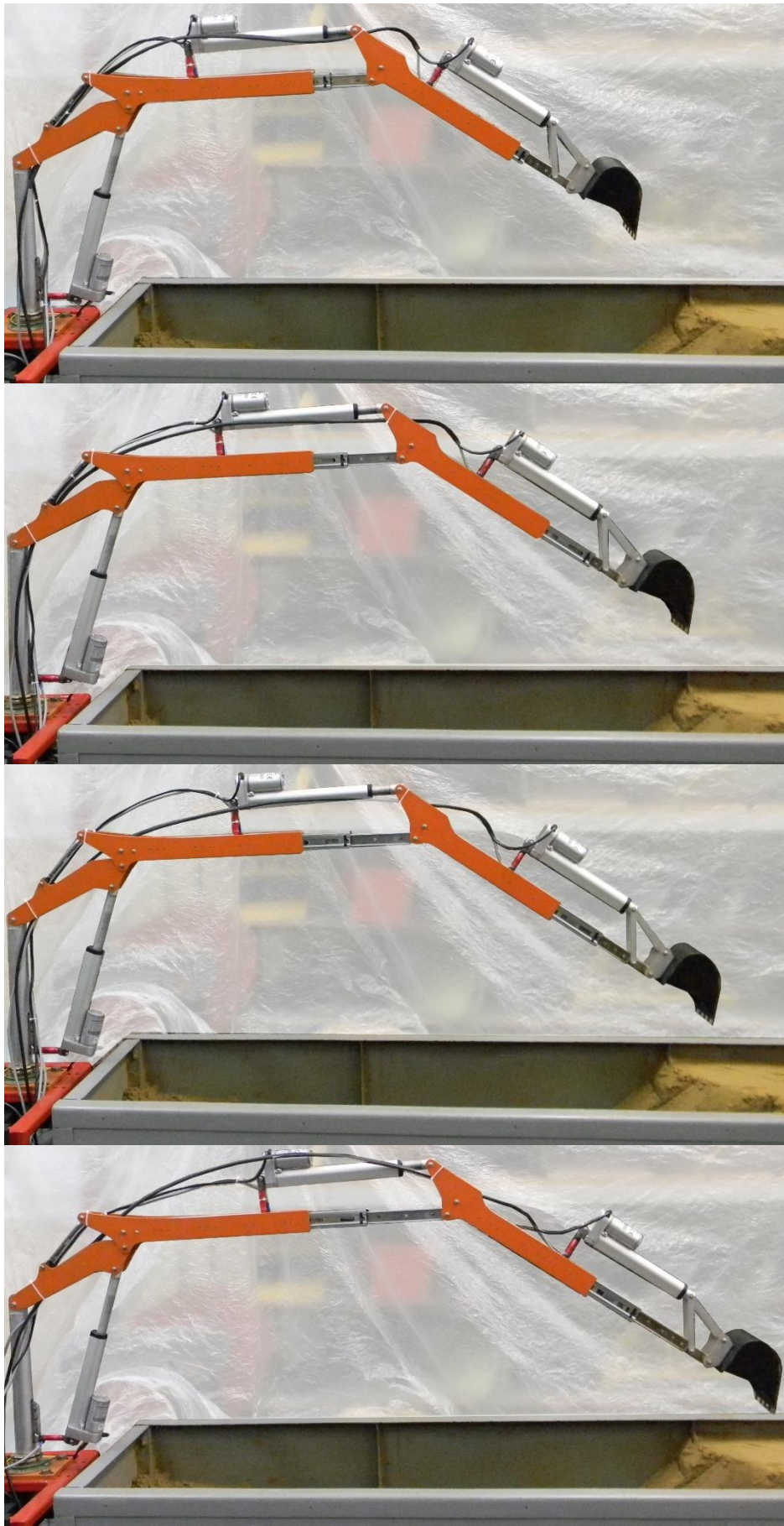


Рис. 3.11. Модель ТРО ОГЕ при різних варіаціях виштовхування ТС стріли та рукояті

Перед проведенням кожної серії дослідів виконувалось тарування вимірювальної апаратури для запису активного зусилля на лінійному приводі $F_{\text{ЛП.ТР}}$ телескопічної рукояті та дотичної складової опору копання ґрунту P_{01} , що полягає у визначенні прибором «ТензоМ-8» відповідності величини відхилення від нульового положення в залежності від заданої величини діючого на ТРО в заданому напрямі тарувального зусилля.

Для тарування дотичної складової опору копання ґрунту (рис. 3.11, 3.12) використовувались спеціальний кронштейн з колесом 1, який закріплено на ґрунтовому контейнері, гнучкий металевий тросик 2, гакова підвіска 3 та тарувальні вантажі 4. Верхня ТС стріли моделі встановлюється в горизонтальне положення а телескопічна рукоять моделі – у вертикальне положення (рис. 3.12, а-в), гакова підвіска 3 закріплюється за зубці ковша моделі, а гнучкий металевий тросик 2 пропускається через відповідний отвір торцевої стінки ґрунтового контейнера та через колесо 1, на іншому кінці канату закріплюються тарувальні вантажі 4, при цьому дотримується горизонтальність гнучкого канату (рис. 3.12, г).

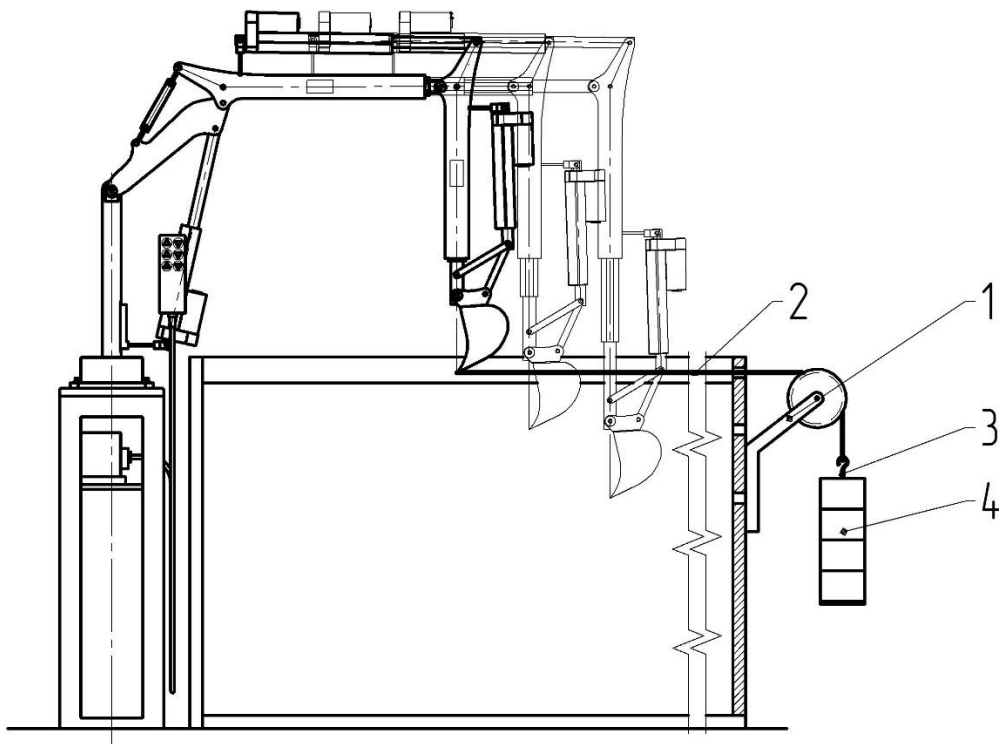


Рис. 3.11. Конструктивна схема тарування вимірювальної апаратури для запису дотичної складової опору ґрунту копання та активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті

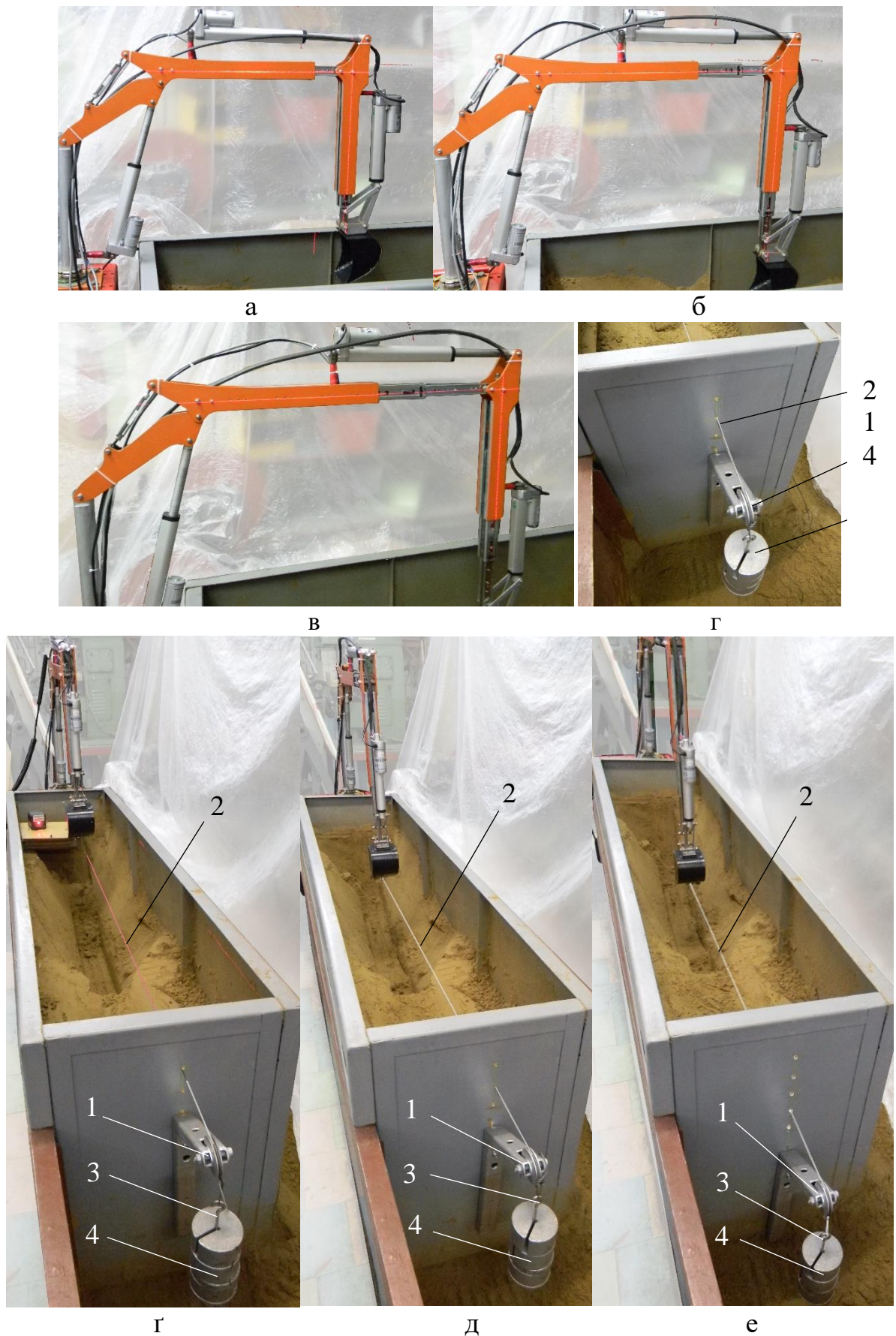


Рис. 3.12. Тарування моделі ТРО ОГЕ: а, б, в – налаштування вертикальності і горизонтальності телескопічних стріли та рукояті на різних вильотах; г – тарувальні грузи; г, д, е – тарування на різних вильотах ТС стріли та рукояті

Схема тарування розроблена відповідно до [92].

Тарування вимірювальної апаратури (рис. 3.12) здійснювалась наступним чином: 1 – при розвантаженій гаковій підвісці виконувалось балансування напівмостів тензометрів; 2 – записувалось нульове положення програмою на ПК; 3 – під'єднувався до зубів ковша моделі ТРО тарувальний металевий тросик та послідовно навантажувалась гакова підвіска каліброваними гирями заданої ваги (6 шт.); 4 – після установки останньої тарувальні гирі послідовно розвантажувалась гакова підвіска. При кожному навантаженні/розвантаженні змінювались значення, які фіксувались прибором «ТензоМ-8».

В результаті виконаних дій отримуємо тарувальну осцилограму, загальний вигляд якої показано на рисунку 3.13, в. Використовуючи тарувальну осцилограму, визначаємо відповідність величини відхилення значень l_i від нульового положення в залежності від навантаження відповідного тензометра G_i .

Для розшифрування робочих осцилограм визначаємо тарувальний коефіцієнт K_T .

Тарувальний коефіцієнт визначаємо по залежності:

$$K_T = \frac{G_1}{l_1} = \frac{(G_1+G_2)}{l_2} = \frac{(G_1+G_2+G_3)}{l_3} = \frac{(G_1+G_2+G_3+G_4)}{l_4} = \frac{(G_1+G_2+G_3+G_4+G_5)}{l_5} = \frac{(G_1+G_2+G_3+G_4+G_5+G_6)}{l_6}. \quad (3.2)$$

У випадку розходження результатів обчислень K_T визначаємо його середнє значення по формулі:

$$K_T = \frac{1}{6} \cdot \left[\frac{G_1}{l_1} + \frac{(G_1+G_2)}{l_2} + \frac{(G_1+G_2+G_3)}{l_3} + \frac{(G_1+G_2+G_3+G_4)}{l_4} + \frac{(G_1+G_2+G_3+G_4+G_5)}{l_5} + \frac{(G_1+G_2+G_3+G_4+G_5+G_6)}{l_6} \right]. \quad (3.3)$$

Для визначення дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} моделлю ТРО ОГЕ, дії якої записана на осцилограмі, використовують наступну залежність:

$$P_{01} = K_T l_i, \quad (3.4)$$

де l_i – відхилення показників від нульового положення під час навантаження.

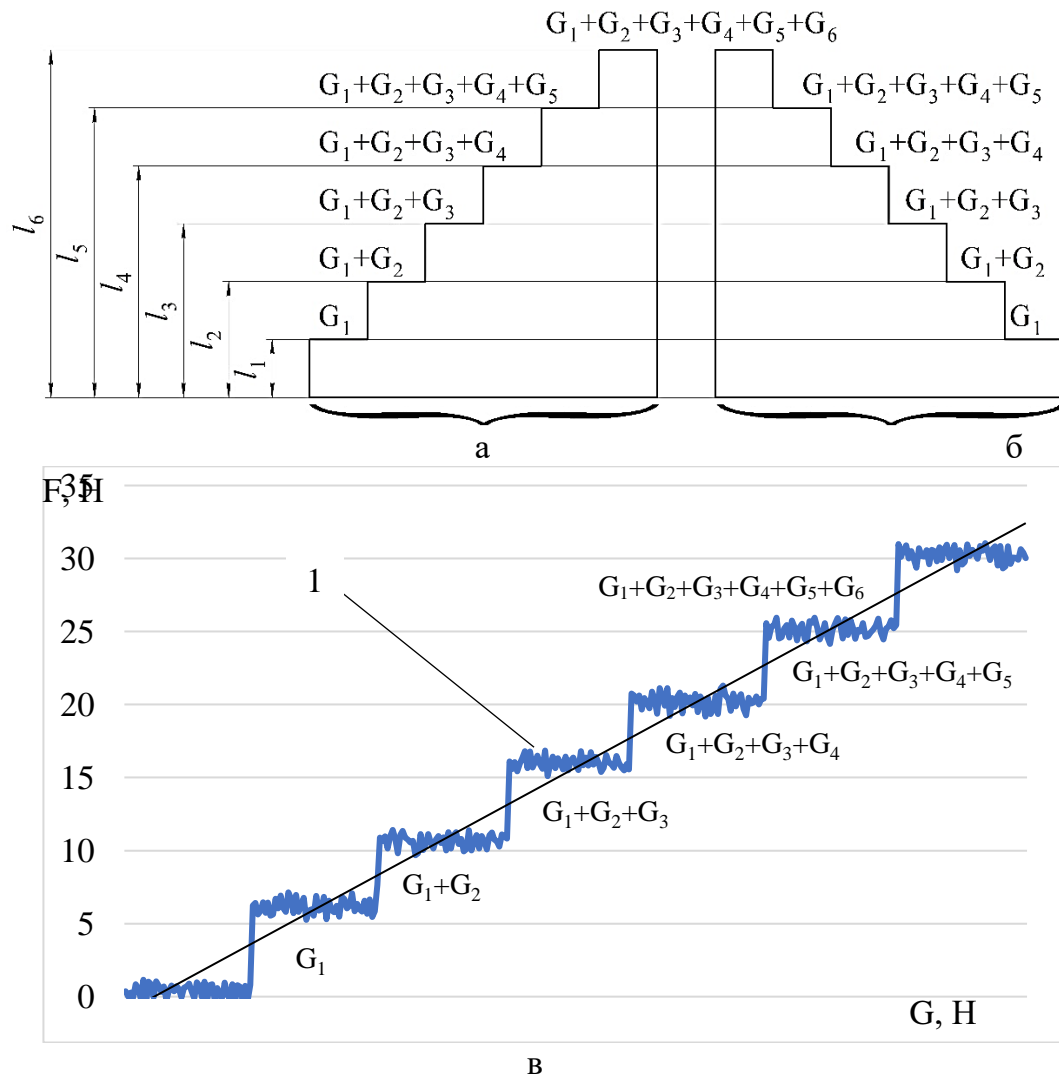


Рис.3.13. Схема тарувальних графіка та осцилограми: а – процес навантаження; б – процес розвантаження; в – результати отриманих значень; 1 – відрізок, який вказує на лінійність роботи тензометрів; $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$ – маса каліброваних гирь; $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ – відхилення показників від нульового положення під час навантаження

Підготовка модельованого середовища в ґрунтовому контейнері стенда включає ретельне розпушування штиковою лопатою, пошарове ущільнення ручною трамбівкою до заданого числа ударів $S_{уд}$ моделі динамічного щільноміра ДорНДІ. Потім формується забій відповідної форми. Після закінчення операцій по підготовці забою проводилось піонерне копання. Товщина стружки регулювалась за допомогою розмірних пластин та лазерного рівня, який встановлювався на них.

При експериментальному дослідженні процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим ґрунтовим середовищем, враховувались особливості геометричної форми забою, для кожного експерименту підготовлювався

відповідний забій для вирізання стружки потрібної товщини. Окреслення поперечного перерізу елемента забою формується кінцевими робочими траєкторіями ковша, які, в свою чергу, визначаються геометричними параметрами телескопічної стріли і телескопічної рукояті.

Дослідження процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим середовищем проводилось при копанні ґрунту поворотом телескопічної рукояті моделі ТРО, при цьому ківш знаходився в своєму крайньому початковому положенні.

Для проведення багатофакторних експериментів по дослідженню процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим середовищем був вибраний рототабельний центральний композиційний план [93, 94, 95, 96, 97, 98]. В якості поверхонь відгуку прийняті: дотична складова опору копання ґрунту P_{01} , активне зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.ТР}}$, та маса виритого ґрунту в ківші $m_{\text{ГР}}$.

По кривим $P_{01} = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$ та $F_{\text{ЛП.ТР}} = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$, отриманих на осцилограмах визначається максимальне значення, яке відповідає повному заповненню ковша ґрунтом у момент відриву ковша із забою. Після цього ґрунт зважувався на терезах і визначалось середнє значення маси ґрунту $m_{\text{С.ГР}_i}$ у відповідності із кількістю повторів

$$m_{\text{С.ГР}_i} = \frac{\sum_1^n m_{\text{ГР}_i}}{n}, \text{ кг}, \quad (3.5)$$

де $m_{\text{ГР}_i}$ – маса ґрунту i -го експерименту, n – кількість повторів.

При дослідженні процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим ґрунтовим середовищем був використаний 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 - $n_{\text{я}}$; восьми «зіркових» точок та семи точок в центрі плану (табл. 3.7). Ядро плану складалось 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 моделі ТРО ОГЕ з модельованим ґрунтовим середовищем.

У таблиці 3.7 подана матриця планування чотирифакторного рототабельного центрального композиційного плану для 4-х факторів.

Таблиця 3.7

Матриця планування чотирифакторного рототабельного центрального композиційного плану експерименту

Номер досліджу	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
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

На ефективність процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим ґрунтовим середовищем встановлюється вплив наступних факторів (при постійному значенні числа ударів ударника $C_{удМ} = 12$ уд.):

X_1 – довжина телескопічної частини стріли $L_{Т.ЧС}$, м;

X_2 – довжина телескопічної рукояті $L_{Т.Р}$, м;

X_3 – ширина ріжучої кромки ковша b_K , м;

X_4 – товщина стружки $h_{СТР}$, м.

Фактори та рівні їхньої варіації приведені в таблиці 3.8 при масштабі моделювання $k_l = 10$.

Таблиця 3.8

Рівні варіювання факторів

Фактори	Код. знач.	Рівні варіації					Інтервал варіювання
		-2	-1	0	+1	+2	
$L_{Т.ЧС}$ – довжина телескопічної частини стріли, м	X_1	0.432	0.504	0.576	0.648	0.720	0.072
$L_{Т.Р}$ – довжина телескопічної рукояті, м	X_2	0.360	0.420	0.480	0.540	0.600	0.06
b_K – ширина ріжучої кромки ковша, м	X_3	0.060	0.080	0.100	0.120	0.140	0.02
$h_{СТР}$ – товщина стружки, м	X_4	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.005

На рисунку 3.14 представлені осцилограми дотичної складової опору копання ґрунту P_{01} та активного зусилля на лінійному приводі рукояті $F_{ЛП.Р}$ при копанні ґрунту поворотом рукояті.

Необхідна кількість повторів дослідів визначалась згідно методики [98]. Для цього були поведені серії із 20 дослідів процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим ґрунтовим середовищем. При цьому параметри, що варіюються, довжина телескопічної частини стріли $L_{Т.ЧС}$, довжина телескопічної рукояті $L_{Т.Р}$, ширина ріжучої кромки ковша b_K , товщина стружки $h_{СТР}$ відповідали нульовим рівням факторів в плані проведення експерименту.

Для кожного P_{01} визначалось середнє значення, середньоквадратичне відхилення, стандарт та коефіцієнт варіації за формулами:

$$\overline{P_{01}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{01i}}{n}; \quad (3.6)$$

$$\sigma_{P_{01}} = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{P_{01i}}^2}{n-1}}; \quad (3.7)$$

$$k_{\text{ВАР}} = \frac{\sigma_{P_{01}} \cdot 100\%}{\overline{P_{01}}}, \quad (3.8)$$

де P_{01i} – окреме значення дослід, що повторювалось; n – кількість дослідів, що повторювались; $\sum \sigma_{P_{01i}}^2$ – дисперсія окремих дослідів.

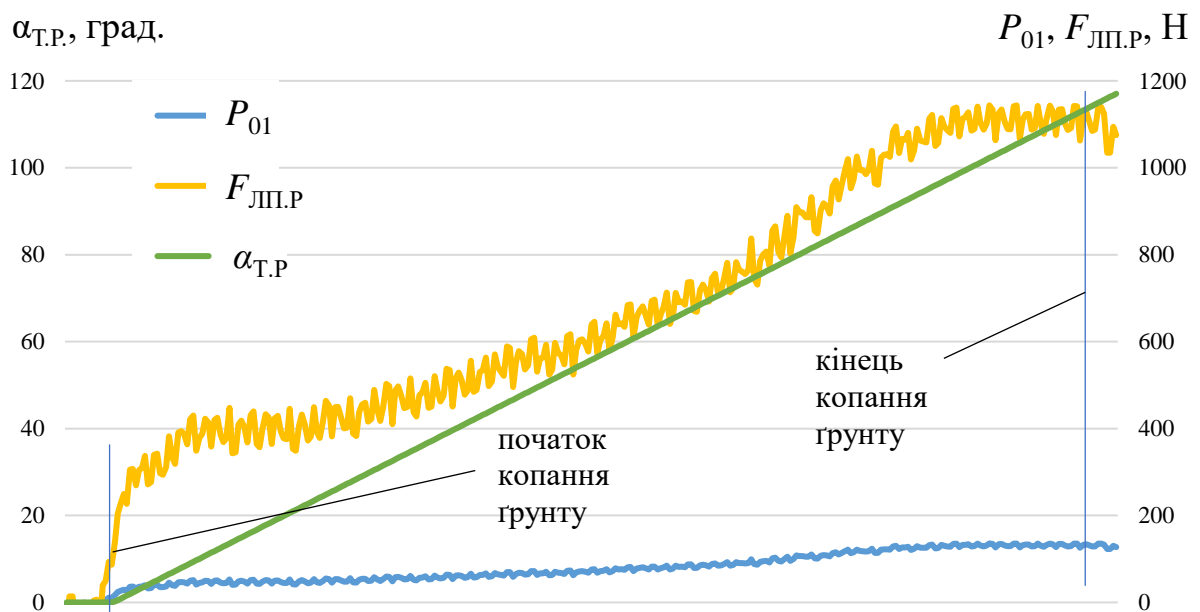


Рис. 3.14. Осцилограма копання ґрунту моделлю ТРО ОГЕ

При виконанні експериментальних досліджень процесу взаємодії моделі ТРО ОГЕ з модельованим ґрунтовим середовищем із надійністю даних не менше 0.95, необхідно виконувати 4 паралельних дослідів для кожного експерименту.

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

$$\widehat{y}_u = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii}^2 \cdot x_i^2, \quad (3.9)$$

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.

Рівняння регресії (3.9) для чотирьох факторів приймає вигляд:

$$\widehat{y}_u = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{44} \cdot x_4^2. \quad (3.10)$$

Для визначення коефіцієнтів регресії застосовують наступні формули:

$$b_0 = a_1 \sum_1^N y_u - a_2 \sum_1^k \sum_1^N x_{iu}^2 \cdot y_u; \quad (3.11)$$

$$b_i = a_3 \sum_1^N x_{iu} \cdot y_u; \quad (3.12)$$

$$b_{ij} = a_4 \sum_1^{n_j} x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u; \quad (3.13)$$

$$b_{ii} = a_5 \sum_1^N x_{iu}^2 \cdot y_u + a_6 \sum_1^k \sum_1^N x_{iu}^2 \cdot y_u - a_7 \sum_1^N y_u, \quad (3.14)$$

де $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ – коефіцієнти, значення яких залежить від кількості факторів (k) та вибираються із таблиці 3.22 [95]; $\sum_1^N y_u$ – сума значень виходів для всіх N варіантів матриці планування; $\sum_1^N x_{iu} \cdot y_u$ – сума добутків виходу кожного варіанту на рівні i -го фактору в цьому варіанті для всіх N варіантів плану; $\sum_1^k \sum_1^N x_{iu}^2 \cdot y_u$ – сума добутків квадрату рівнів кожного фактору в u -му варіанті на вихід y_u в цьому варіанті для всіх k факторів; $\sum_1^{n_j} x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u$ – сума добутків виходів кожного варіанту на рівень i -го та j -го факторів в цьому варіанті для всіх n_j варіантів; $\sum_1^N x_{iu}^2 \cdot y_u$ – сума добутків квадрату рівня кожного фактору в u -му варіанті матриці планування на вихід y_u в цьому варіанті для всіх N варіантів.

Після перетворення формули (3.11 – 3.14) приймають наступний вигляд

$$b_0 = 0,1428 \sum_1^{31} y_u - 0,0357 \sum_1^4 \sum_1^{31} x_{iu}^2 \cdot y_u; \quad (3.15)$$

$$b_i = 0,0417 \sum_1^{31} x_{iu} \cdot y_u; \quad (3.16)$$

$$b_{ij} = 0,0625 \sum_1^{16} x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u; \quad (3.17)$$

$$b_{ii} = 0,0312 \sum_1^{31} x_{iu}^2 \cdot y_u + 0,0037 \sum_1^4 \sum_1^{31} x_{iu}^2 \cdot y_u - 0,0357 \sum_1^{31} y_u. \quad (3.18)$$

Перевірка відтворюваності експерименту проводилась за критерієм Кохрена (G) із рівнем значущості $\alpha=0,05$ по семи точкам в центрі плану [95]:

$$G_{\text{роз.}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_i^N S_i^2}, \quad (3.19)$$

де S_{max}^2 – максимальна дисперсія; $\sum_i^N S_i^2$ – сума дисперсій у центрі плану:

$$S_i^2 = \frac{\sum_i^n (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{n - 1}, \quad (3.20)$$

де y_{iu} – значення критерію оптимізації для окремого досліджу; \bar{y}_u – середнє значення критерію; n – число повторень досліджу.

Необхідно виконати умови: $G_{\text{роз.}} < G_{\text{табл.}}$.

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії здійснювалась за критерієм Стюдента із рівнем значущості $\alpha=0,05$.

Дисперсія всього експерименту визначалась:

$$S_{\{\bar{y}\}} = \frac{\sum_i^N \sum_i^n (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{n - 1}, \quad (3.21)$$

Погрішність у визначенні коефіцієнтів регресії [95] у випадку планування другого порядку:

$$\Delta b_0 = \pm 2S_{\{b_0\}}; \Delta b_i = \pm 2S_{\{b_i\}}; \Delta b_{ii} = \pm 2S_{\{b_{ii}\}}; \Delta b_{ij} = \pm 2S_{\{b_{ij}\}}, \quad (3.22)$$

де $S_{\{b_0\}}$, $S_{\{b_i\}}$, $S_{\{b_{ii}\}}$, $S_{\{b_{ij}\}}$ – відповідно квадратичні помилки у визначенні коефіцієнтів b_0 , b_i , b_{ii} , b_{ij} .

При рототабельному плануванні другого порядку квадратні помилки рівні:

$$S_{\{b_0\}} = \sqrt{a_8 \cdot S_{\{\bar{y}\}}^2}; S_{\{b_i\}} = \sqrt{a_9 \cdot S_{\{\bar{y}\}}^2}; S_{\{b_{ii}\}} = \sqrt{a_{10} \cdot S_{\{\bar{y}\}}^2};$$

$$S_{\{b_{ij}\}} = \sqrt{a_{11} \cdot S_{\{\bar{y}\}}^2}, \quad (3.23)$$

де $S_{\{\bar{y}\}}^2$ – помилка середнього (\bar{y}) за паралельним спостереженням (повторенням).

Довірчий інтервал визначався:

$$\beta_0 = b_0 \pm \Delta b_0; \beta_i = b_i \pm \Delta b_i; \beta_{ii} = b_{ii} \pm \Delta b_{ii}; \beta_{ij} = b_{ij} \pm \Delta b_{ij}, \quad (3.24)$$

де $\Delta b_i = \pm 2S_{\{b_i\}}$ – коефіцієнти регресії.

При цьому необхідно щоб коефіцієнти регресії за абсолютною величиною були більші довірчих інтервалів:

$$b_i - 2S_{\{b_i\}} \leq \beta_i \leq b_i + 2S_{\{b_i\}}. \quad (3.25)$$

Гіпотезу про адекватність (придатність) моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера [95]:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad (3.26)$$

де $S_{\text{ад}}^2$ – залишкова дисперсія або дисперсія адекватності; $S_{\{y\}}^2$ – дисперсія відтворення.

При числі дослідів плану, що мають однакове число повторень (досліди дублюються тільки у нульовій точці) залишкова дисперсія та дисперсія відтворення обчислювались [95]

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{S_R - S_E}{f_{\text{ад}}} = \frac{\sum_1^N (y_{uj} - \hat{y}_u)^2 - \sum_1^{n_0} (y_{0j} - \bar{y}_0)^2}{N - \lambda - (n_0 - 1)}, \quad (3.27)$$

де S_R – залишкова сума квадратів; S_E – сума квадратів відхилень, що пов'язана з дисперсією відтворення; y_{uj} – результати окремих дослідів; \hat{y}_u – розрахункові значення критерію за рівнянням регресії; N – загальна кількість дослідів плану, враховуючи і паралельні досліди у нульовій точці; λ – число коефіцієнтів рівняння; n_0 – число дослідів у центрі плану, що повторюються.

$$S_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_1^{n_0} (y_{0i} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1}, \quad (3.25)$$

де y_{0i} – результат окремого дослідів у нульовій точці; \bar{y}_0 – результат дослідів у нульовій точці (середнє арифметичне); n_0 – число дослідів у нульовій точці.

При виконанні умови $F_{\text{роз.}} < F_{\text{табл.}}$ модель є адекватною з довірчою ймовірністю 0,95.

Висновки по розділу 3

1. На базі критеріїв подібності розроблено та побудовано спеціальний стенд для фізичного моделювання робочих процесів ТРО ОГЕ, виготовлено фізичну модель ТРО ОГЕ та фізичні моделі ковшів екскаватора.

2. Експериментальне дослідження проводилось на основі методики багатофакторного експерименту з довірчою ймовірністю 0,95 при виконанні технологічних операцій ТРО ОГЕ.

3. З метою об'єктивного відображення процесу копання ґрунту моделлю ТРО ОГЕ при експериментальних дослідженнях та подальшого аналізу отриманих даних розроблена методика проведення експериментів, визначені фактори, які впливають на фізичну суть робочого процесу: довжина телескопічної частини стріли $L_{\text{т.чс}}$, довжина телескопічної рукояті $L_{\text{т.р}}$, ширина ріжучої кромки ковша $b_{\text{к}}$ та товщина зрізаної стружки $h_{\text{стр.}}$

4. Одержані закономірності на базі результатів експериментальних досліджень регресивні моделі дозволяють визначити раціональні параметри ТРО ОГЕ при варіюванні параметрів впливових факторів.

Результати експериментальних досліджень опубліковані автором у наукових виданнях та представлені у загальному списку літератури [87, 88, 89, 90, 91].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТРО ОГЕ4.1. Результати теоретичних досліджень по оцінці ефективності ТРО
ОГЕ та їх аналіз

Перевірочні розрахунки по математичним моделям, наведених розділі 2, проводились для універсального ОГЕ, IV розмірної групи, оснащеного трисекційними телескопічними механізмами стріли і рукояті. В якості машини-прототипу було взято ОГЕ фірми *Hitachi – ZX 290LC*, при цьому ТРО поєднує в собі параметри ОГЕ оснащеного як традиційним РО, так і РО зі збільшеними геометричними параметрами, технічні характеристики наведені в таблиці 4.1 [91, 99, 100].

Таблиця 4.1

Технічні характеристики ОГЕ з ТРО

Параметр	Роз- мірн.	Умов. познач.	Значення	Примітки
1	2	3	4	5
Модель	-	-	<i>Hitachi ZX 290LC</i>	
Маса	т	<i>G</i>	29.4	
Двигун: модель;	-	-	<i>Isuzu AL- 4HK1X</i>	
потужність	кВт	<i>N</i>	140	
Тиск у гідравлічній системі: нормальний; максимальний	МПа МПа	P_H P_{max}	34.3 38.0	
Діаметр штока гідроциліндрів: телескопічної стріли; телескопічної рукояті; ковша	мм мм мм	$D_{ГЦ,Т,С}$ $D_{ГЦ,Т,Р}$ $D_{ГЦ,К}$	100 110 65	2 шт.
Швидкість пересування	м/с	v	1.444	
Радіус повороту телескопічної стріли разом з телескопічною рукоюттю та ківшом	м м	$R_{Т,С+Т,Р+Кmin}$ $R_{Т,С+Т,Р+Кmax}$	9.69(12.8) 18.2(19.2)	

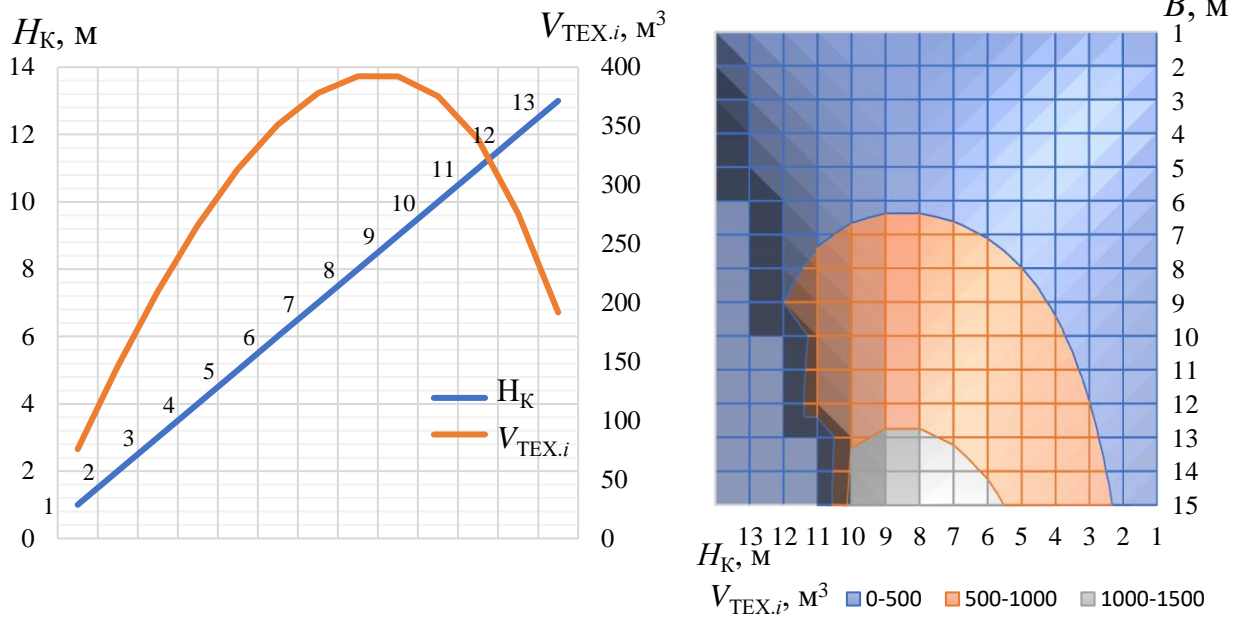
продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
Глибини копання: - при втягнутих ТС стріли та рукояті; - при втягнутій ТС стріли та виштовхнутій ТС рукояті; - при виштовхнутій ТС стріли та втягнутій ТС рукояті; - при виштовхнутих ТС стріли та рукояті	м	$H_{K.TP.C+TP.P}$	6.94(7.2)	моноблочна (шарнірно- зчленована) конструкція стріли
	м	$H_{K.TP.C+T.P}$	10.2(11.3)	
	м	$H_{K.T.C+TP.P}$	10.7(11.3)	
	м	$H_{K.T.C+T.P}$	13.7(14.8)	
Місткість ковшів	м ³	q_1	0.4	при $6\text{м} < H_K \leq 13.2\text{м}$
	м ³	q_2	0.45	
	м ³	q_3	0.5	
	м ³	q_4	0.55	
	м ³	q_5	0.6	
	м ³	q_6	0.65	
	м ³	q_7	0.7	
	м ³	q_8	0.75	
	м ³	q_9	0.8	при $0 < H_K \leq 6\text{м}$
	м ³	q_{10}	0.9	
	м ³	q_{11}	1.0	
	м ³	q_{12}	1.1	
	м ³	q_{13}	1.2	
	м ³	q_{14}	1.3	
	м ³	q_{15}	1.4	

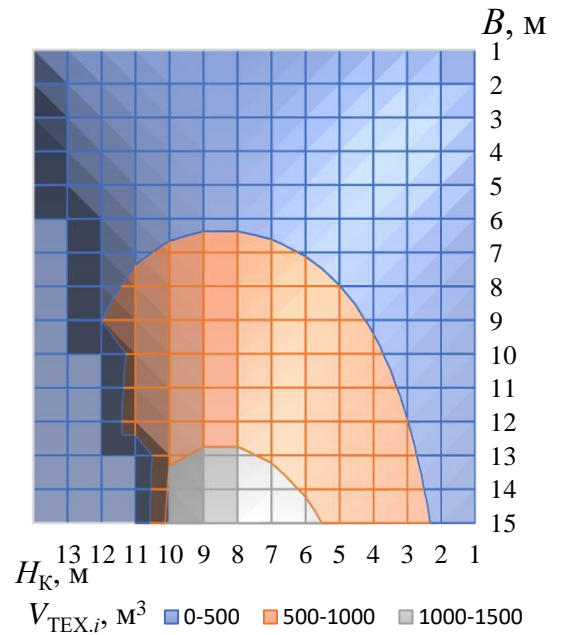
В якості ґрунтової споруди прийнято траншею, відвантаження ґрунту відбувається у відвал, копання відбувається торцевою проходкою з переміщенням по прямій. Технологічні параметри ґрунтової споруди: кут відкосу забою – $\alpha_{заб} = 70^\circ$; ширина проходки – $B = 0.8 \cdot R = 15$ (м), для даного типу ґрунтової споруди такі як визначались з урахуванням, відповідно до рекомендацій приведених у [65]; довжина траншеї – $L_{КОП} = 500$ м. При цьому, для визначення оптимального режиму розглядаються різні глибини копання – $[H_{K.min}, H_{K.max}] = \{1\text{м} \leq H_K \leq 13.2\text{м}\}$.

На рисунку 4.1 зображені графіки залежності об'єму ґрунту $V_{ТЕХ.i}$ в періоді одного переміщення ОГЕ від глибини копання H_K . Копання відбувається при виштовхнутих ТС стріли та рукояті з ківшом, місткістю 0.75м^3 . Графіки

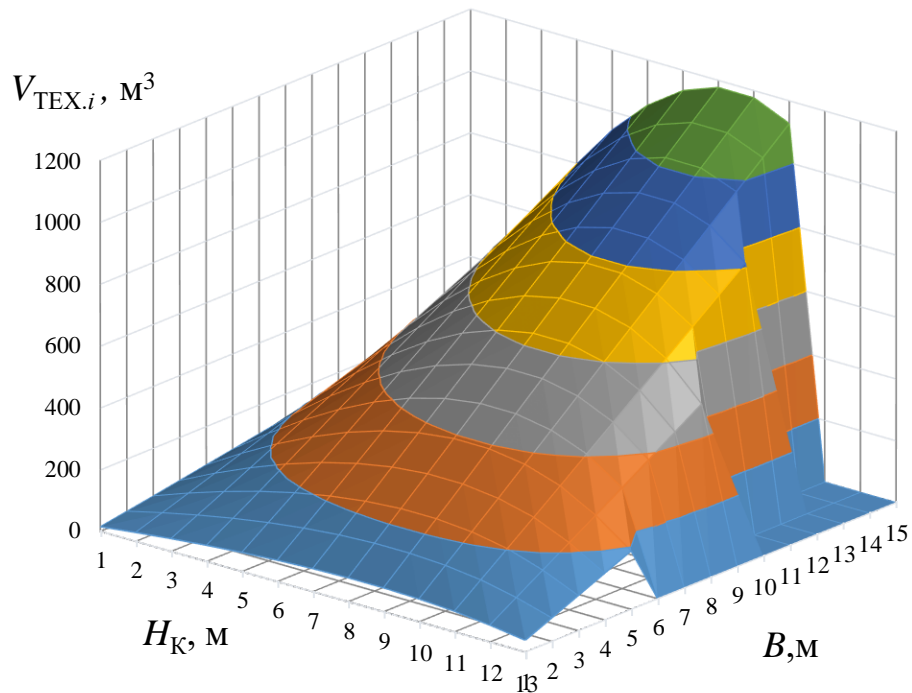
показують параболічний характер зростання об'єму розроблюваного ґрунту при лінійному збільшенні глибини копання. При цьому максимальне значення об'єму розроблюваного ґрунту досягається на глибині $H_K=8.5\text{м}$, що складає 64%...66% від глибини копання. Збільшення ширини проходки B має лінійний характер впливу на зростання об'єму розроблюваного ґрунту. Найбільше



а



б



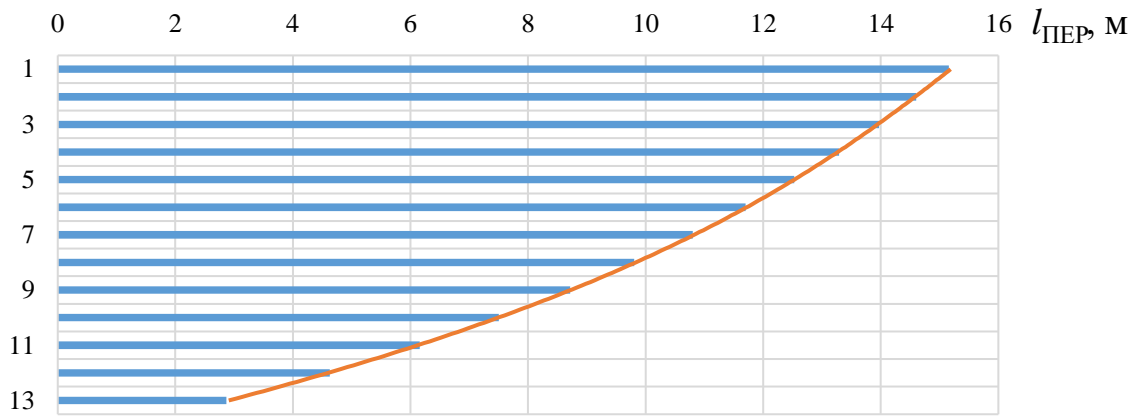
в

Рис. 4.1. Графіки залежності об'єму ґрунту $V_{\text{ТЕХ},i}$ в періоді одного переміщення ОґЕ від глибини копання H_K та ширини проходки B : а – лінійний графік; б – порівняльна схема; в – просторова схема

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

На рисунку 4.2 представлено графік залежності відстані одного переміщення $l_{\text{ПЕР}}$ від глибини копання H_K для максимального значення радіусу копання ТРО $R_{T.C+T.P+K_{\text{max}}}$. При збільшенні глибини копання H_K починає зменшуватись по параболічній відстань переміщення $l_{\text{ПЕР}}$.

На рисунках 4.3 та 4.4 представлені у вигляді просторових поверхонь графіки зміни експлуатаційної продуктивності $П_{e,i}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B (рис. 4.3 а), від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання H_K (рис. 4.3 б) та від глибини копання та H_K ширини проходки B (рис. 4.4) при розробці ґрунту ківшом, місткістю $q_i=0,75 \text{ м}^3$. При дослідженні впливу довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B (рис. 4.3, а) на зміну експлуатаційної продуктивності $П_{e,i}$ глибина копання встановлювалась на рівні $H_K=8.5\text{м}$, що відповідає максимальному значенню об'єму розроблюваного ґрунту (рис. 4.1, а). Збільшення довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ призводить до падіння експлуатаційної продуктивності, яке має лінійний характер, це пояснюється збільшенням кількості періодів часу переміщень ОГЕ. Збільшення ширини проходки B призводить до зростання експлуатаційної продуктивності $П_{e,i}$ по параболічній залежності. Оптимальний діапазон зміни ширини проходки B при використанні ТРО з максимальним вильотом позначено та жовтим кольором на рисунку 4.3, а, та відповідно дорівнює $B_{\text{ОПТ}} = \{4,8\text{м} \leq B \leq 15\text{м}\}$, що пояснюється максимізацією об'єму розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОГЕ. Зміна глибини копання від $[H_{K.\text{min}}, H_{K.\text{max}}] = \{1\text{м} \leq H_K \leq 13.2\text{м}\}$ показує наявність екстремуму на рівні $H_K=8.5\text{м}$, що складає 64%...66% від глибини копання, та наступне падіння продуктивності із зростанням глибини копання (рис. 4.3, б). Максимальні значення продуктивності $П_{e,i}$ пояснюються максимальним об'ємом розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОГЕ, а наступне падіння продуктивності із збільшенням глибини копання пояснюється зменшенням відстані одного переміщення $l_{\text{ПЕР}}$ ОГЕ (рис. 4.2), та



H_K , м

Рис. 4.2. Графік залежності відстані одного переміщення $l_{ПЕР}$ від глибини копання H_K

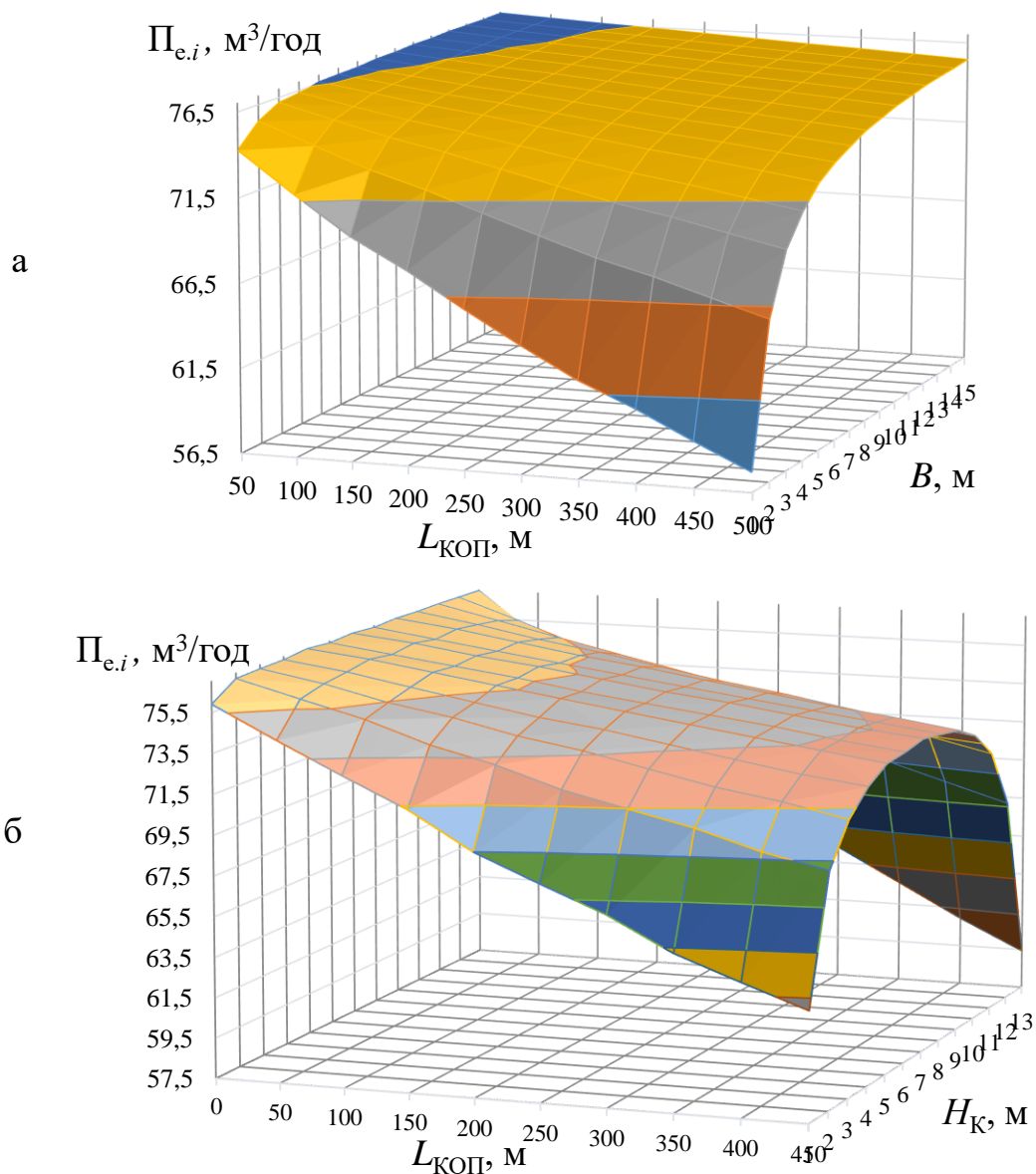


Рис. 4.3. Графіки зміни експлуатаційної продуктивності $\Pi_{e,i}$ в залежності: а — від довжини проходки $L_{КОП}$ та ширини проходки B ; б — від довжини проходки $L_{КОП}$ та глибини копання H_K

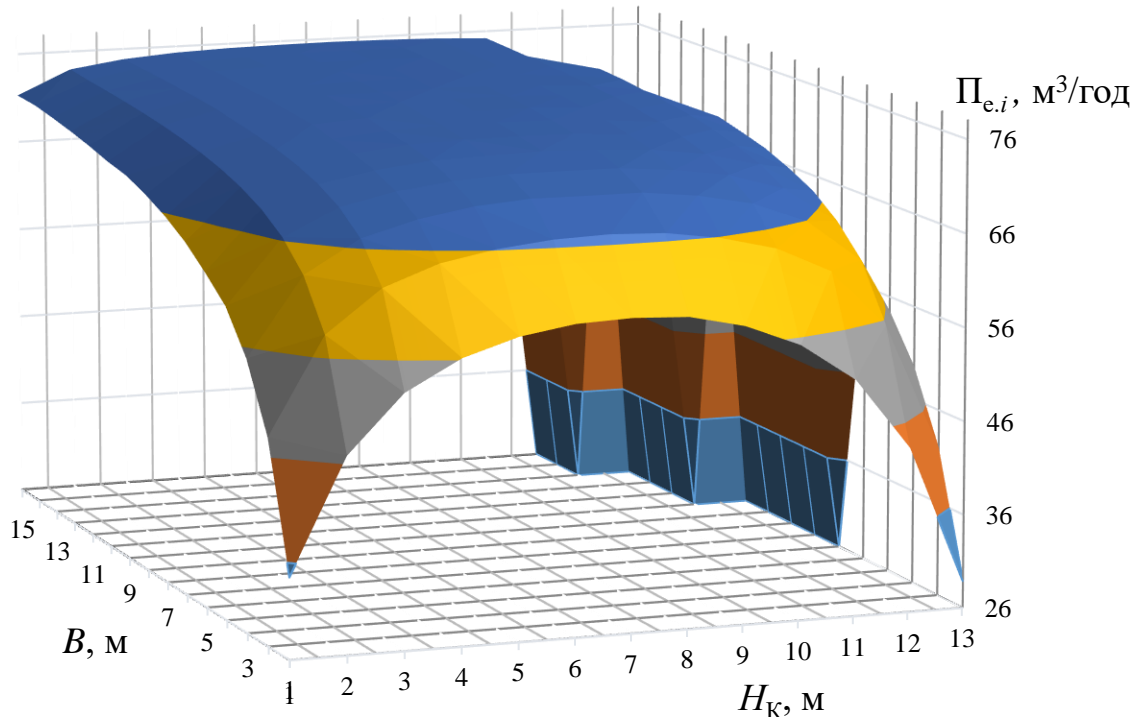


Рис. 4.4. Графік зміни експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ в залежності від глибини копання та H_K ширини проходки B

відповідним збільшенням сумарного часу на переміщення ОГЕ на нове місце стоянки у забої [55, 62, 63, 64].

Просторовий графік зміни експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ в залежності від глибини копання та H_K ширини проходки B , зображений на рисунку 4.4 вказує на існування оптимального діапазону глибин копання $H_{K\text{опт}} = \{5\text{м} \leq H_K \leq 9\text{м}\}$ та ширини проходки $B_{\text{опт}} = \{2,8\text{м} \leq B \leq 15\text{м}\}$ для цього діапазону глибин при забезпеченні максимальної експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ на i -му виді робіт та позначено синім кольором на рисунку 4.4. Характер просторового графіку (рис. 4.4) пояснюється об'ємом розроблюваного ґрунту $V_{\text{тех},i}$ на i -му виді робіт [64, 65, 67].

На рисунку 4.5 представлено порівняльну гістограму зміни експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ в залежності від місткості ковша q_i для максимального $R_{T,C+T,P+K\text{max}}$ та мінімального $R_{T,C+T,P+K\text{min}}$ (геометричні параметри відповідають традиційній конструкції РО ОГЕ) радіусів копання. Аналіз проводився для оптимальної глибини копання (відповідно до рисунку 4.1, а) на рівні 62% максимальної глибини копання H_K , що складає 8 та 4 метри, відповідно. Гістограма (рис 4.5) показує, що максимізація об'єму розробки

грунту в періоді одного переміщення за рахунок збільшення геометричних параметрів ТРО ОГЕ призводить до оптимізації продуктивності по місткості ковша. Так, виконання робіт з максимальним радіусом копання ТРО обладнаного ківшом місткістю $q_5 = 0.6 \text{ м}^3$ на глибині копання $H_K = 8\text{м}$ здатне забезпечити експлуатаційну продуктивність аналогічну при виконанні робіт з мінімальним радіусом копання ТРО обладнаного ківшом місткістю $q_9 = 0.8 \text{ м}^3$ на глибині копання $H_K = 4\text{м}$, при $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, $R_{T.C+T.P+Kmax}$ та $H_K = 8\text{м}$ – аналогічним $q_{13} = 1.2 \text{ м}^3$, $R_{T.C+T.P+Kmin}$ та $H_K = 4\text{м}$.

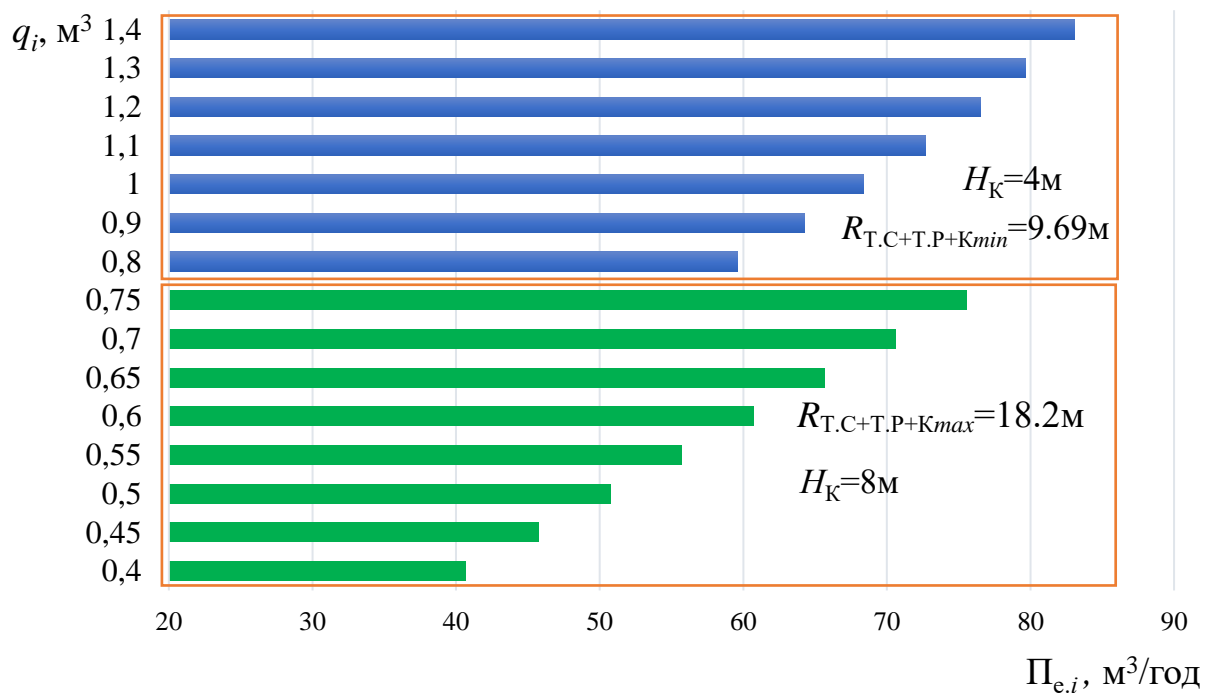


Рис. 4.5. Порівняльна гістограма зміни експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ в залежності від місткості ковша q_i

Аналіз графіків зміни питомої енергоємності $N_{ПТ}$, питомої матеріалоємності $G_{ПТ}$ та узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності $П_{NG}$ (рисунки 4.6 – 4.10), отриманих на основі визначених значень експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ для кожного i -го виду робіт, дозволив виявити оптимальні зони використання ТРО ОГЕ на максимальним радіусом копання (виштовхнутих ТС стріли і рукояті) [99, 100]. Таким чином, відповідно до умов раціоналізації та оптимізації системи показників оцінки

ефективності ТРО ОГЕ (табл. 2.2), визначені оптимальні зони виконання i -го виду робіт з мінімальними значеннями:

- питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B (рис. 4.6, а) – $N_{\text{ПТопт}} = \{1.815 \leq N_{\text{ПТ}} \leq 1.9\}, (\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}})$, при розробці ґрунту на глибину $H_{\text{К}} = 9\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}}$ (рис. 4.6, б) – $N_{\text{ПТопт}} = \{1.817 \leq N_{\text{ПТ}} \leq 1.9\}, (\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}})$, при ширині розробки ґрунту $B = 5\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки B (рис. 4.7) – $N_{\text{ПТопт}} = \{1.851 \leq N_{\text{ПТ}} \leq 2\}, (\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}})$, при максимальній довжині копання $L_{\text{КОП}} = 500\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- питомої матеріалоємності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B (рис. 4.8, а) – $G_{\text{ПТопт}} = \{3.715 \leq G_{\text{ПТ}} \leq 3.8\}, (\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{год}})$, при розробці ґрунту на глибину $H_{\text{К}} = 9\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- питомої матеріалоємності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}}$ (рис. 4.8, б) – $G_{\text{ПТопт}} = \{3.717 \leq G_{\text{ПТ}} \leq 3.8\}, (\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{год}})$, при ширині розробки ґрунту $B = 5\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- питомої матеріалоємності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки B (рис. 4.9) – $G_{\text{ПТопт}} = \{4.832 \leq G_{\text{ПТ}} \leq 4.5\}, (\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{год}})$, при максимальній довжині копання $L_{\text{КОП}} = 500\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

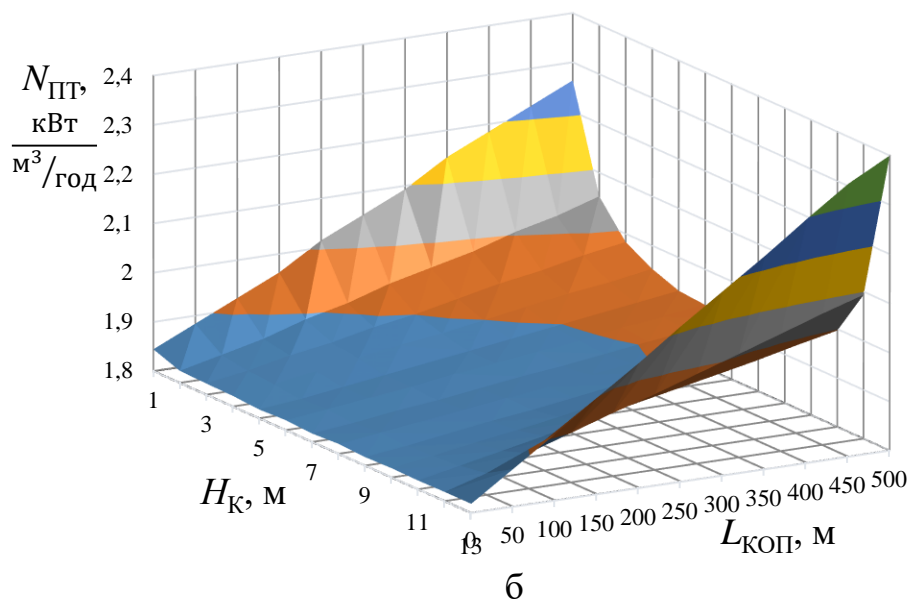
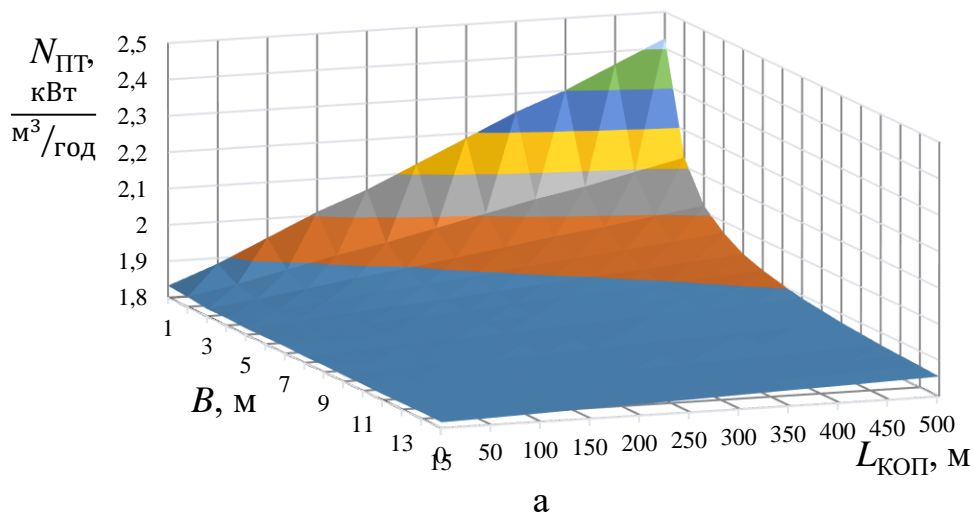


Рис. 4.6. Графік зміни питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності: а – від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B ; б – від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}}$

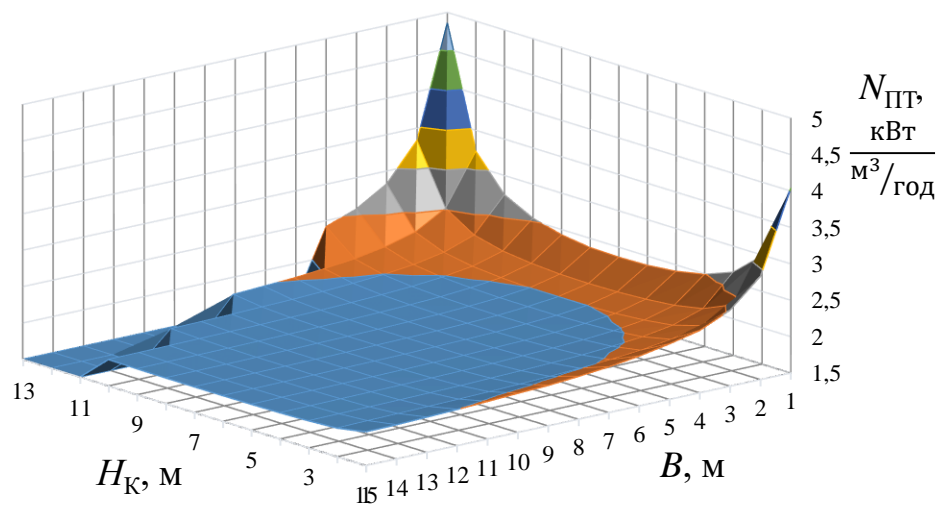


Рис. 4.7. Графік зміни питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки B

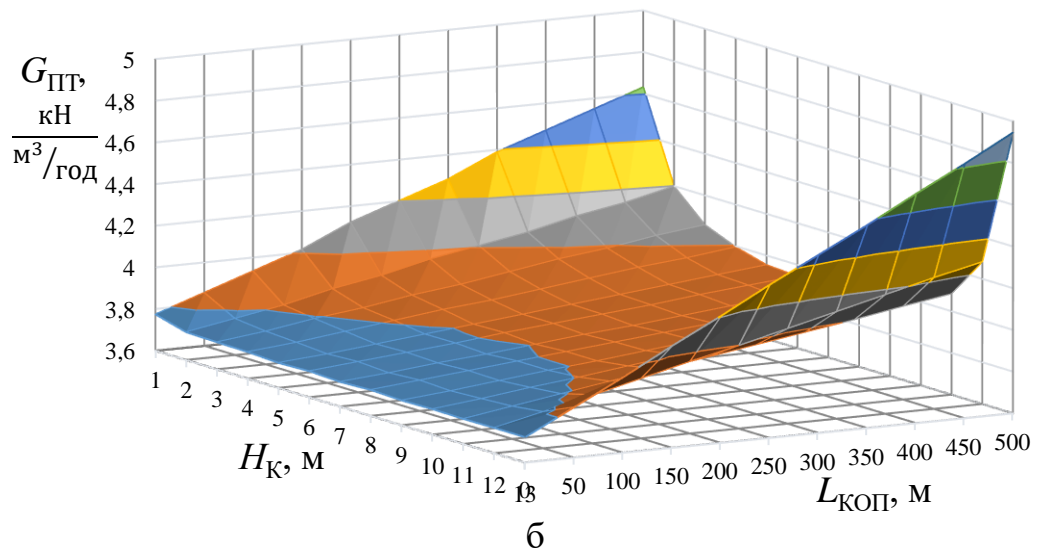
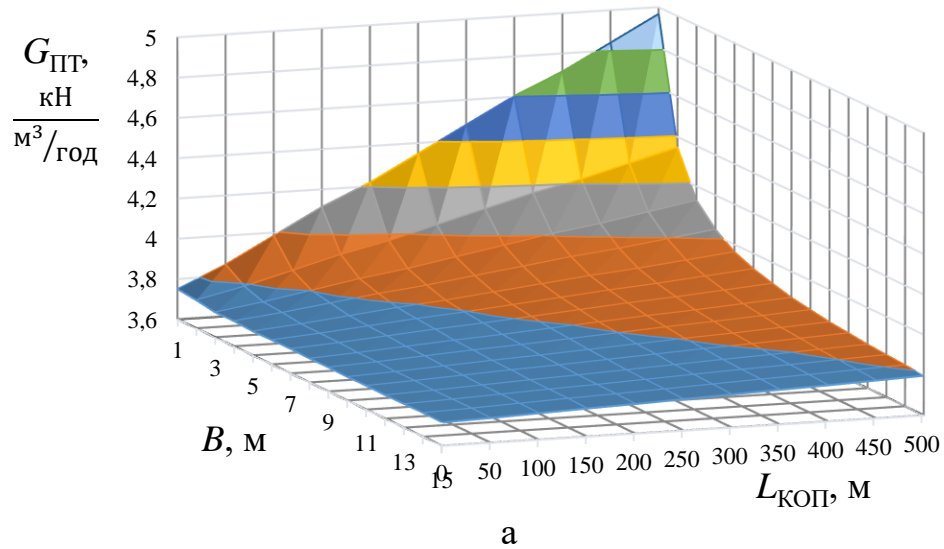


Рис. 4.8. Графік зміни питомої матеріалоемності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності: а – від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B ; б – від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}}$

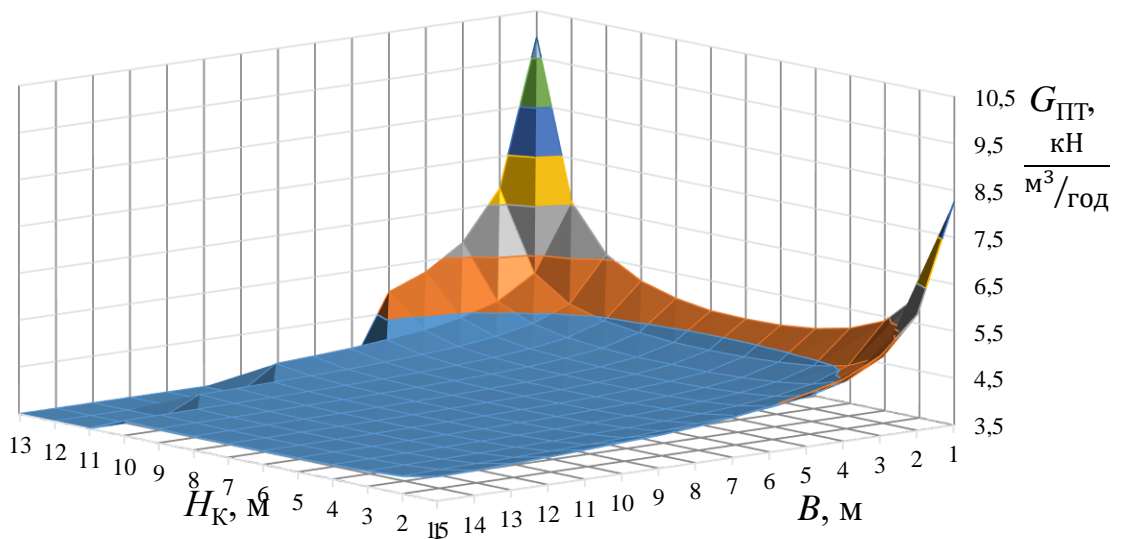


Рис. 4.9. Графік зміни питомої матеріалоемності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки B

- узагальненого показника енергоемності та матеріалоемності Π_{NG} в залежності від довжини проходки $L_{КОП}$ та ширини проходки B (рис. 4.10, а) –

$$\Pi_{NG_{ОПТ}} = \{6.747 \leq \Pi_{NG} \leq 7.5\}, \left(\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{(\text{м}^3/\text{год})^2} \right), \text{ при розробці ґрунту на глибину } H_K$$

= 9м, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- узагальненого показника енергоемності та матеріалоемності Π_{NG} в залежності від довжини проходки $L_{КОП}$ та глибини копання H_K (рис. 4.10, б) –

$$\Pi_{NG_{ОПТ}} = \{6.756 \leq \Pi_{NG} \leq 7.5\}, \left(\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{(\text{м}^3/\text{год})^2} \right), \text{ при ширині розробки ґрунту } B =$$

5м, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором;

- узагальненого показника енергоемності та матеріалоемності Π_{NG} в залежності від глибини копання та H_K ширини проходки B (рис. 4.10, в) –

$$\Pi_{NG_{ОПТ}} = \{7.01 \leq \Pi_{NG} \leq 11\}, \left(\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{(\text{м}^3/\text{год})^2} \right), \text{ при максимальній довжині копання}$$

$L_{КОП} = 500\text{м}$, ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$, та позначено блакитним кольором.

Зростання питомих енергоемності $N_{ПТ}$, матеріалоемності $G_{ПТ}$ та узагальненого показника енергоемності та матеріалоемності Π_{NG} для кожної серії графіків (рисунки 4.6 – 4.10) носять зворотно пропорційний до експлуатаційної продуктивності характер. Таким чином, зростання та пікові значення пояснюється зменшенням об'єму розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення та відповідним зменшенням експлуатаційної продуктивності $\Pi_{e,i}$ на кожному i -му виді робіт. Оптимальні значення розглянутих показників оцінки ефективності ТРО ОГЕ при виконанні робіт з максимальним радіусом копання R (ТС стріли та рукояті виштовхнуті) досягаються при розробці ґрунту на глибину $H_{КОПТ} = \{7.5\text{м} \leq H_K \leq 9\text{м}\}$, що складає 56.82%....68.18% від глибини копання H_K ківшом $q_8 = 0.75 \text{ м}^3$.

Результати показників оцінки ефективності ТРО ОГЕ (табл. 2.2) наступних показників приведені у таблиці 4.2 та представлені у виді гістограм (рисунки 4.11 – 4.20) у порівнянні з ОГЕ зі схожими технічними характеристиками, які були розглянуті в 1 розділі дисертаційної роботи.

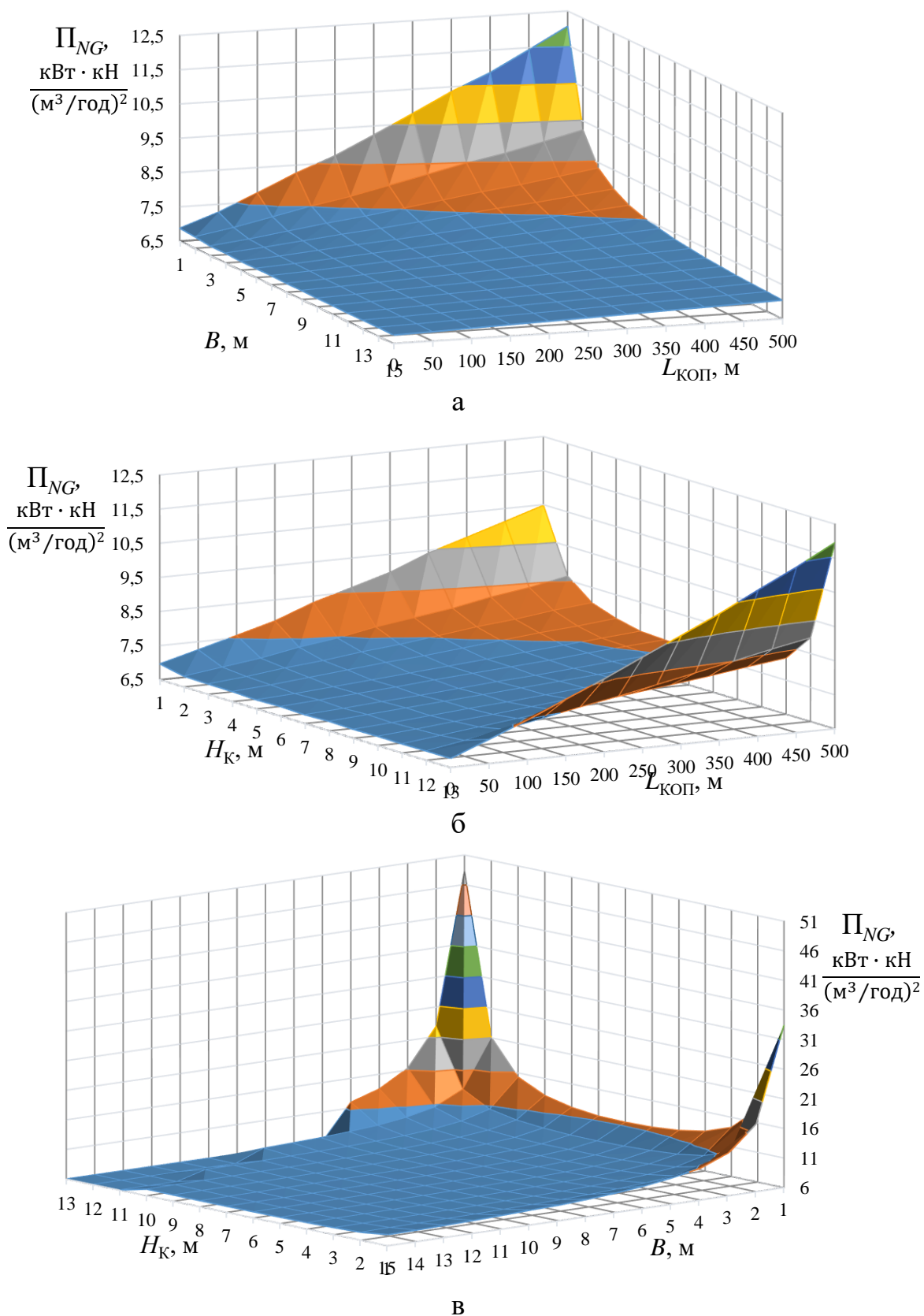


Рис. 4.10. Графіки зміни узагальненого показника енергоемності та матеріалоемності Π_{NG} в залежності: а – від довжини проходки $L_{КОП}$ та ширини проходки B ; б – від довжини проходки $L_{КОП}$ та глибини копання H_K в – від глибини копання та H_K ширини проходки B

Таблиця 4.2

Порівняння показників ефективності

Показник	Розмірність	Hitachi ZX 290 обладнаний ТРО									Hitachi ZX 250LC-6	New Holland		Komatsu PC240LC-10
		Технологічна схема										E215 BLC-ME	E265 BJ- LC	
		$A_2^0 B_2^0$	$A_2^0 B_2^1$	$A_2^0 B_2^2$	$A_2^1 B_2^0$	$A_2^1 B_2^1$	$A_2^1 B_2^2$	$A_2^2 B_2^0$	$A_2^2 B_2^1$	$A_2^2 B_2^2$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P_{e_i}	$\frac{м^3}{год}$													
$n=1$		156.6	123.6	74.25	157.1	123.6	74.32	157.1	123.65	77.09	156.7	50.75	50.61	157.75
$L_K=500m$		133.3	113.4	71.2	143.1	116.6	73.47	148	119.15	75.44	105.5	48.98	49.98	107.8
$V_{тех.i}$	$м^3$	361.5	530.2	800.3	581.7	753.2	1071.6	854.5	1091.1	1494.7	173.5	665.2	1320	190.1
H_K	м	7.8	9.6	11.3	9.6	11.3	13.1	11.3	13.1	14.8	6.53	12.8	14.73	7.32
R	м	12.8	14.2	15.98	14.6	15.7	17.4	16.3	17.5	19.2	10.43	15.32	18.53	10.58
q_i	$м^3$	1.4	1.1	0.75	1.4	1.1	0.75	1.4	1.1	0.75	1.4	0.45	0.45	1.41
		1.3	1.0	0.7	1.3	1.0	0.7	1.3	1.0	0.7	1.3			1.24
		1.2	0.9	0.65	1.2	0.9	0.65	1.2	0.9	0.65	1.2			1.1
		1.1	0.8	0.6	1.1	0.8	0.6	1.1	0.8	0.6	1.0			0.72
		1.0		0.55	1.0		0.55	1.0		0.55	0.8			0.58
		0.8		0.45	0.8		0.45	0.8		0.45				
N	кВт	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	118	137	132
G	кН	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	288.4	275.6	243.5	266.8	245.3
$N_{ПТ}$	$\frac{кВт}{\frac{м^3}{год}}$	1.05	1.23	1.72	0.978	1.2	1.7	0.946	1.17	1.85	1.33	2.4	2.74	1.22
$G_{ПТ}$	$\frac{кН}{\frac{м^3}{год}}$	2.16	2.54	3.55	2.02	2.47	4.0	1.95	2.42	4.83	2.61	4.97	5.34	2.27

продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Π_{NG}	$\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{(\text{м}^3/\text{ГОД})^2}$	2.268	3.124	6.106	1.975	2.964	5.95	1.845	2.83	7.01	3.47	11.93	14.63	2.89
H_N	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$	17.95	14.58	12.38	14.58	12.38	10.68	12.38	10.68	9.46	21.4	9.21	9.3	18.71
H_G	$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	36.97	30.04	25.52	30.04	25.52	22.01	25.52	22.01	19.48	42.66	19.02	18.11	33.51
H_{NG}	$\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{\text{м}^2}$	663.6	434.9	315.9	437.9	315.9	235	315.9	235	184.3	912.9	175.2	168.4	627.2
R_N	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$	10.94	9.86	8.76	9.59	8.91	8.05	8.59	8.0	7.29	13.42	7.7	7.39	12.94
R_G	$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	22.53	20.3	18.05	19.75	18.37	16.57	17.69	16.48	15.02	26.42	15.89	14.4	23.18
R_{NG}	$\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{\text{м}^2}$	246.5	200.1	158.1	189.4	163.6	133.4	151.9	131.8	109.5	354.5	122.3	106.4	300.2
q_N	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	100	127.3	186.6	100	127.3	186.6	100	127.3	186.6	100	262.2	304.4	97.16
q_G	$\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$	206	262.2	384.5	206	262.2	384.5	206	262.2	384.5	196.8	541.1	592.9	173.9
q_{NG}	$\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}}{\text{м}^6}$	20.6×10^3	33.36×10^3	71.78×10^3	20.6×10^3	33.36×10^3	71.78×10^3	20.6×10^3	33.36×10^3	71.78×10^3	19.68×10^3	141.9×10^3	180.5×10^3	16.9×10^3
H_{NGq}	$\frac{\text{кВт}^2 \cdot \text{кН}^2}{\text{м}^8}$	13.67×10^6	14.6×10^6	22.7×10^6	9.02×10^6	10.55×10^6	16.88×10^6	6.51×10^6	7.85×10^6	13.23×10^6	17.8×10^6	24.9×10^6	30.4×10^6	10.6×10^6
R_{NGq}	$\frac{\text{кВт}^2 \cdot \text{кН}^2}{\text{м}^8}$	5.07×10^6	9.78×10^6	11.3×10^6	3.9×10^6	5.46×10^6	9.57×10^6	3.13×10^6	4.4×10^6	7.86×10^6	6.98×10^6	17.37×10^6	19.2×10^6	5.07×10^6
$\Pi_{\text{ПТ}q}$	$\frac{\text{м}^3/\text{ГОД}}{\text{м}^3}$	95.2	103.1	108.2	102.2	106	109.6	105.7	108.3	110.5	75.3	108.8	111	76.45
$w_{\text{ПТ}}$	$\frac{(\text{м}^3/\text{ГОД})}{w}$	133.3	113.4	82.1	143.1	116.6	82.17	148	119.15	82.9	105.5	16.32	49.98	107.8
Π_{NGw}	$\frac{\text{кВт}\cdot\text{кН}\cdot w}{(\text{м}^3/\text{ГОД})^3}$	0.017	0.028	0.073	0.014	0.025	0.073	0.012	0.024	0.07	0.034	0.73	0.29	0.027

В якості моделей для порівняння показників оцінки ефективності вибрані: *Hitachi ZX 250LC-6* з традиційним моноблочним РО; *New Holland E215 BLC-ME* з трьома рукоятями; *New Holland E265 BJ-LC* зі збільшеним РО; *Komatsu PC240LC-10* з традиційним шарнірно-зчленованим РО.

Порівняльний аналіз показників оцінки ефективності показує, оптимальне значення за умов раціоналізації та оптимізації знаходиться у межах застосування ТРО ОГЕ. Так, досягти максимальної продуктивності – $\Pi_{e,i}=148 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$, із забезпеченням збільшеної робочої зони (у порівнянні з традиційним РО), можливо при виштовхуванні ТС стріли при втягнутих ТС рукояті (рис. 4.11). Відповідна продуктивність пояснюється збільшеним об'ємом розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення.

На рисунку 4.12, а представлено порівняльна гістограма об'єму розроблюваного ґрунту $V_{\text{ТЕХ},i}$ в періоді одного переміщення при розробці ґрунту на ширину $B = 0.8R$ та максимальною глибиною копання для даної технологічної схеми H_k , кут відкосу забою – $\alpha_{\text{заб}} = 70^\circ$. Збільшення лінійних розмірів ТРО ОГЕ дозволяє забезпечити максимальне значення об'єму розроблюваного ґрунту. При цьому, слід звернути увагу, що при виштовхуванні ТС стріли досягається збільшення цього показника у порівнянні з виштовхуванням ТС рукояті – $V_{\text{ТЕХ},A_2^1B_2^0} > V_{\text{ТЕХ},A_2^0B_2^1}$, $V_{\text{ТЕХ},A_2^2B_2^0} > V_{\text{ТЕХ},A_2^0B_2^2}$, $V_{\text{ТЕХ},A_2^2B_2^1} > V_{\text{ТЕХ},A_2^1B_2^2}$. Таким чином, спостерігається очевидна перевага застосування ТС для стріли у порівнянні із телеспопуванням рукояті.

Аналіз узагальненого показника 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 (рис. 4.13, в). Окрім цього очевидно є перевага застосування ТС в стрілі у порівнянні з ТС рукояті: $\Pi_{NG_{A_2^1B_2^0}} < \Pi_{NG_{A_2^0B_2^1}}$, $\Pi_{NG_{A_2^2B_2^0}} < \Pi_{NG_{A_2^0B_2^2}}$, $\Pi_{NG_{A_2^2B_2^1}} < \Pi_{NG_{A_2^1B_2^2}}$.

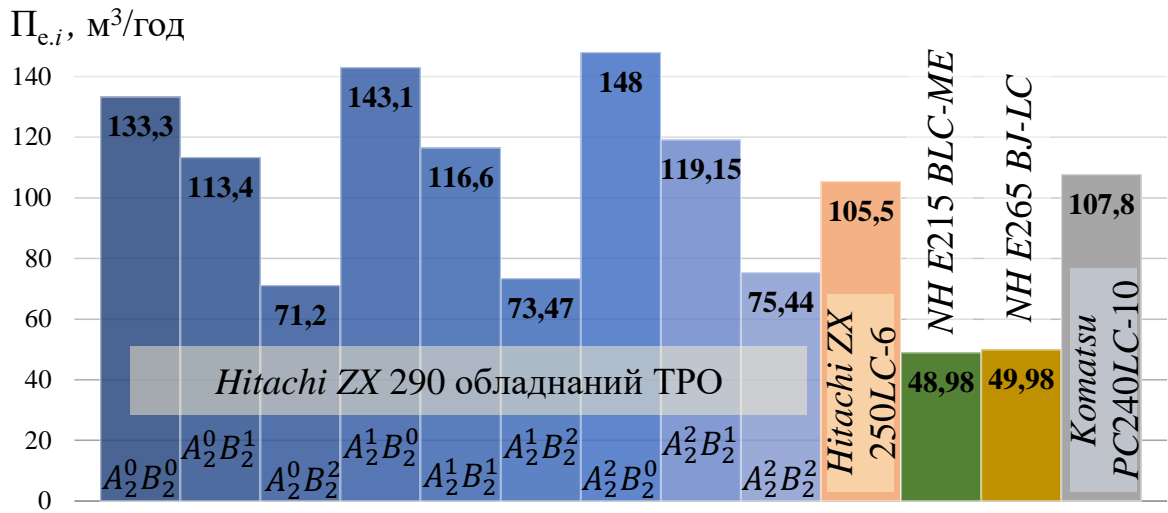
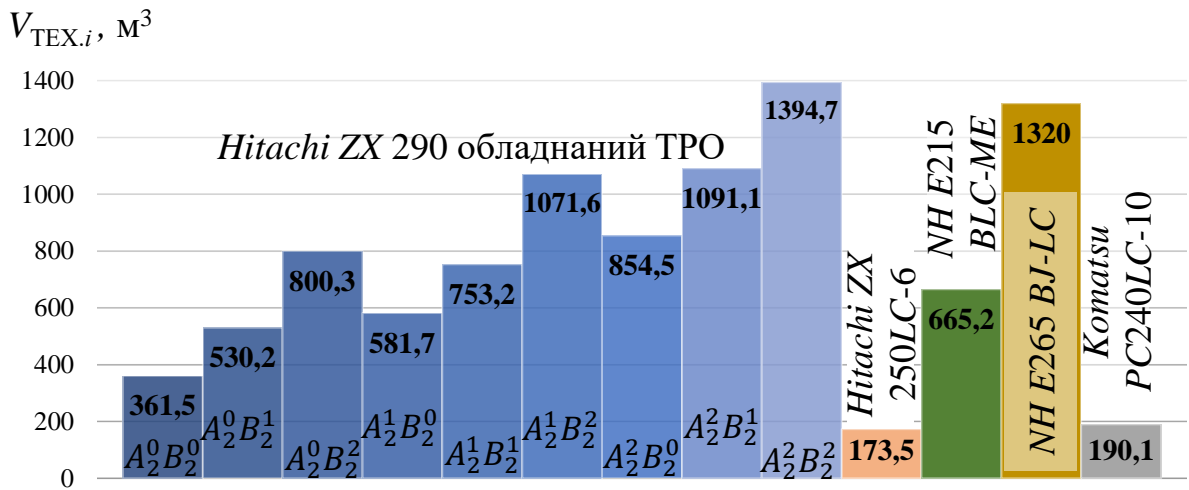
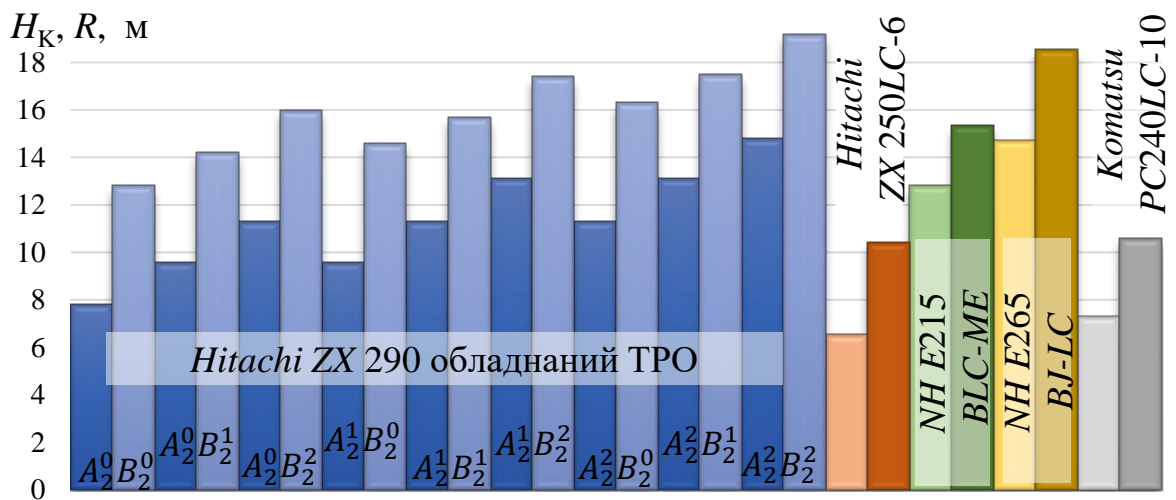


Рис. 4.11. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ по продуктивності

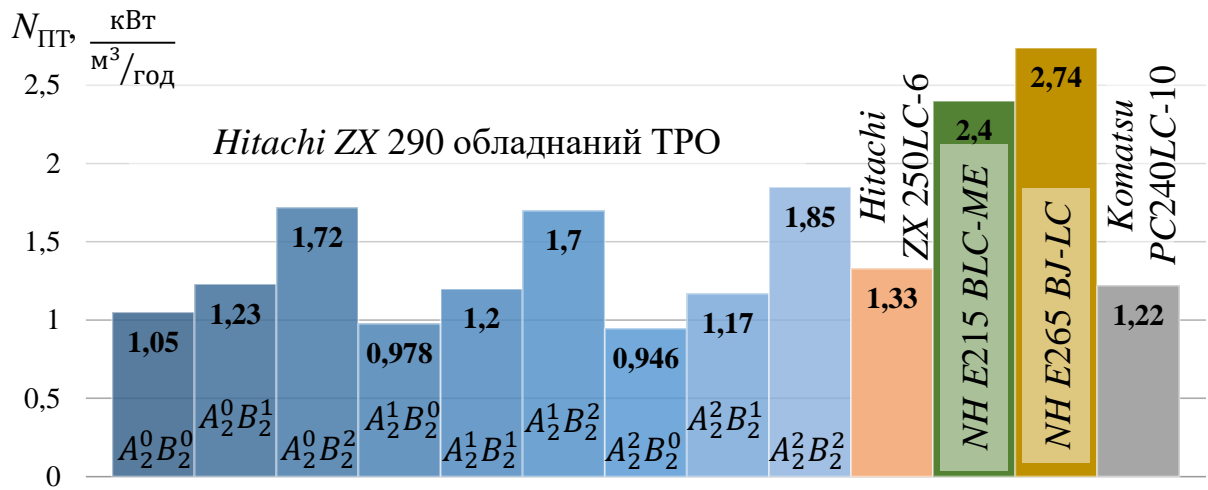


а

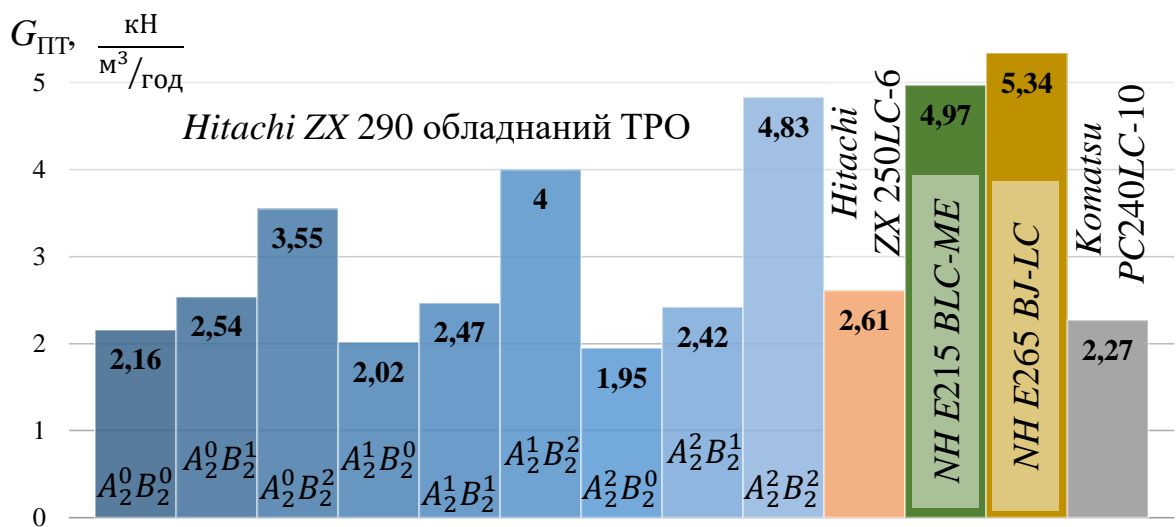


б

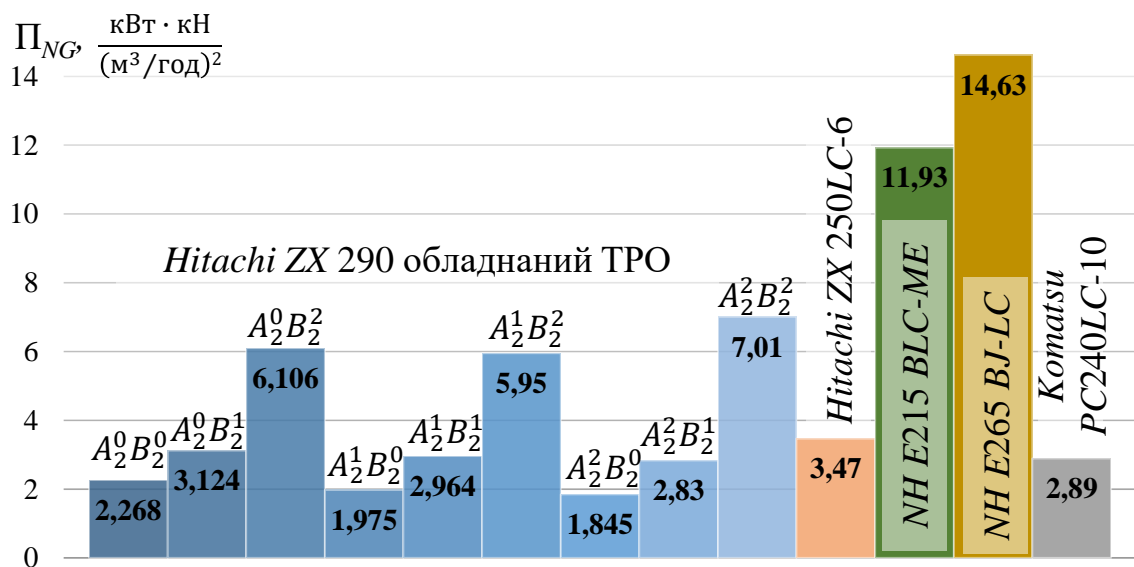
Рис. 4.12. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – по об’єму розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення ОГЕ; б – по глибині та радіусу копання



а



б



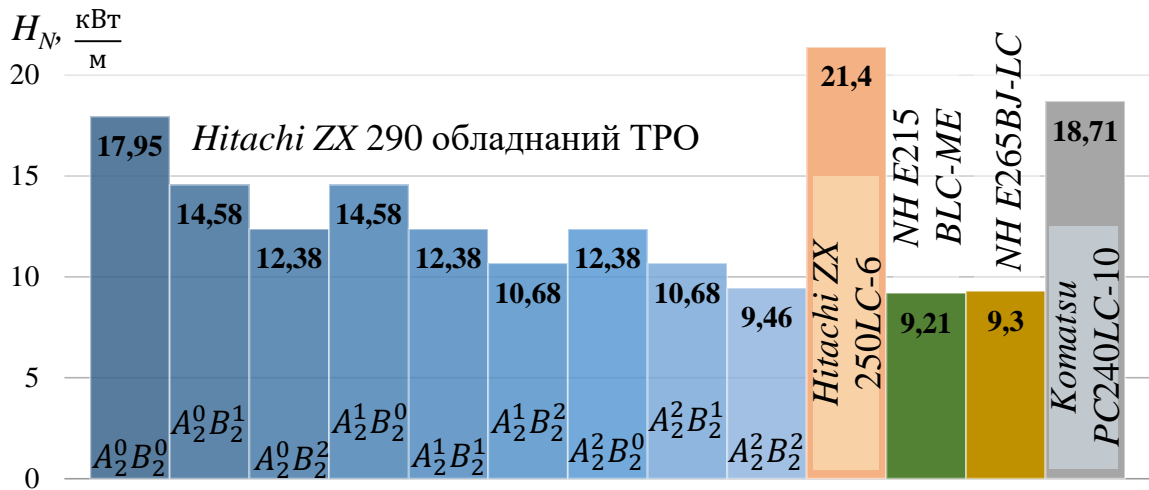
в

Рис. 4.13. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – по питомій енергоємності; б – по питомій матеріалоємності; в – по узагальненому показнику енергоємності та матеріалоємності

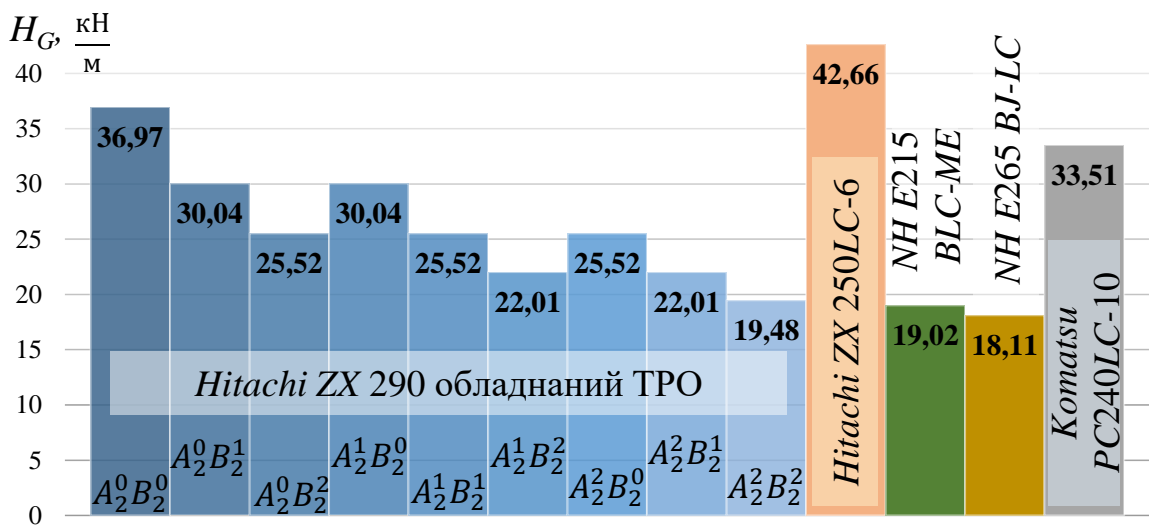
Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ показників енергоємності по глибині копання H_N , матеріалоємності по глибині копання H_G та узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по глибині копання H_{NG} (рис. 4.14, а, б, в, відповідно) при виконанні робіт на максимальній глибині копання H_K показують ефективність ТРО ОГЕ у порівнянні з традиційними структурами. Так, мінімальним значенням цих показників відповідає технологічна схема $A_2^2B_2^2$, а різноманіття варіацій виштовхування ТС стріли та рукояті дозволяє підібрати оптимальне значення цих показників під будь-яку глибину копання. Аналогічна тенденція спостерігається при аналізі показників енергоємності по радіусу копання R_N , матеріалоємності по радіусу копання R_G та узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання R_{NG} (рис. 4.15, а, б, в, відповідно).

Збереження традиційних плеч прикладання дотичного зусилля копання P_{01} , що дає змогу використовувати ківші місткістю $[q_9, q_{15}] = \{0.8 \leq q \leq 1.4\}$, (m^3), а обмеження по застосуванню ТРО та відповідних робочих органів зводяться до забезпечення стійкості ОГЕ. Таким чином, при використанні технологічних схем ТРО ОГЕ $A_2^0B_2^0$, $A_2^1B_2^0$ та $A_2^2B_2^0$ можливе застосування ковшів $q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{15}$, при $A_2^0B_2^1$, $A_2^1B_2^1$ та $A_2^2B_2^1$ – $q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}$, при $A_2^0B_2^2$, $A_2^1B_2^2$ та $A_2^2B_2^2$ – $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8$ (значення за таблицею 4.1).

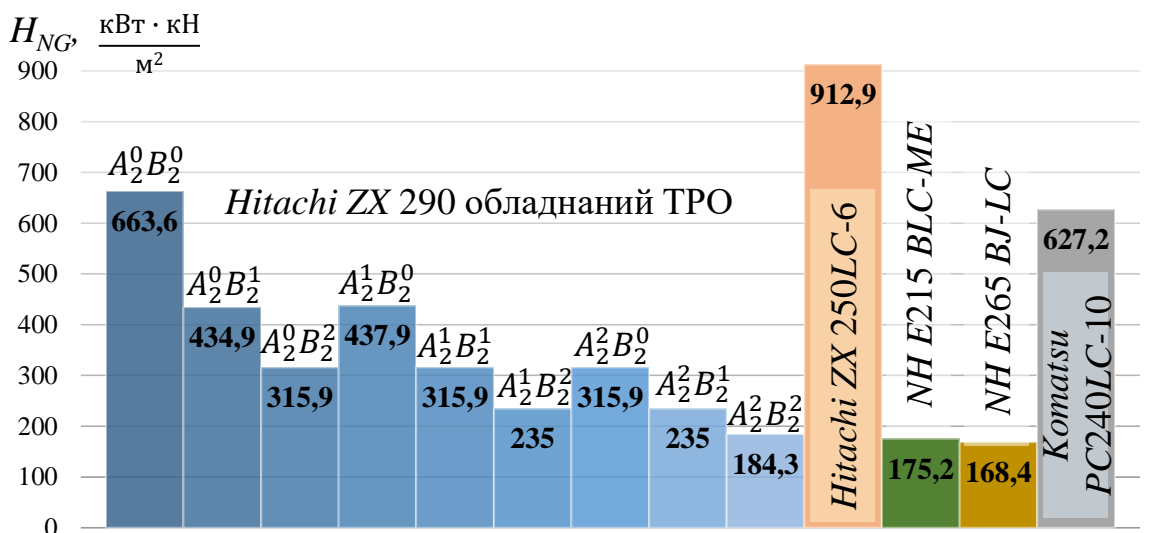
Аналіз гістограм порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ показників оцінки енергоємності по місткості ковша q_N , оцінки матеріалоємності по місткості ковша q_G та узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша q_{NG} (рис. 4.16, а, б, в, відповідно), показує, що мінімальне значення по всій групі показників досягається при виштовхуванні ТС стріли, а при виштовхуванні ТС рукояті спостерігається зростання цих показників. Аналогічна тенденція спостерігається при аналізі гістограм порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ узагальнених показників економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та



а

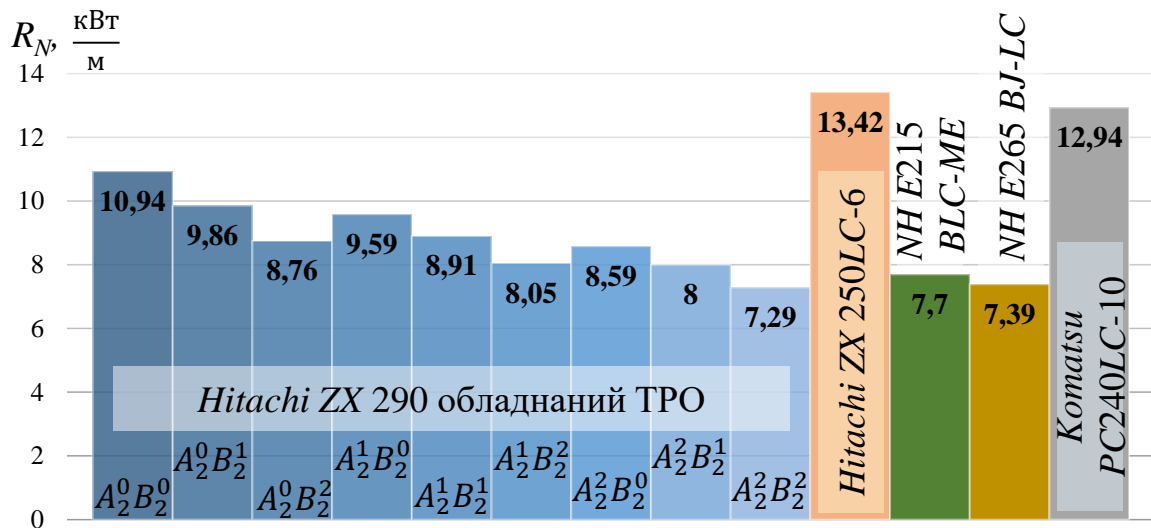


б

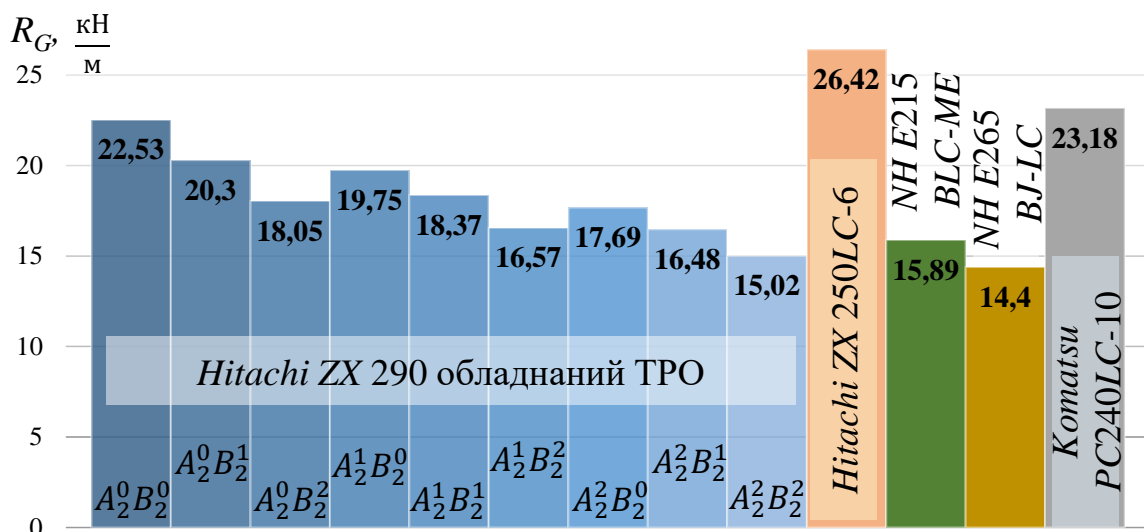


в

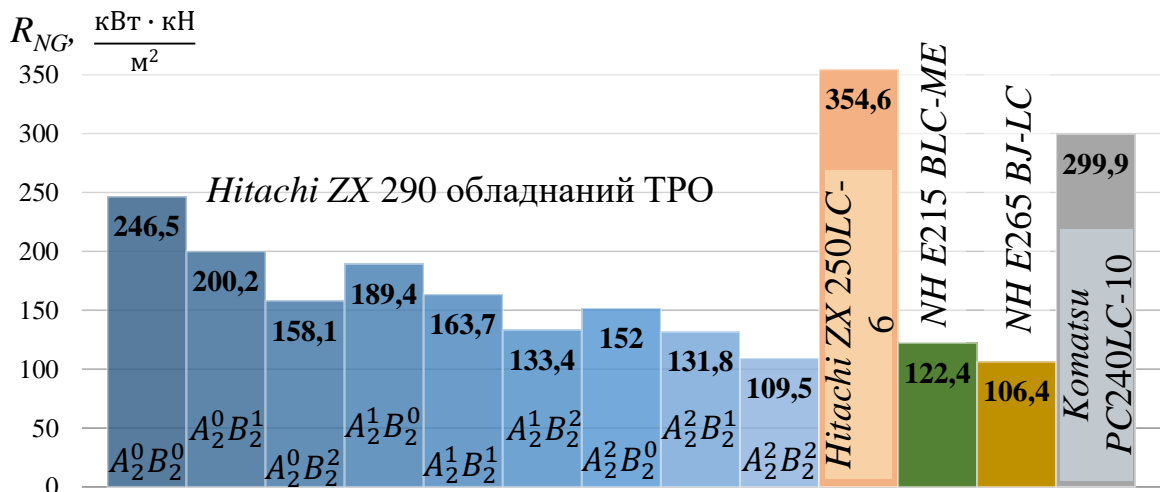
Рис. 4.14. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – показника енергоємності по глибині копання; б – показника матеріалоємності по глибині копання; в – узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по глибині копання



а

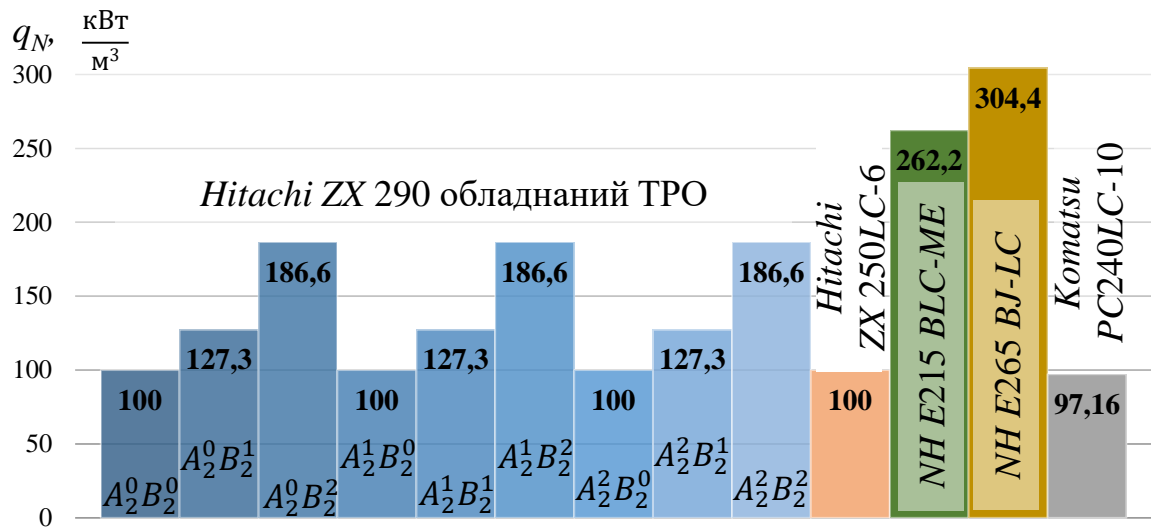


б

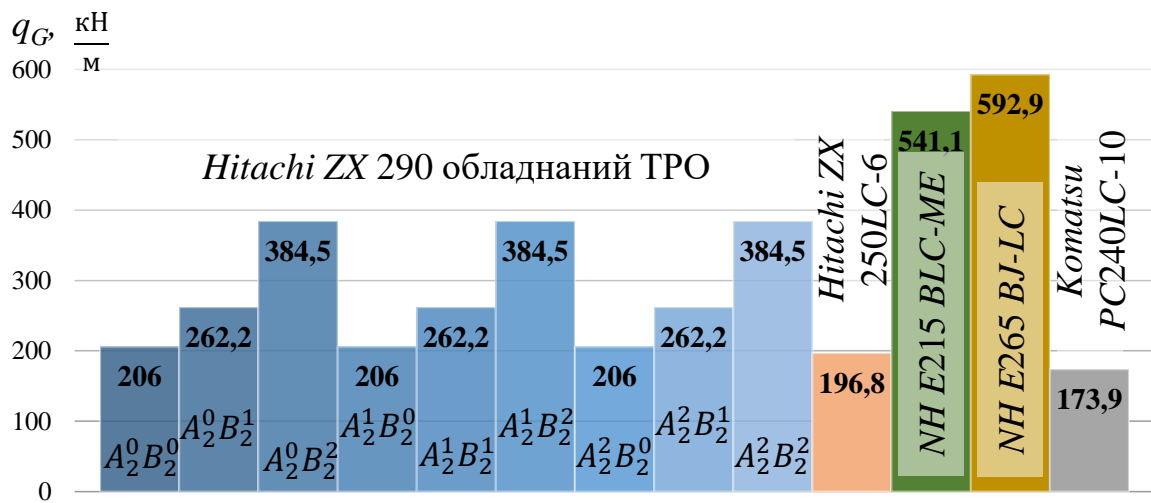


в

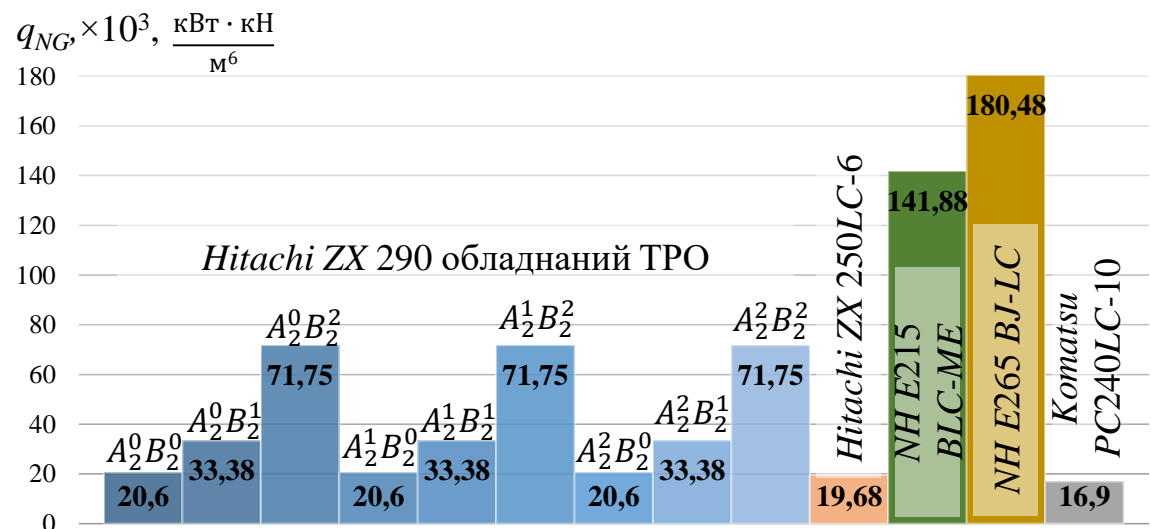
Рис. 4.15. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – показника енергоємності по радіусу копання; б – показника енергоємності по радіусу копання; в – узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання



а



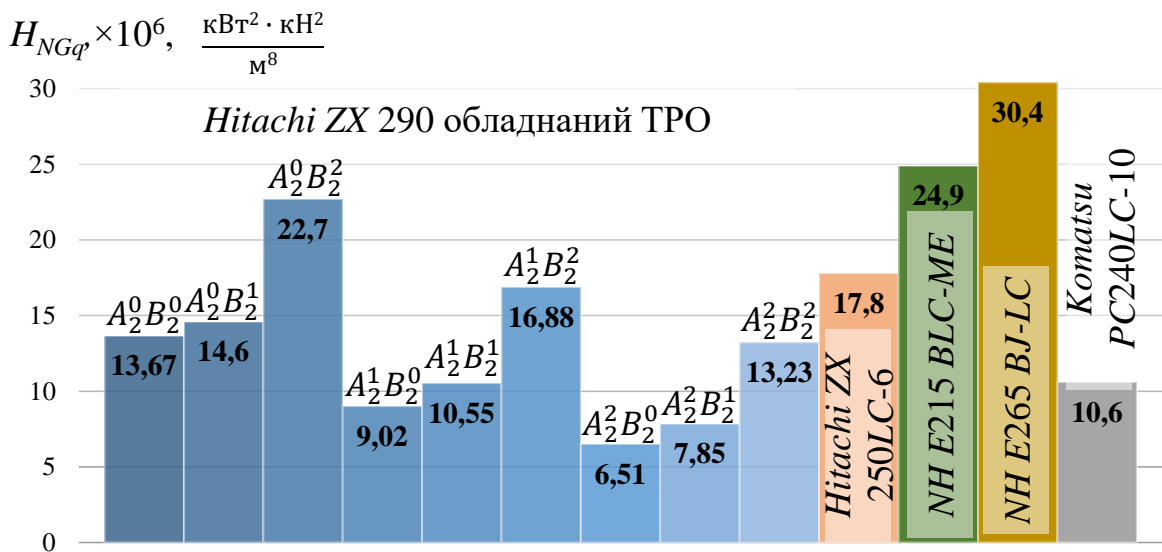
б



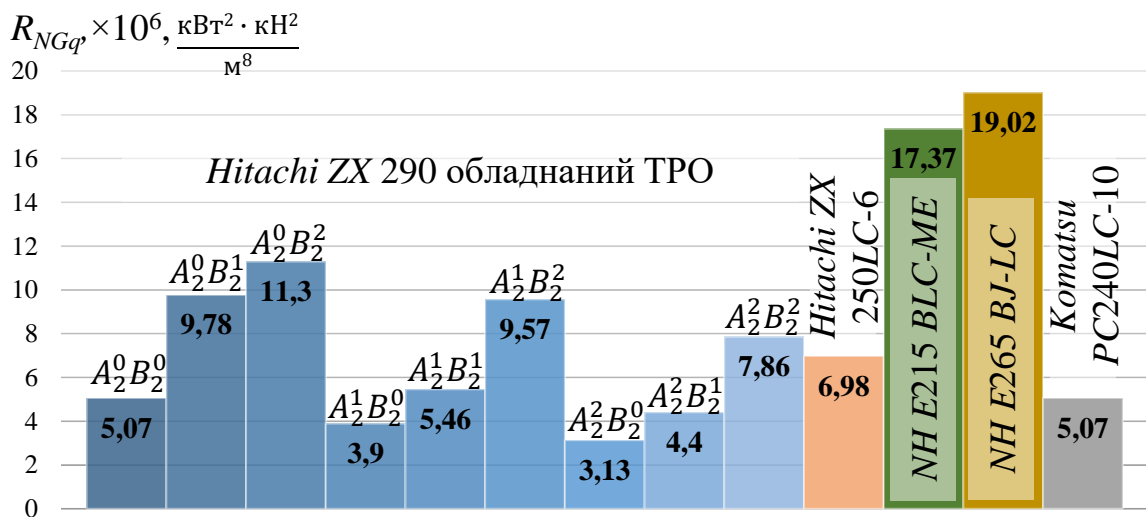
в

Рис. 4.16. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ: а – показника оцінки енергоємності по місткості ковша; б – показника оцінки матеріалоємності по місткості ковша; в – узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша

місткості ковша та по радіусу копання та місткості ковша (рис.4.17, а, б, відповідно). Це пояснюється застосуванням ковшів максимально можливої місткості q_i для конкретної технологічної схеми ТРО. Таким чином, досягається максимальна питома продуктивність по місткості ковша ОГЕ на i -му виді робіт (рис. 4.18) при розробці ґрунту ківшами малої місткості на максимальних глибинах копання. Окрім цього, зміна геометричних параметрів ТРО не потребує додаткового персоналу що дозволяє збільшити виробіток на одного працівника (рис. 4.19) та зменшити енергетичні та матеріальні витрати на виробіток одного працівника (рис. 4.20).



а



б

Рис. 4.17. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ узагальнених показників економії енергоємності та матеріалоємності: а – по глибині копання та місткості ковша; б – по радіусу копання та місткості ковша

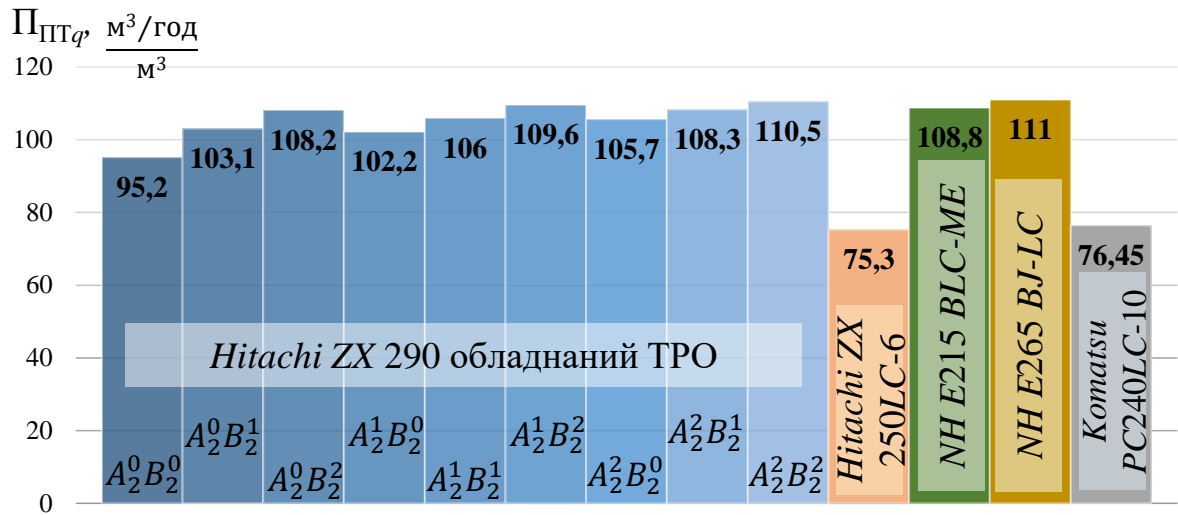


Рис. 4.18. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ питомої продуктивності по місткості ковша

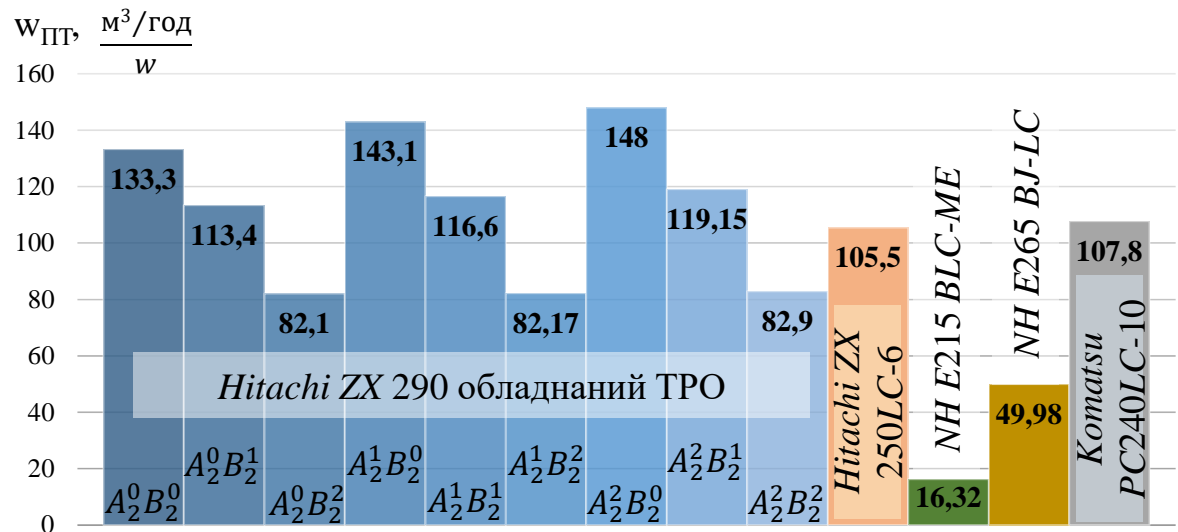


Рис. 4.19. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ по виробітку на одного робітника

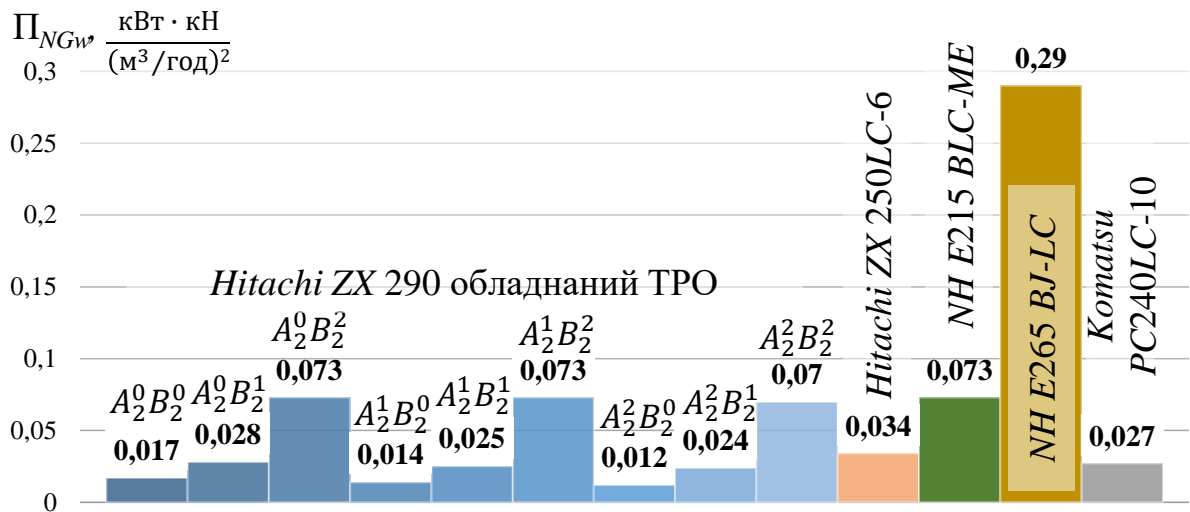


Рис. 4.20. Гістограми порівняльної оцінки ефективності ТРО ОГЕ узагальненого показника енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного працівника

4.2. Обробка та аналіз отриманих експериментальних даних

Після обробки отриманих даних за допомогою програми для персонального комп'ютера *STATGRAPHICS Centurion XVI* отримано ряд регресійних залежностей з переходом до іменованих величин [87, 88, 89]:

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

$$\begin{aligned}
 P_{01} = & 190,957 - 6,02449 \cdot L_{Т.ЧС} - 749,235 \cdot L_{Т.Р} + 6,79474 \cdot \\
 & b_K + 1929,46 \cdot h_{СТР} - 2,63521 \cdot L_{Т.ЧС}^2 + 119,246 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot L_{Т.Р} - \\
 & 103,974 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot b_K - 908,724 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot h_{СТР} + 901,032 \cdot L_{Т.Р}^2 - 527,06 \cdot \\
 & L_{Т.Р} \cdot b_K - 1389,47 \cdot L_{Т.Р} \cdot h_{СТР} + 4932,58 \cdot b_K^2 - 18001,2 \cdot b_K \cdot h_{СТР} + \\
 & 64753,1 \cdot h_{СТР}^2;
 \end{aligned} \quad (4.1)$$

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

$$\begin{aligned}
 F_{ЛП.Т.Р} = & 4015,08 - 1649,79 \cdot L_{Т.ЧС} - 11803,1 \cdot L_{Т.Р} - 3903,01 \cdot \\
 & b_K - 48094,6 \cdot h_{СТР} + 346,259 \cdot L_{Т.ЧС}^2 + 3071,04 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot L_{Т.Р} + \\
 & 2388,09 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot b_K + 15751,0 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot h_{СТР} + 10030,5 \cdot L_{Т.Р}^2 - \\
 & 662,896 \cdot L_{Т.Р} \cdot b_K + 65252,6 \cdot L_{Т.Р} \cdot h_{СТР} + 46066,3 \cdot b_K^2 - 75142,7 \cdot \\
 & b_K \cdot h_{СТР} + 740082,0 \cdot h_{СТР}^2;
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

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

$$\begin{aligned}
 m_{ГР} = & -7,50635 + 6,66956 \cdot L_{Т.ЧС} + 14,7396 \cdot L_{Т.Р} + 60,8646 \cdot \\
 & b_K - 29,8333 \cdot h_{СТР} - 14,9699 \cdot L_{Т.ЧС}^2 + 7,95718 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot L_{Т.Р} + 15,191 \cdot \\
 & L_{Т.ЧС} \cdot b_K + 256,944 \cdot L_{Т.ЧС} \cdot h_{СТР} - 20,1678 \cdot L_{Т.Р}^2 - 4,6875 \cdot L_{Т.Р} \cdot b_K + \\
 & 79,1667 \cdot L_{Т.Р} \cdot h_{СТР} - 256,51 \cdot b_K^2 + 150,0 \cdot b_K \cdot h_{СТР} - 3404,17 \cdot h_{СТР}^2.
 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Графічні інтерпретації отриманих результатів зміни середніх дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} , активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{ЛП.Т.Р}$ та маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР}$ представлені у вигляді поверхонь відгуку функцій від зміни факторів, які

враховувались при проведенні експериментальних досліджень, побудовані за регресійними залежностями (4.1), (4.2) та (4.3), та представлені на рисунках 4.21 – 4.38 [89, 90, 100].

Встановлено характер змінення дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} від довжини верхньої частини стріли $L_{Т.СТР}$, довжини рукояті $L_{Т.РУК}$, ширини ріжучої кромки ковша b_K та товщини зрізаної стружки $h_{СТР}$ (рис. 4.21 – 4.26).

Зміна довжини верхньої частини стріли $L_{Т.СТР}$ призводить до зростання опору копанню ґрунту на 1.66...9.01% і носить лінійний характер (рис. 4.21, 4.22, 4.24). Це пояснюється тим, що модель ТРО ОГЕ не є абсолютно жорсткою та зі зростанням вильоту ТРО збільшуються важелі перекидання машини, тобто зменшується коефіцієнт стійкості. Подібна картина спостерігається і на натуральних ОГЕ, коли в процесі копання відзначається незначний підйом переднього котка та перекидання відносно заднього котка рушія.

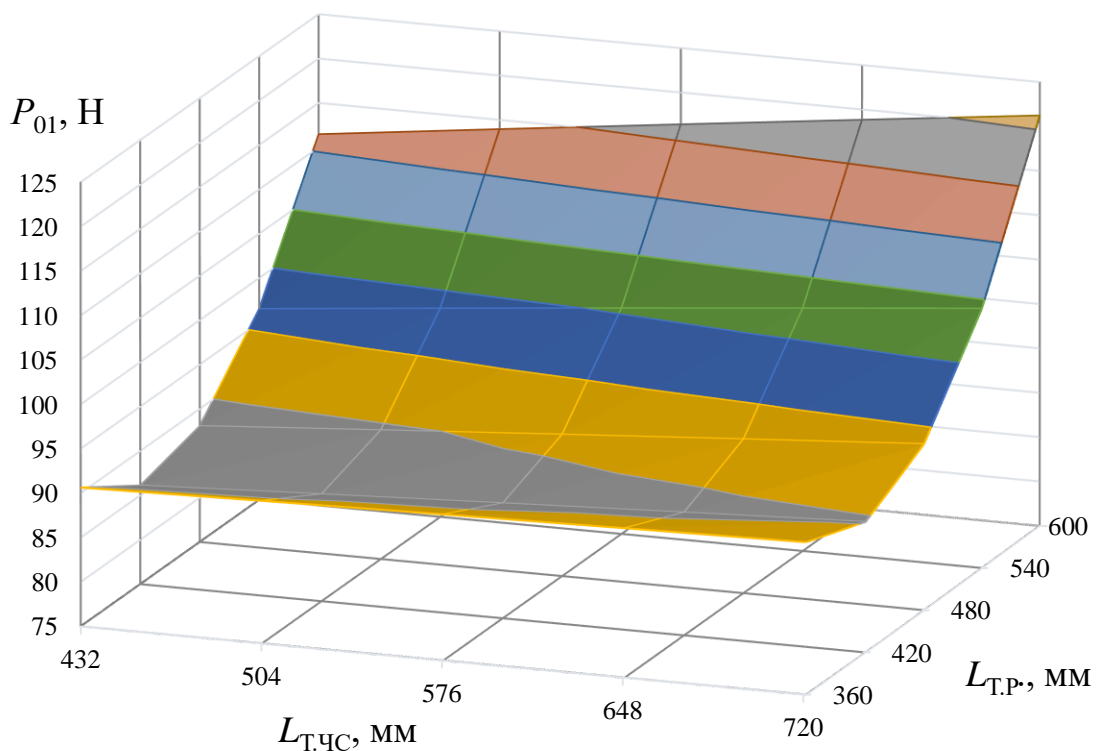


Рис. 4.21. Поверхня відгуку дотичної складової опору ґрунту копанню $P_{01} = f(L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р})$: $b_K = 100$ мм, $h_{СТР} = 20$ мм

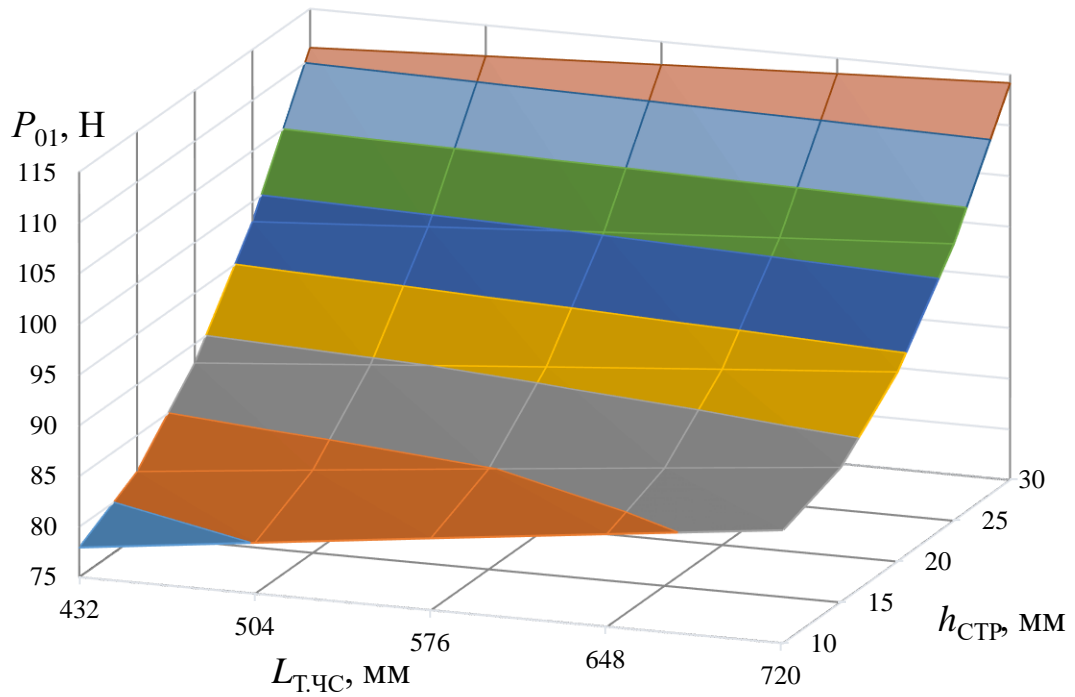


Рис. 4.22. Поверхня відгуку дотичної складової опору ґрунту
копанню $P_{01} = f(L_{т.чс}, h_{стп})$: $L_{т.р} = 480$ мм, $b_{к} = 100$ мм

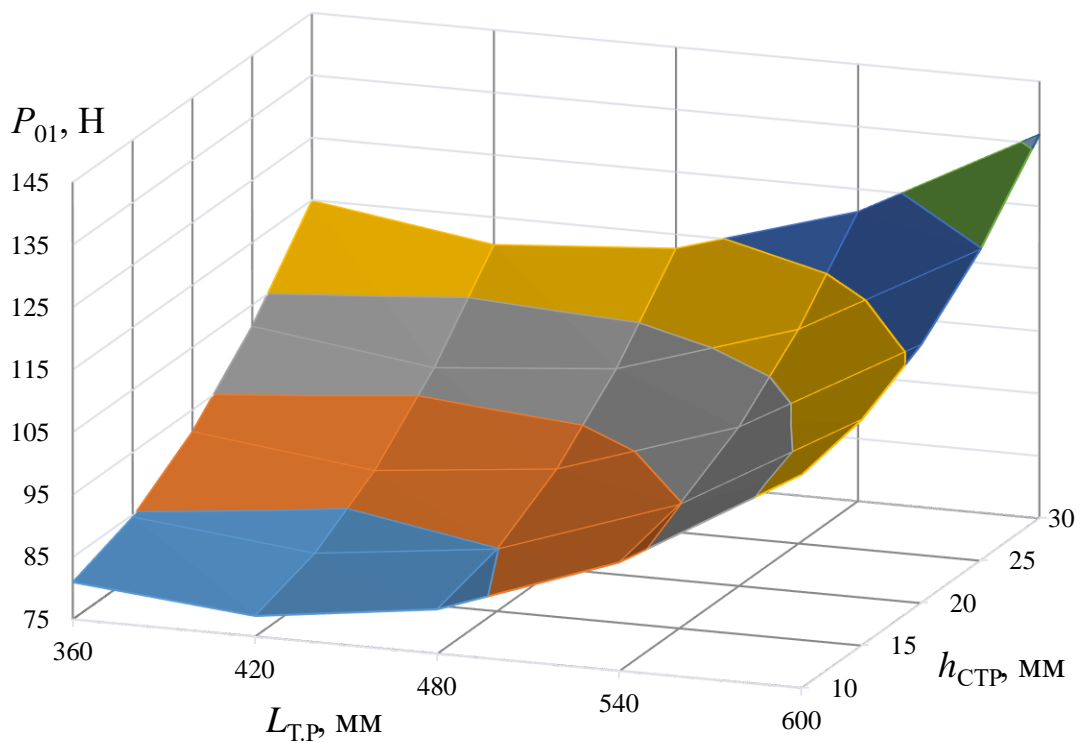


Рис. 4.23. Поверхня відгуку дотичної складової опору ґрунту
копанню $P_{01} = f(L_{т.р}, h_{стп})$: $L_{т.чс} = 576$ мм, $b_{к} = 100$ мм

Зміна довжини рукояті $L_{Т,РУК}$ призводить до зростання опору копанню ґрунту на 22.65...31.52% і носить параболічний характер (рис. 4.21, 4.23, 4,25). При цьому, спостерігається незначне падіння дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} при збільшенні довжини з $L_{Т,Р}=0.36 \rightarrow 0.42 \wedge 0.48$ в межах 4.95...2.76%. Таким чином, видно що існує оптимальна довжина телескопічної рукояті $L_{Т,Р}=0.42$, при якій значення дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} мінімальне.

Товщина зрізаної стружки $h_{СТР}$ та ширина ріжучої кромки ковша b_K має найбільший вплив на зростання дотичної складової опору копанню ґрунту P_{01} – 37.2% та 29.67%, відповідно (рис. 4.23, 4.24, 4.25, 4.26).

Співставлення теоретичних та експериментальних даних представлено на прикладі гістограм поєднаних лінійними графіками $P_{01} = f(b_K)$, при $h_{СТР} = 20$ мм, $L_{Т,ЧС} = 576$ мм, $L_{Т,Р} = 480$ мм, $P_{01} = f(b_K, L_{Т,Р})$, при $h_{СТР} = 20$ мм, $L_{Т,ЧС} = 576$ мм та $P_{01} = f(h_{СТР})$ при $b_K = 100$ мм, $L_{Т,ЧС} = 576$ мм, $P_{01} = f(h_{СТР}, L_{Т,Р})$ $b_K = 100$ мм, $L_{Т,ЧС} = 576$ мм, та відповідно представлені на рисунках 4.27, 4.28.

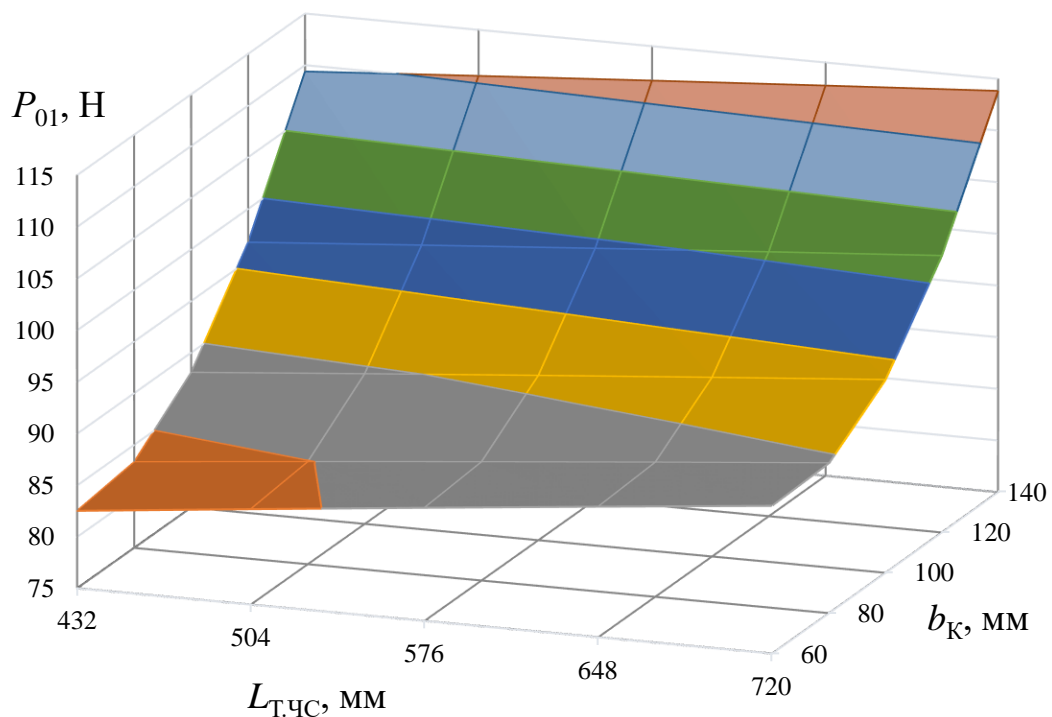


Рис. 4.24. Поверхня відгуку дотичної складової опору ґрунту копанню $P_{01} = f(L_{Т,ЧС}, b_K)$: $L_{Т,Р} = 480$ мм, $h_{СТР} = 20$ мм

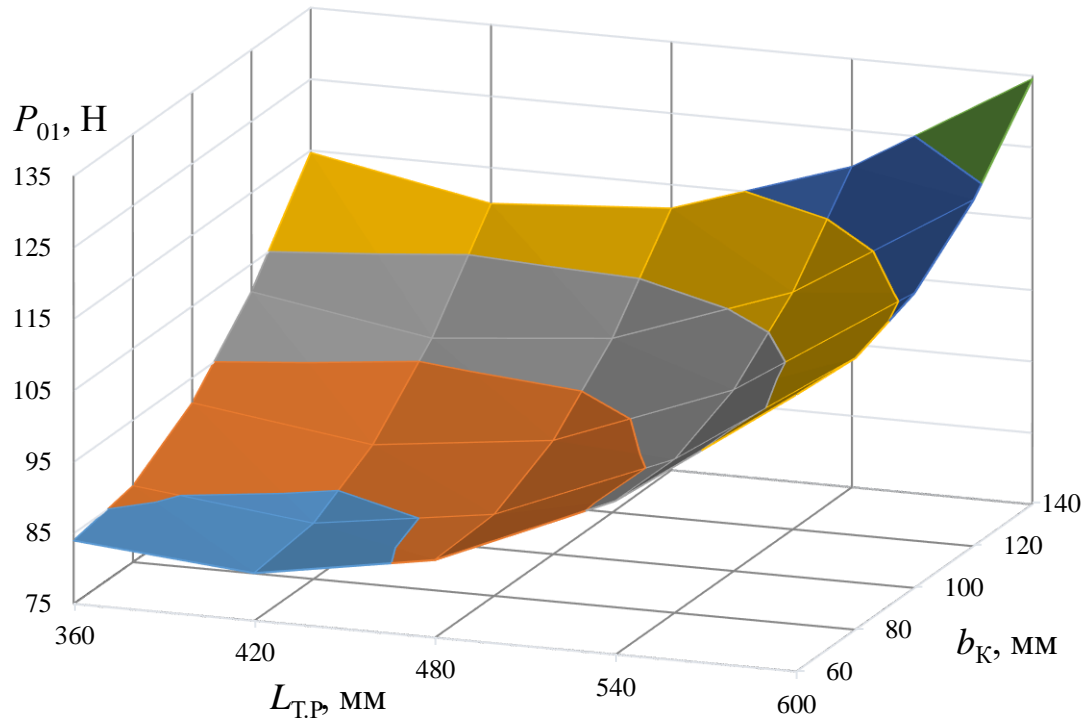


Рис. 4.25. Поверхня відгуку дотичної складової опору ґрунту
копанню $P_{01} = f(L_{Т.Р}, b_K)$: $L_{Т.ЧС} = 576$ мм, $h_{СТР} = 20$ мм

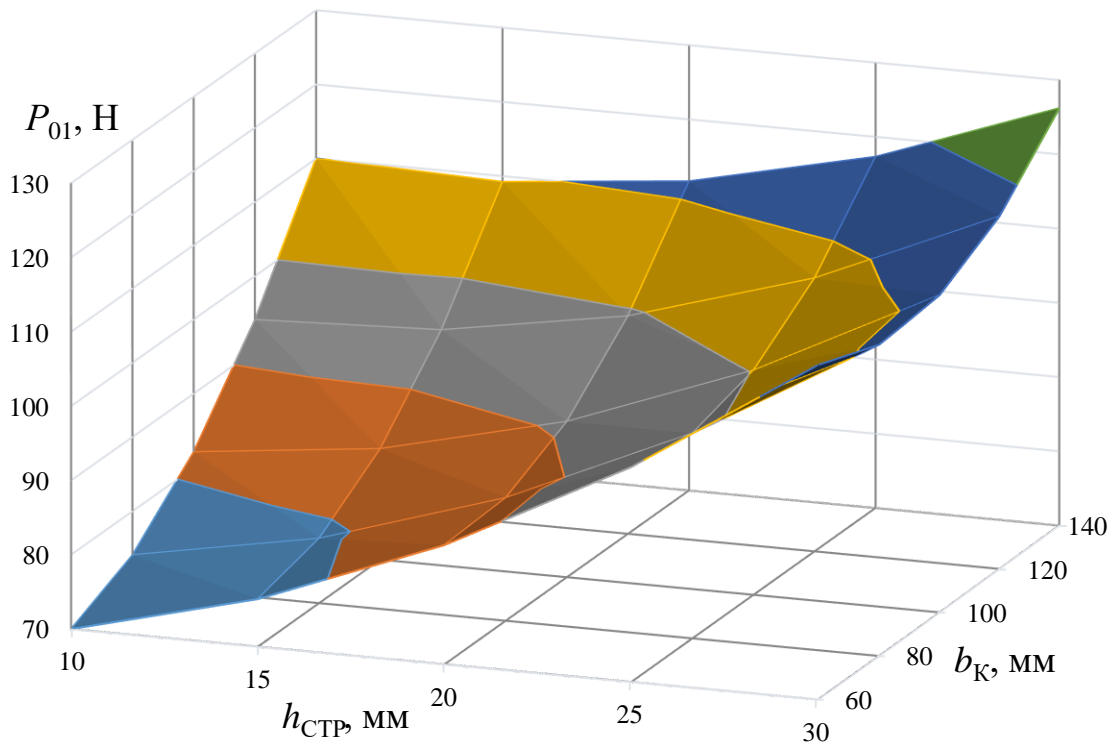


Рис. 4.26. Поверхня відгуку дотичної складової опору ґрунту
копанню $P_{01} = f(h_{СТР}, b_K)$: $L_{Т.ЧС} = 576$ мм, $L_{Т.Р} = 480$ мм

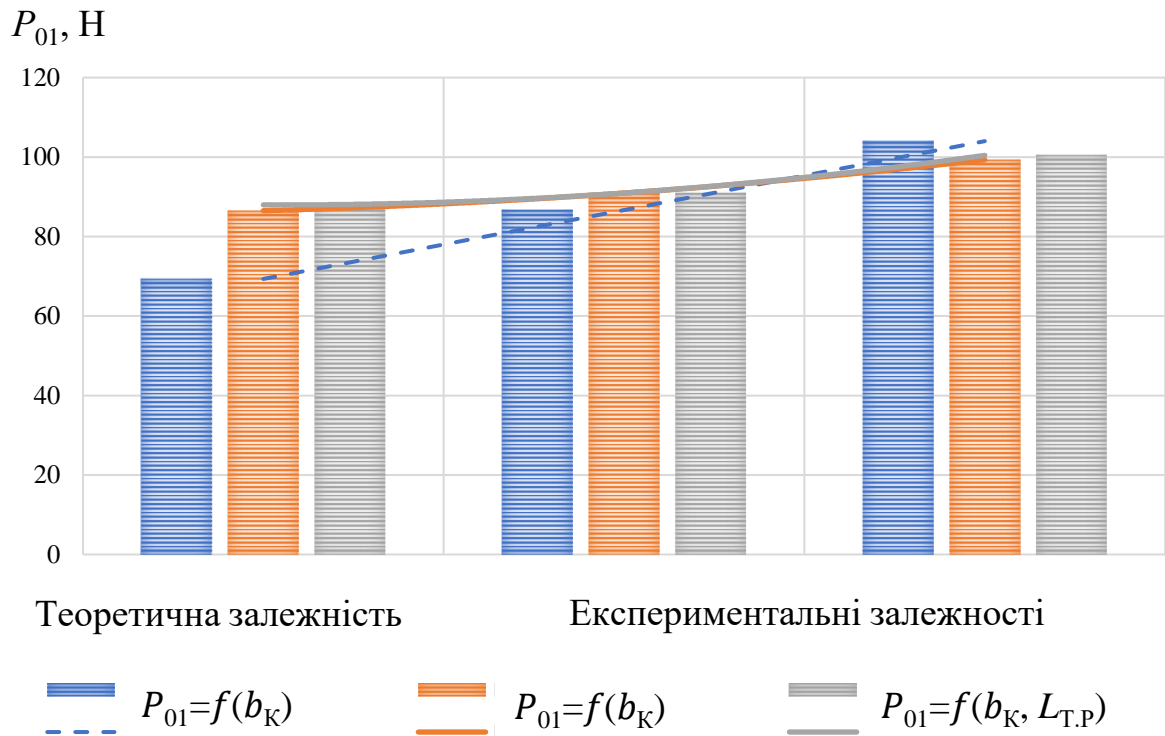


Рис. 4.27. Графік співставлення теоретичних та експериментальних значень дотичної складової опору ґрунту копанню при розробці ґрунту: $P_{01} = f(b_K)$, при $h_{СТР} = 20\text{мм}$, $L_{Т.ЧС} = 576\text{мм}$, $L_{Т.Р} = 480\text{мм}$, $P_{01} = f(b_K, L_{Т.Р})$, при $h_{СТР} = 20\text{мм}$, $L_{Т.ЧС} = 576\text{мм}$

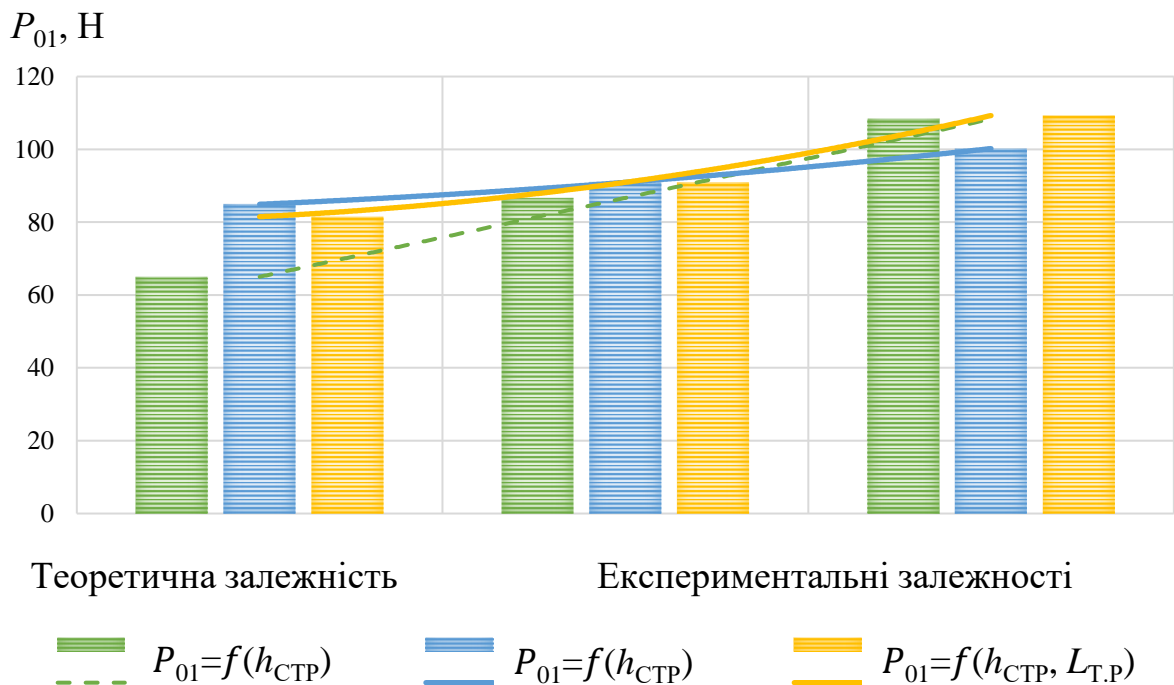


Рис. 4.28. Графік співставлення теоретичних та експериментальних значень дотичної складової опору ґрунту копанню при розробці ґрунту: $P_{01} = f(h_{СТР})$, при $b_K = 100\text{мм}$, $L_{Т.ЧС} = 576\text{мм}$, $L_{Т.Р} = 480\text{мм}$, $P_{01} = f(h_{СТР}, L_{Т.Р})$, при $b_K = 100\text{мм}$, $L_{Т.ЧС} = 576\text{мм}$

Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями силових та енергетичних параметрів робочого процесу розробки ґрунту ТРО ОГЕ не перевищує $6.8 \div 16.3\%$.

Встановлено характер зміни активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.ТР}}$ від довжини верхньої частини стріли $L_{\text{Т.СТР}}$, довжини рукояті $L_{\text{Т.РУК}}$, ширини ріжучої кромки ковша $b_{\text{К}}$ та товщини зрізаної стружки $h_{\text{СТР}}$ (рис. 4.29 – 4.34).

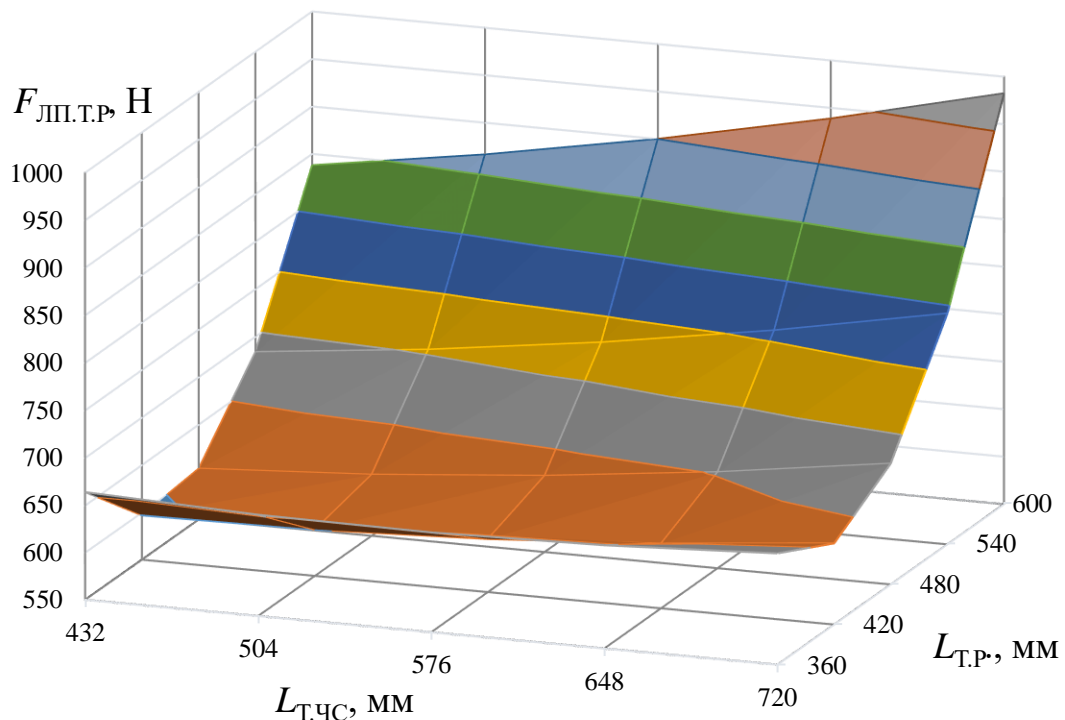


Рис. 4.29. Поверхня відгуку активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.ТР}} = f(L_{\text{Т.СТР}}, L_{\text{Т.РУК}})$: $b_{\text{КОВ}} = 100$ мм, $h_{\text{СТР}} = 20$ мм

Зміна довжини верхньої частини стріли $L_{\text{Т.СТР}}$ призводить до зростання активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.ТР}}$ на $0.62 \dots 17.23\%$, при мінімальному та максимальному радіусах телескопічної рукояті, відповідно, і носить лінійний характер (рис. 4.29, 4.30, 4.31). Аналогічно з дотичною складовою опору ґрунту копанню P_{01} пояснюється тим, що модель ТРО ОГЕ не є абсолютно жорсткою та зі зростанням вильоту ТРО збільшуються важелі перекидання машини, тобто зменшується коефіцієнт стійкості.

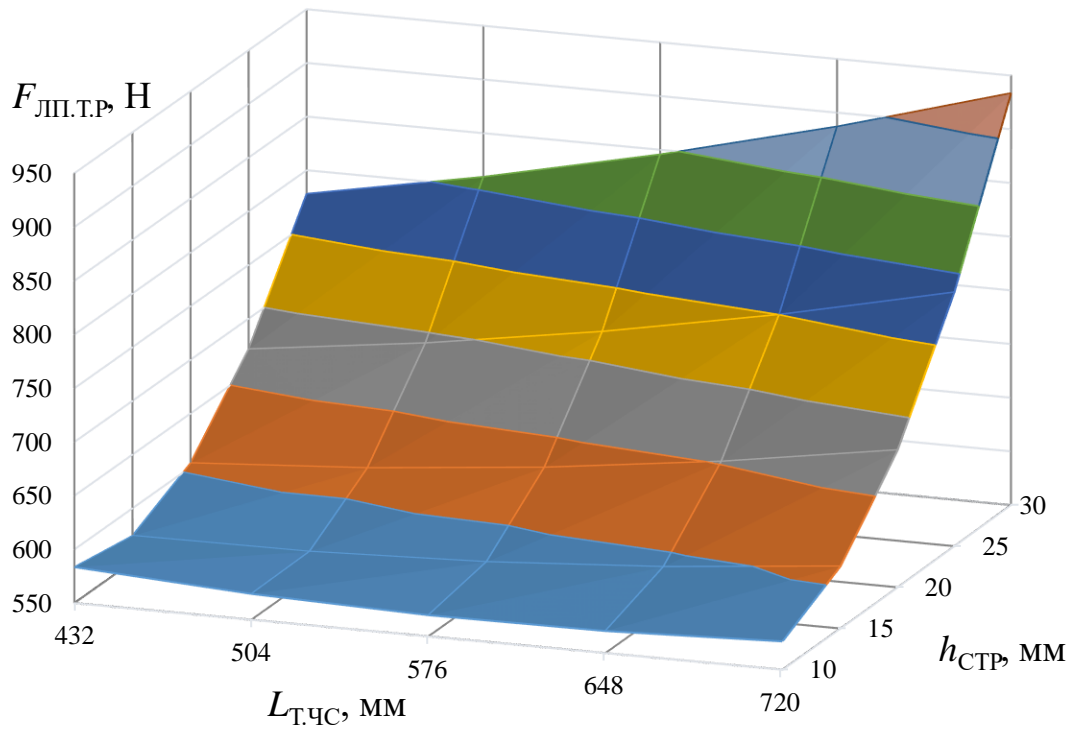


Рис. 4.30. Поверхня відгуку активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}} = f(L_{\text{Т.ЧС}}, h_{\text{СТР}})$: $L_{\text{Т.Р}} = 480$ мм, $b_{\text{К}} = 100$ мм

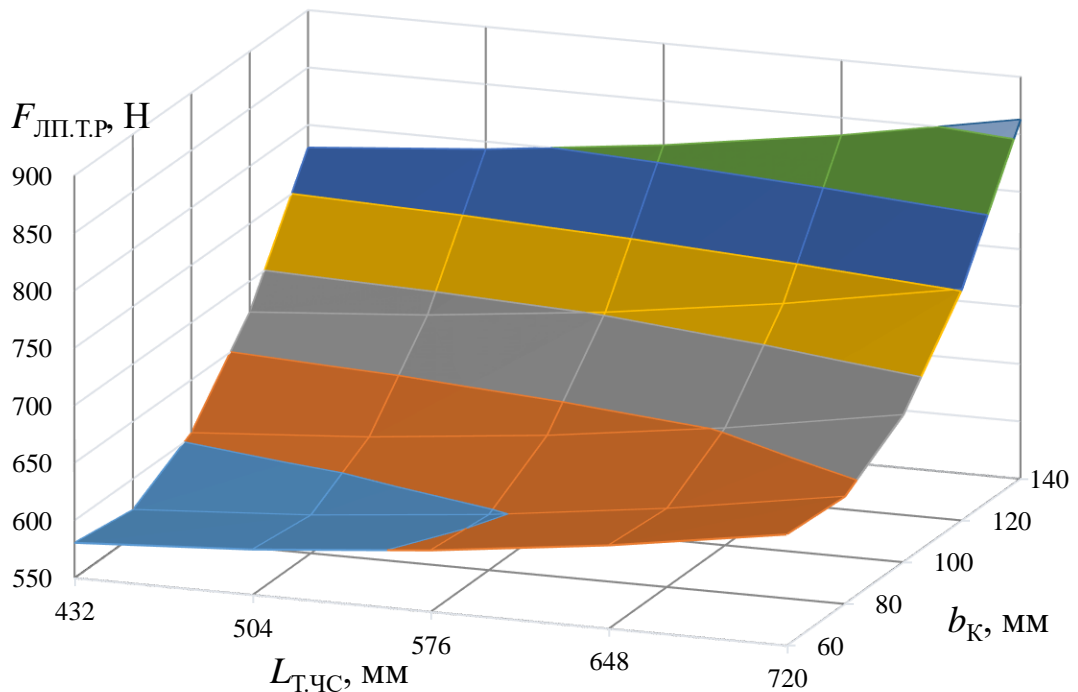


Рис. 4.31. Поверхня відгуку активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}} = f(L_{\text{Т.ЧС}}, b_{\text{К}})$: $L_{\text{Т.Р}} = 480$ мм, $h_{\text{СТР}} = 20$ мм

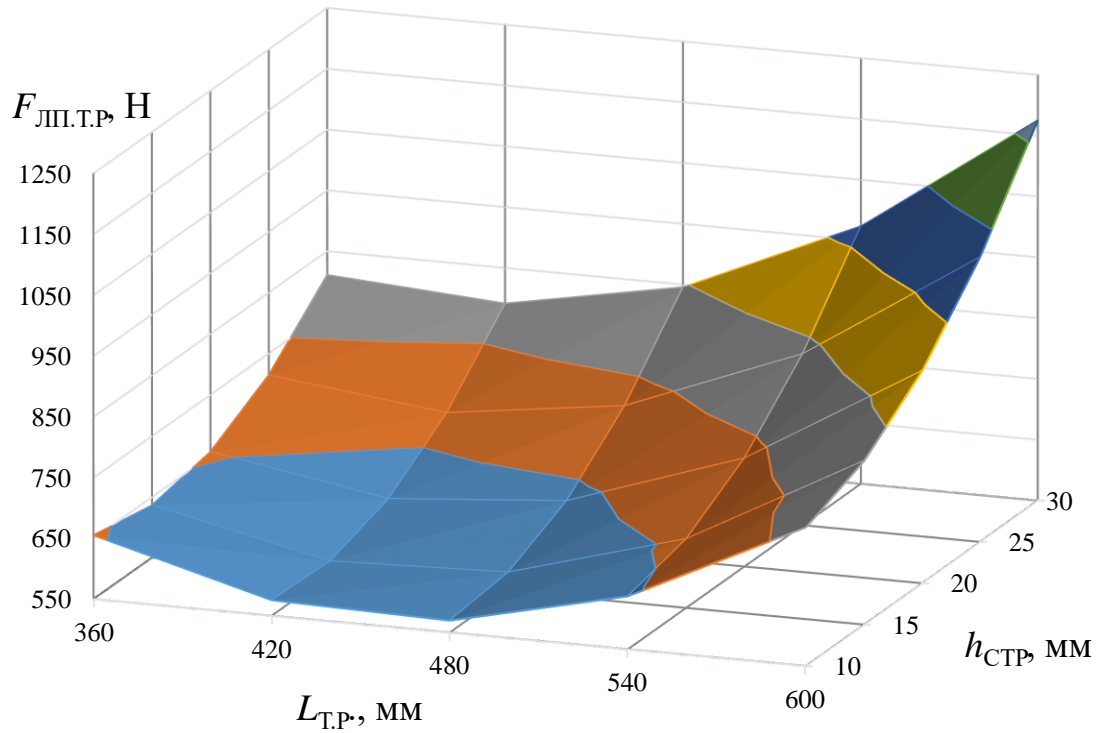


Рис. 4.32. Поверхня відгуку активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}} = f(L_{\text{Т.Р}}, h_{\text{СТР}})$: $L_{\text{Т.ЧС}} = 576$ мм, $b_{\text{К}} = 100$ мм

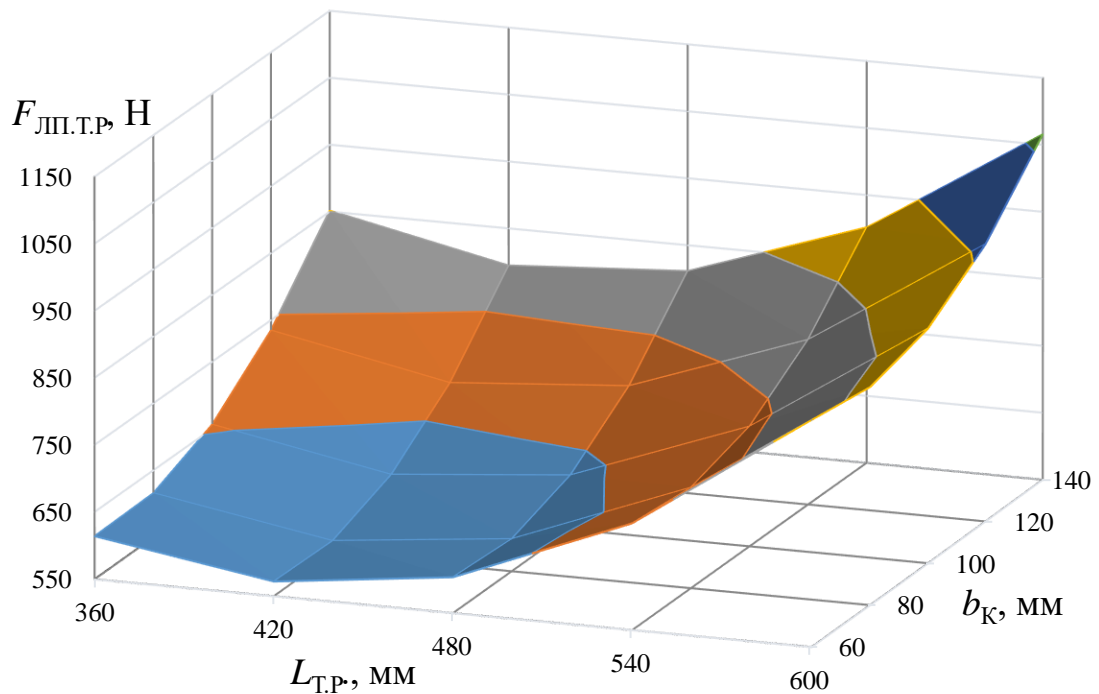


Рис. 4.33. Поверхня відгуку активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}} = f(L_{\text{Т.Р}}, b_{\text{К}})$: $L_{\text{Т.ЧС}} = 576$ мм, $h_{\text{СТР}} = 20$ мм

Зміна довжини рукояті $L_{Т.РУК}$ призводить до стрімкого зростання опору копанню ґрунту на 22.65...31.52% і носить параболічний характер (рис. 4.29, 4.32, 4.33). Аналогічно з дотичною складовою опору ґрунту копанню P_{01} , спостерігається незначне зростання активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{ЛП.Т.Р}$ при збільшенні довжини з $L_{Т.Р}=0.36 \rightarrow 0.42 \wedge 0.48$ в межах 4.99...2.61%.

Товщина зрізаної стружки $h_{СТР}$ та ширина ріжучої кромки ковша b_K має найбільший вплив на зростання активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{ЛП.Т.Р}$ – 56.6% та 43.77%, відповідно (рис. 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34).

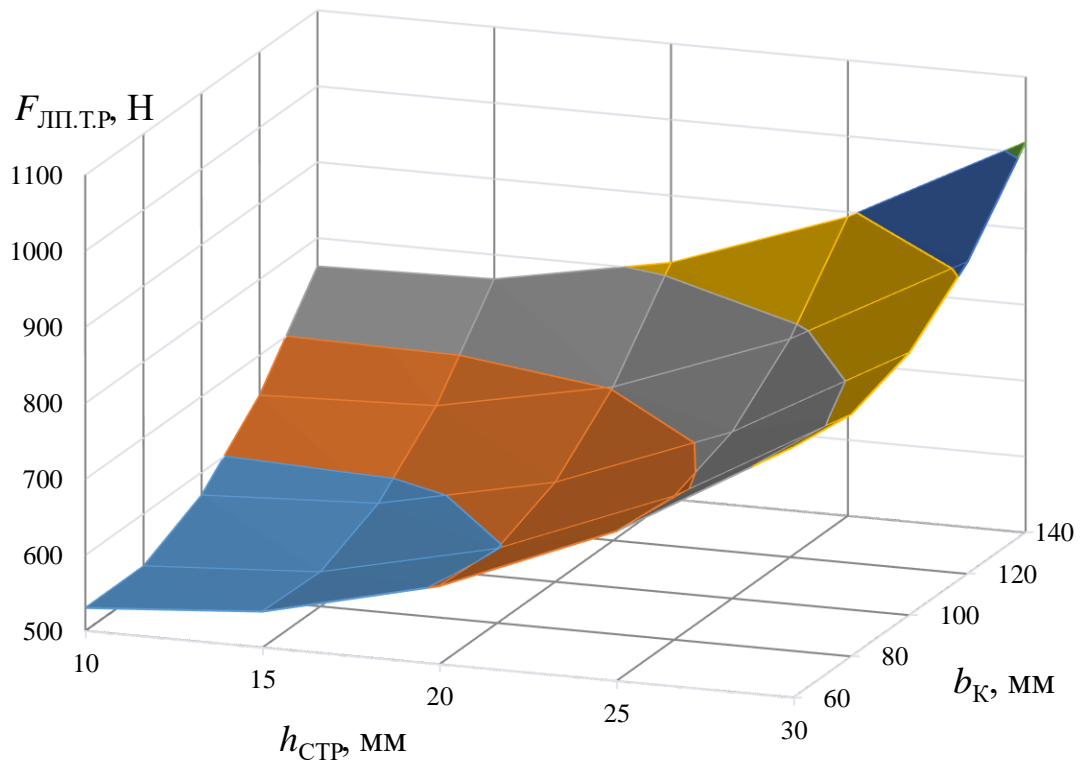


Рис. 4.34. Поверхня відгуку активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{ЛП.Т.Р} = f(b_K, h_{СТР})$: $L_{Т.ЧС} = 576$ мм, $L_{Т.Р} = 480$ мм

Встановлено характер зміни маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР}$ від довжини верхньої частини стріли $L_{Т.СТР}$, довжини рукояті $L_{Т.РУК}$, ширини ріжучої кромки ковша $b_{КОВ}$ та товщини зрізаної стружки $h_{СТР}$ (рис. 4.35 – 4.40).

Збільшення траєкторії копання ґрунту за рахунок збільшення лінійних параметрів ТРО дозволяє отримати максимальне наповнення ковшів. При

цьому, спостерігається екстремуми функцій $m_{ГР} = f(L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р}, b_{К}, h_{СТР})$, наявність яких пояснюється максимальною реалізацією запасу зусилля лінійного приводу телескопічної рукояті у поєднанні зі збільшенням шляхом розробки ґрунту (рис. 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39).

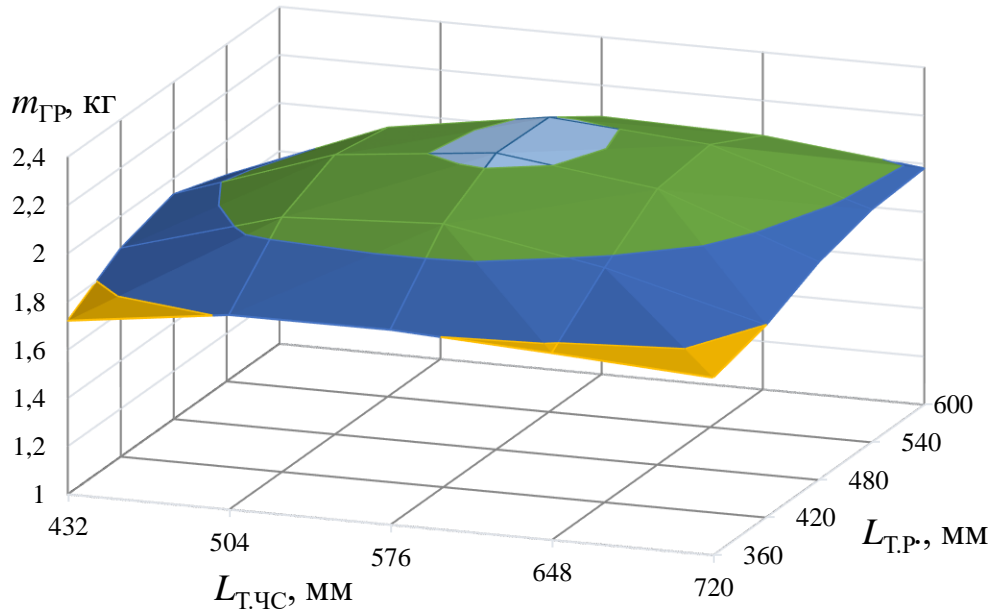


Рис. 4.35. Поверхня відгуку маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(L_{Т.ЧС}, L_{Т.Р})$: $b_{К} = 100$ мм, $h_{СТР} = 20$ мм

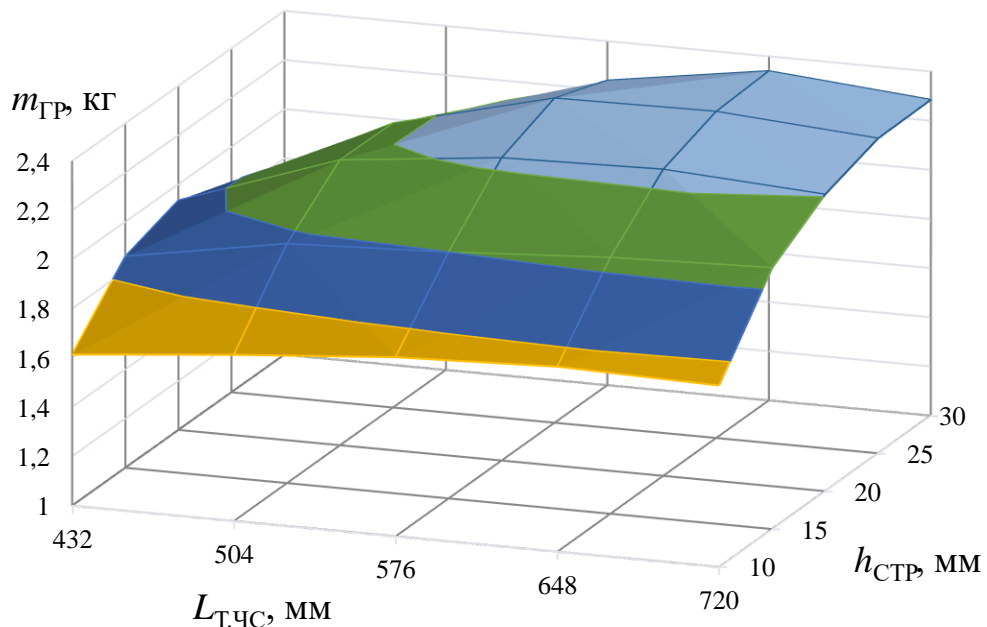


Рис. 4.36. Поверхня відгуку маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(L_{Т.ЧС}, h_{СТР})$: $b_{К} = 100$ мм, $L_{Т.Р} = 480$ мм

При розробці ґрунту з товщиною вирізаної стружки $h_{СТР} = 25$ мм досягається максимальне наповнення ковша (рис.4.36, 4.38, 4.40), це

пояснюється тим, що розробка ґрунту ведеться на докритичних значеннях активних зусиль ТРО.

Схожа тенденція простежується і при збільшенні ширини ріжучої кромки ковша, де після $b_K = 120$ мм спостерігається зменшення зростання маси розробленого ґрунту $m_{ГР}$.

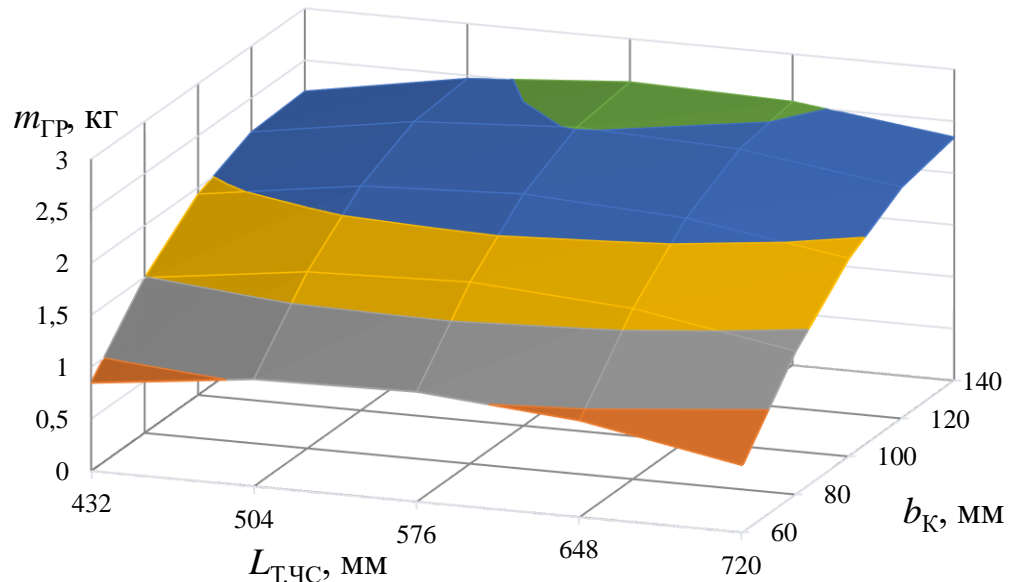


Рис. 4.37. Поверхня відгуку маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(L_{Т,ЧС}, b_K)$: $L_{Т,Р} = 480$ мм, $h_{СТР} = 20$ мм

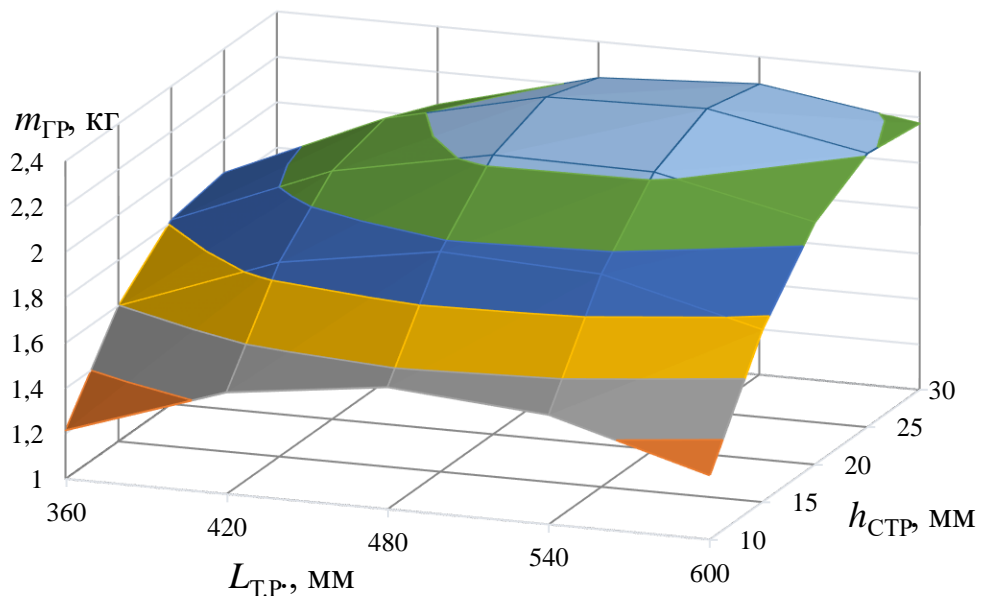


Рис. 4.38. Поверхня відгуку маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(L_{Т,Р}, h_{СТР})$: $L_{Т,ЧС} = 576$ мм, $b_K = 100$ мм

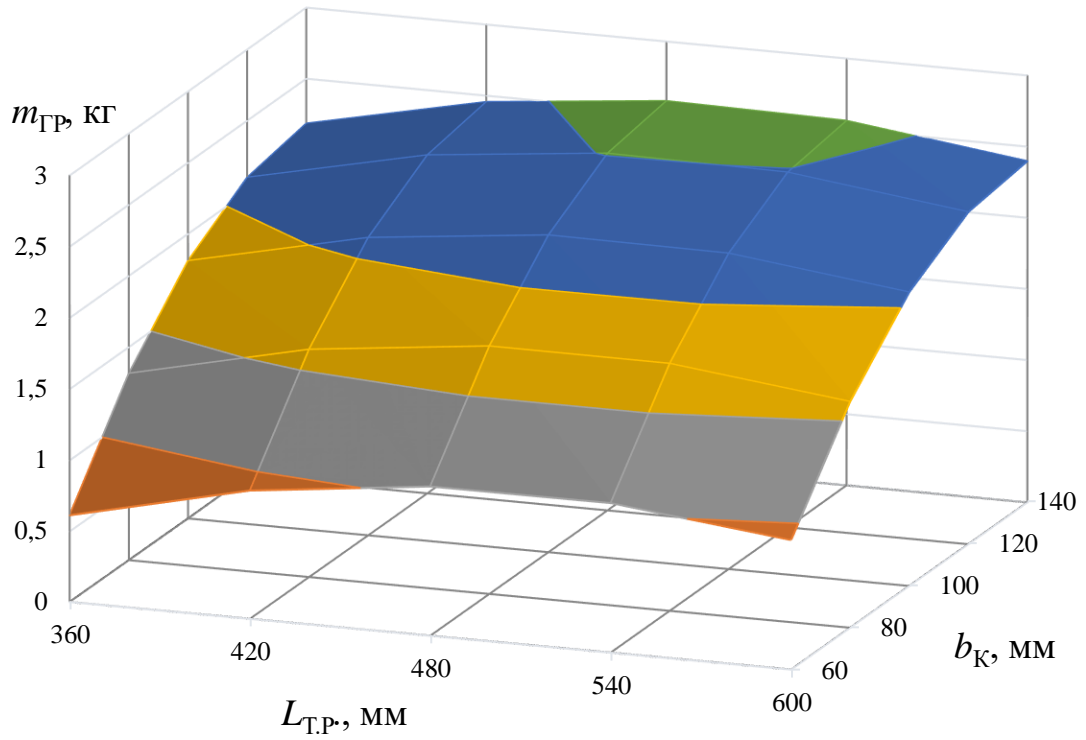


Рис. 4.39. Поверхня відгуку маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(L_{Т,Р}, b_{К})$: $L_{Т,ЧС} = 576$ мм, $h_{СТР} = 20$ мм

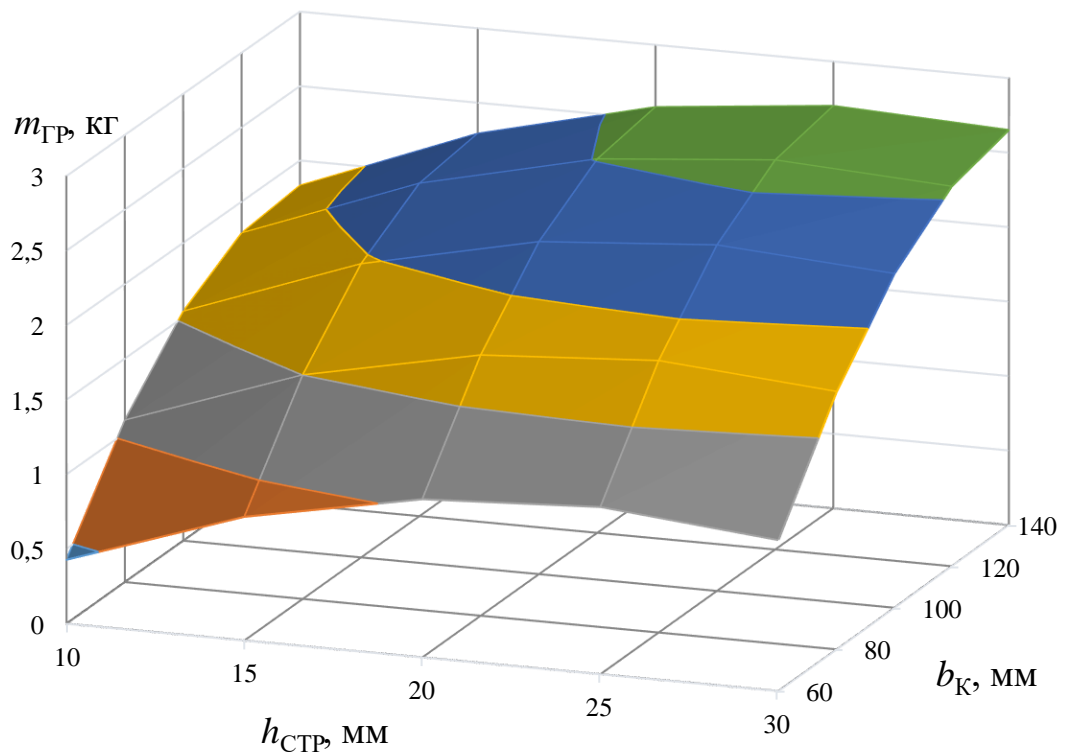


Рис. 4.40. Поверхня відгуку маси розробленого ґрунту в ківші $m_{ГР} = f(b_{К}, h_{СТР})$: $L_{Т,ЧС} = 576$ мм, $L_{Т,Р} = 480$ мм

4.3. Вибір і призначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ

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

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

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

Визначення раціональних конструктивних параметрів ТРО ОГЕ базується на результатах виконаних теоретичних та експериментальних досліджень [55, 62, 63, 64, 65, 67, 91, 99, 100].

Конструктивна схема ковша із зазначенням основних розмірів наведена на рис. 4.41.

Для визначення раціональних параметрів приймаємо ОГЕ фірми *Hitachi* – *ZX 290LC* з шарнірно-зчленованою конструкцією стріли (технічні характеристики представлені в таблиці 4.1), який оснащений ТРО зі структурною схемою $(A_n B_k E_w) = A_2 \times B_2 \times \{E_e\}$. Параметри гідромеханізмів – плечі прикладання сил до виконавчих ланок лишаються незмінними.

Формули для визначення параметрів ТРО ОГЕ та відповідні параметри традиційного РО наведені у таблиці 4.3.

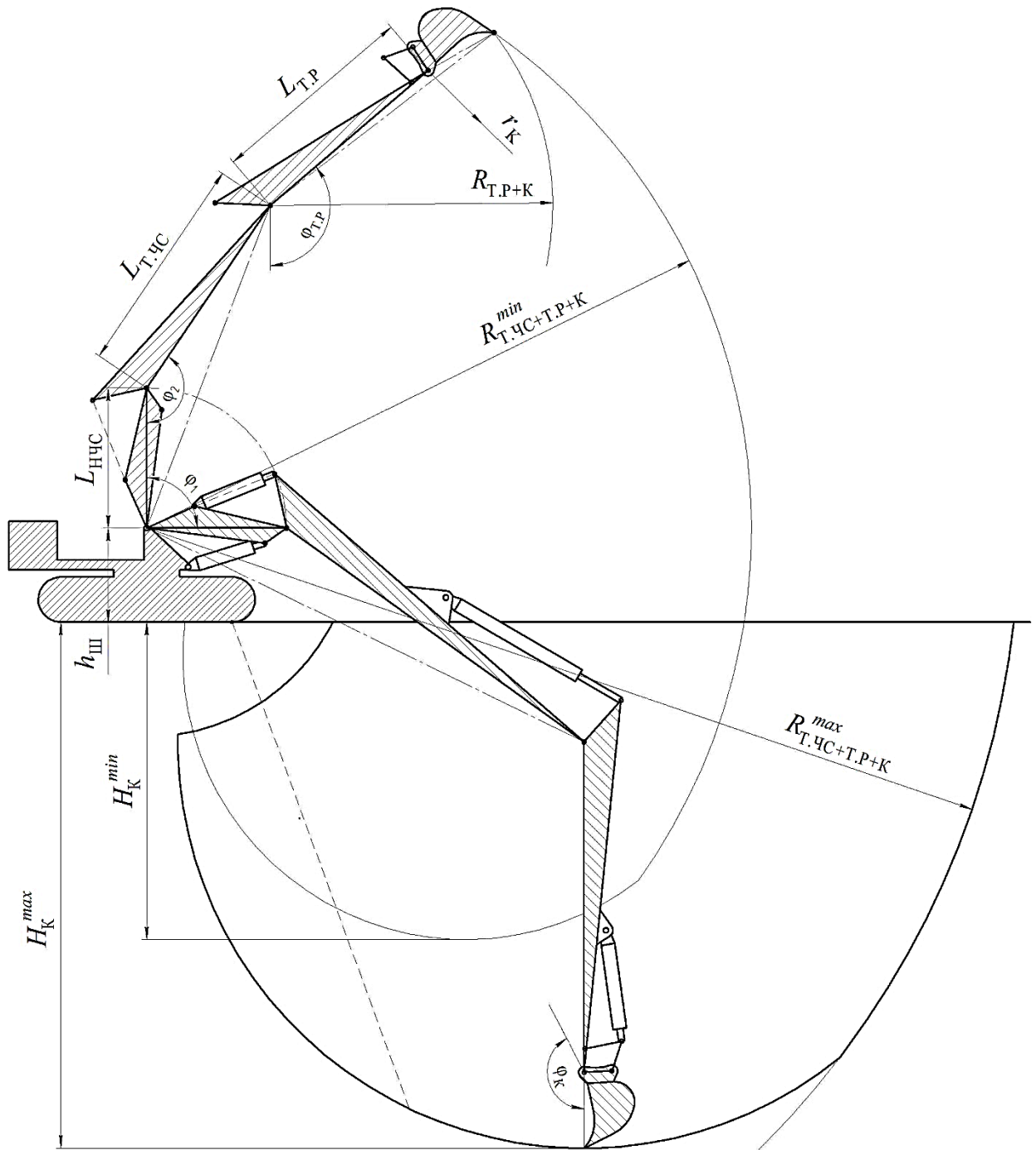


Рис. 4.41. Схема для визначення раціональних параметрів ТРО ОГЕ

Рекомендовані параметри підтвержені експериментальними дослідженнями та забезпечують отримання максимального ефекту:

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

Технічні характеристики ОГЕ з ТРО

Параметр	Роз- мірн.	Ум. поз.	Формула	Примітки
Довжина нижньої частини стріли	м	$L_{\text{НЧ}}^{\text{С}}$	$L_{\text{НЧС}} = L_{\text{НЧС}}^{\text{ТР}}$	
Довжина телескопічної частини стріли: - при втягнутих ТС; - при одній виштовхнутій ТС; - при двох виштовхнутих ТС	м м м	$L_{\text{Т.ЧС}_0}$ $L_{\text{Т.ЧС}_1}$ $L_{\text{Т.ЧС}_2}$	$L_{\text{Т.ЧС}_0} = (1.06 \dots 1.22)l_{\text{Р}}^{\text{ТР}}$ $L_{\text{Т.ЧС}_1} = (1.38 \dots 1.41)l_{\text{Р}}^{\text{ТР}}$ $L_{\text{Т.ЧС}_2} = (1.7 \dots 1.76)l_{\text{Р}}^{\text{ТР}}$	$l_{\text{Р}}^{\text{ТР}} = 1.35G^{\frac{1}{3}}$, де G – експлуатаційна маса ОГЕ, т
Довжина телескопічної рукояті: - при втягнутих ТС; - при одній виштовхнутій ТС; - при двох виштовхнутих ТС	м м м	$L_{\text{Т.Р}_0}$ $L_{\text{Т.Р}_1}$ $L_{\text{Т.Р}_2}$	$L_{\text{Т.Р}_0} = l_{\text{Р}}^{\text{ТР}}$ $L_{\text{Т.Р}_1} = (1.2 \dots 1.29)l_{\text{Р}}^{\text{ТР}}$ $L_{\text{Т.Р}_2} = (1.53 \dots 1.58)l_{\text{Р}}^{\text{ТР}}$	
Радіус копання поворотом телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ківшом	м	$R_{\text{К}}$	$[R_{\text{К}_{\min}}, R_{\text{К}_{\max}}] = \{(3.1 \dots 4.1)G^{\frac{1}{3}} \leq R_{\text{К}} \leq (5.8 \dots 6.2)G^{\frac{1}{3}}\}$	
Глибина копання телескопічної стріли разом з телескопічною рукояттю та ківшом	м	$H_{\text{К}}$	$[H_{\text{К}_{\min}}, H_{\text{К}_{\max}}] = \{(2 \dots 2.2)G^{\frac{1}{3}} \leq H_{\text{К}} \leq (3.9 \dots 4.2)G^{\frac{1}{3}}\}$	
Кути різання, загострення, та ін.	град.	$\alpha_i^{\text{ТРО}}$	$\alpha_i^{\text{ТРО}} = \alpha_i^{\text{ТР}}$	
Кути повороту стріли, рукояті, ковша, та ін.	град.	$\varphi_i^{\text{ТРО}}$	$\varphi_i^{\text{ТРО}} = \varphi_i^{\text{ТР}}$	

При виконанні земляних робіт ТРО для забезпечення максимального ефекту по запропонованим показникам оцінки ефективності та забезпечення максимальної продуктивності слід обирати технологічні схеми з

виштовхуванням ТС стріли та втягнутими ТС рукояті. Подібні структури забезпечують максимальні робочу зону та об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення, при збереженні традиційних плеч прикладання зусиль.

Розрахунку очікуваного економічного ефекту при впровадженні у виробництво ТРО ОГЕ виконані за допомогою прикладної програми «*Effect-m*» на прикладі будівництва земляної споруди, розглянутої у п. 4.1, та представлені у додатку А. Очікуваний економічний ефект складає 380565.09 грн.

4.4. Конструктивні пропозиції автора по створенню ТРО ОГЕ

За конструктивними пропозиціями автора отримані патенти на корисну модель ТРО ОГЕ, опис яких надано у додатку Б:

1. «Робоче обладнання одноківшевого екскаватора» №75318 (рис. 4.42) [101];

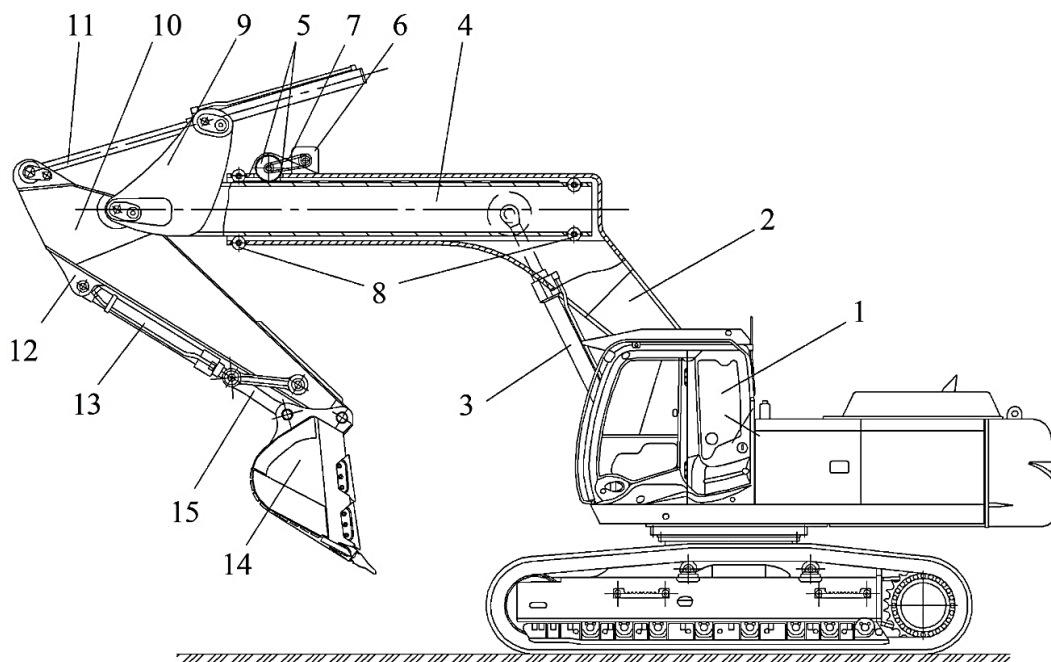


Рис. 4.42. Конструктивна пропозиція патент на корисну модель №75318: 1 – базовий трактор; 2 – телескопічна стріла; 3, 11, 13 – гідроциліндри; 4 – ТС стріли; 5 – зубчасто-рейковий механізм; 6 – гідромотор; 7 – клинопасова передача; 8 – роликові опорні елементи; 9 – кронштейн; 10 – рукояті; 11 – гідроциліндр; 12 – кронштейн; 14 – ківш; 15 – чотириланковий механізм

2. «Робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю» № 101091 (рис. 4.43) [102];

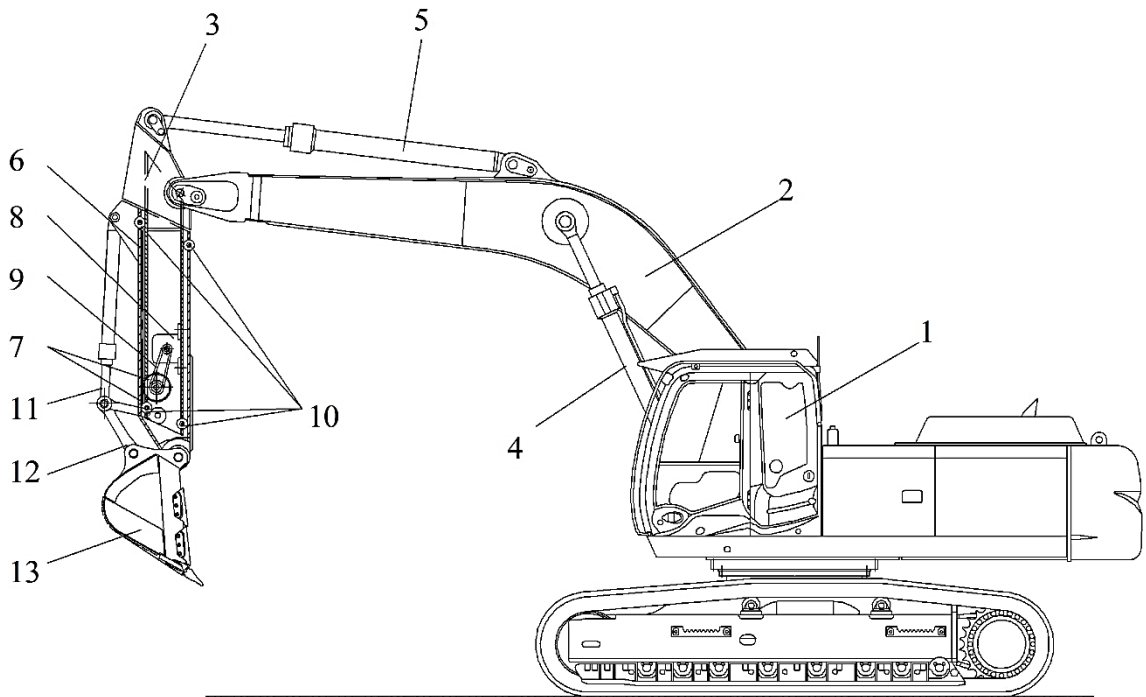


Рис. 4.43. Конструктивна пропозиція патент на корисну модель №101091: 1 – базовий трактор; 2 – стріла; 3 – основна секція телескопічної рукояті; 4, 5, 11 – гідроциліндри; 6 – ТС рукояті; 7 – зубчато-рейковий механізм; 8 – гідромотор; 9 – клинопасова передача; 10 – роликові опорні елементи; 12 – чотириланковий механізм; 13 – ківш

3. «Телескопічне робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора з телескопічною рукояттю» № 70686 (рис. 4.44) [103];

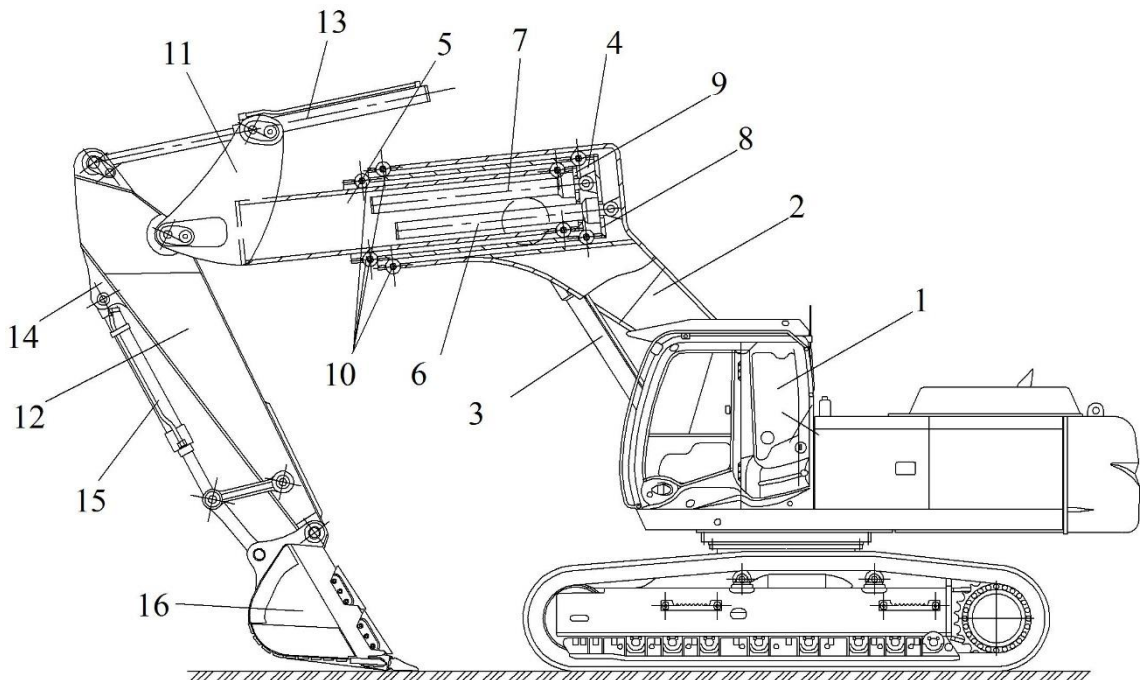
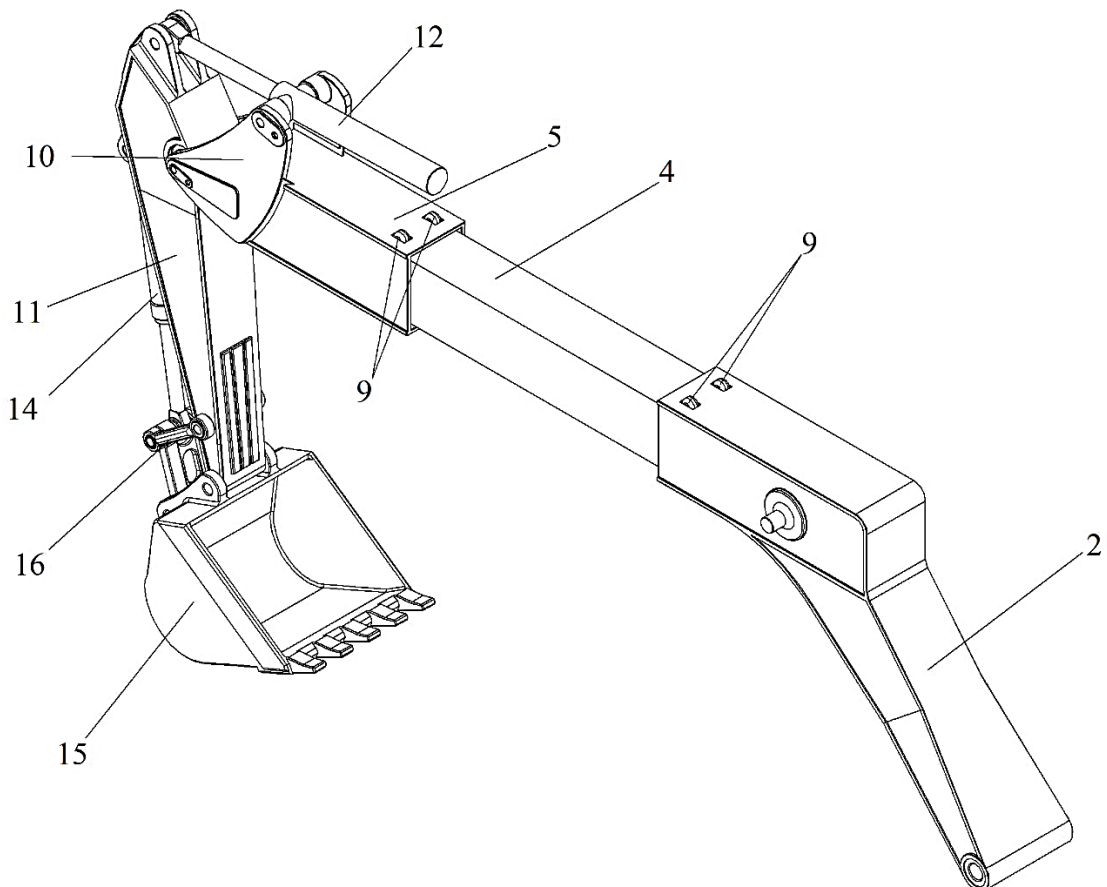
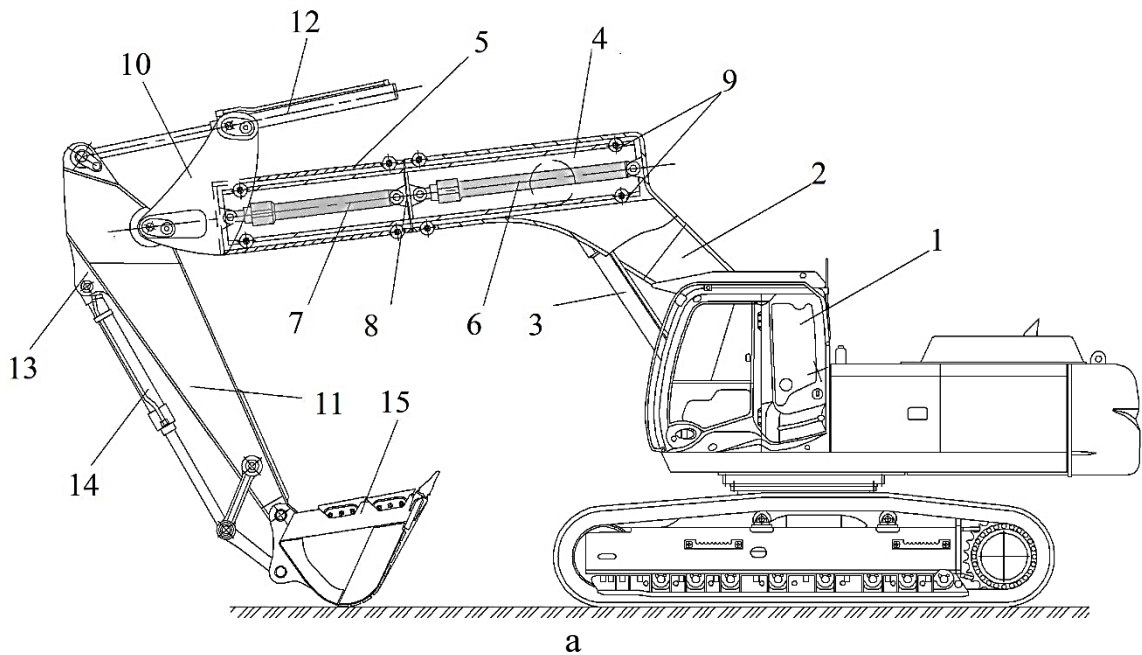


Рис. 4.44. Конструктивна пропозиція патент на корисну модель №70686: 1 – базовий трактор; 2 – стріла; 3, 6, 7, 13, 15 – гідроциліндри; 4, 5 – ТС; 8, 9 – торцеві перегородки; 10 – роликові опорні елементи; 12 – рукоять; 14 – кронштейн; 16 – ківш

4. «Робоче обладнання гідралічного екскаватора» № 70683 (рис. 4.45)

[104];



б

Рис. 4.45. Конструктивна пропозиція патент на корисну модель №70683: а – загальний вигляд; б – аксонометрична проекція; 1 – базовий трактор; 2 – телескопічна стріла; 3, 6, 7, 12, 14, – гідроциліндри; 4, 5 – ТС; 8 – торцеві перегородки; 9 – роликові опорні елементи; 10, 13 – кронштейни; 11 – рукоять; 15 – ківш

5. «Стенд для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами» № 103649 (рис. 4.46) [91].

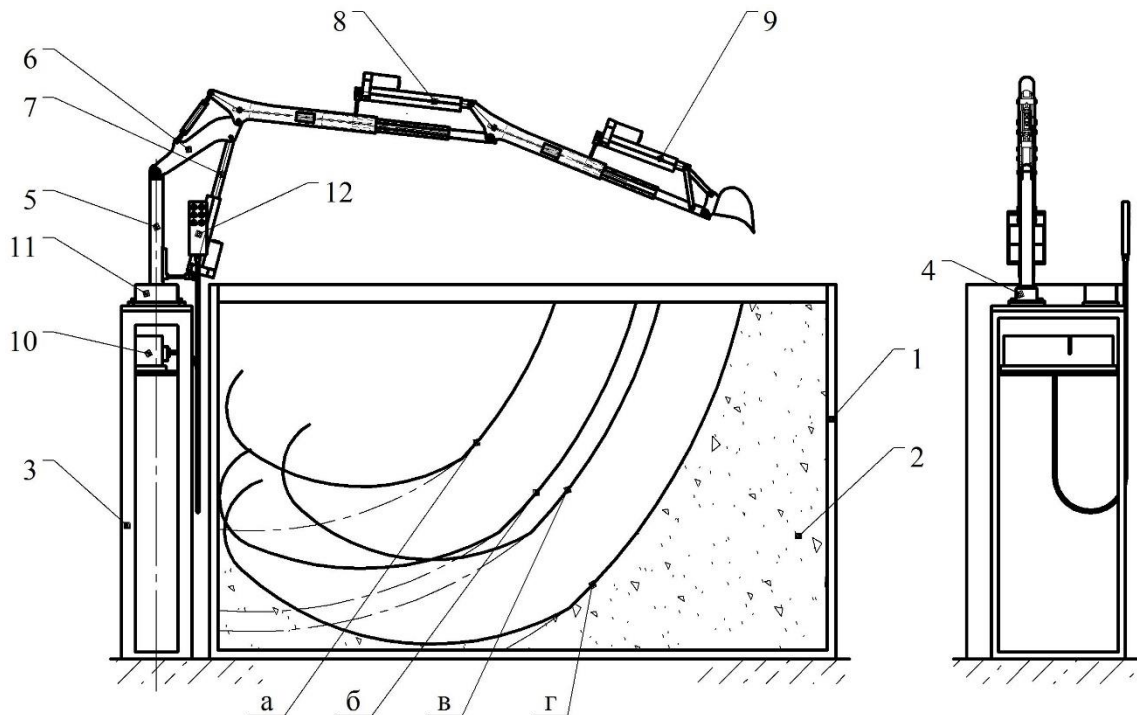


Рис. 4.46. Конструктивна пропозиція патент на корисну модель №103649: а, б, в, г – траєкторії копання; 1 – ґрунтовий контейнер; 2 – модельований ґрунт; 3 – рама; 4 – поворотний механізм; 5 – поворотна колонка; 6 – модель ТРО ОГЕ; 7, 8, 9 – лінійні приводи; 10 – блок живлення; 11 – вимірювальна апаратура; 12 – пульт керування

Висновки по розділу 4

1. Аналіз теоретичних залежностей дозволив визначити оптимальні межі застосування ТРО ОГЕ для:

- глибини копання $H_{\text{КОП}} = \{5\text{м} \leq H_{\text{К}} \leq 9\text{м}\}$ та ширини проходки $B_{\text{ОПТ}} = \{2,8\text{м} \leq B \leq 15\text{м}\}$ для цього діапазону глибин при забезпеченні максимальної експлуатаційної продуктивності $P_{e,i}$ на i -му виді робіт;

- питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки B – $N_{\text{ПТОПТ}} = \{1.815 \leq N_{\text{ПТ}} \leq 1.9\}, (\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}})$;

- питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}}$ – $N_{\text{ПТОПТ}} = \{1.817 \leq N_{\text{ПТ}} \leq 1.9\}, (\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}})$;

- питомої енергоємності $N_{\text{ПТ}}$ в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки $B - N_{\text{ПТопт}} = \{1.851 \leq N_{\text{ПТ}} \leq 2\}, \left(\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}}\right)$;

- питомої матеріалоємності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки $B - G_{\text{ПТопт}} = \{3.715 \leq G_{\text{ПТ}} \leq 3.8\}, \left(\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{год}}\right)$;

- питомої матеріалоємності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}} - G_{\text{ПТопт}} = \{3.717 \leq G_{\text{ПТ}} \leq 3.8\}, \left(\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{год}}\right)$;

- питомої матеріалоємності $G_{\text{ПТ}}$ в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки $B - G_{\text{ПТопт}} = \{4.832 \leq G_{\text{ПТ}} \leq 4.5\}, \left(\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{год}}\right)$;

- узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності Π_{NG} в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та ширини проходки $B - \Pi_{\text{NGопт}} = \{6.747 \leq \Pi_{\text{NG}} \leq 7.5\}, \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{(\text{м}^3/\text{год})^2}\right)$;

- узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності Π_{NG} в залежності від довжини проходки $L_{\text{КОП}}$ та глибини копання $H_{\text{К}} - \Pi_{\text{NGопт}} = \{6.756 \leq \Pi_{\text{NG}} \leq 7.5\}, \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{(\text{м}^3/\text{год})^2}\right)$;

- узагальненого показника енергоємності та матеріалоємності Π_{NG} в залежності від глибини копання та $H_{\text{К}}$ ширини проходки $B - \Pi_{\text{NGопт}} = \{7.01 \leq \Pi_{\text{NG}} \leq 11\}, \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{(\text{м}^3/\text{год})^2}\right)$.

2. Багатофакторні експериментальні дослідження проведені з використанням рототабельного центрального композиційного плану другого порядку дозволили отримати регресійні залежності дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} , активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}}$ та маси розробленого ґрунту в ківші $m_{\text{ГР}}$ при розробці ґрунту фізичною моделлю ТРО ОГЕ.

3. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями силових та енергетичних параметрів робочого процесу розробки ґрунту ТРО ОГЕ не перевищує $6.8 \div 16.3\%$;

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

- довжина нижньої частини стріли; довжина телескопічної частини стріли; довжина телескопічної рукояті (таблиця 4.3); радіус та глибина копання; технологічні та конструктивні кути;

- визначені типорозміри ковшів для усіх можливих варіацій висування втягування ТС ТРО ОГЕ (таблиця 4.2).

Результати досліджень, що викладені у четвертому розділі дисертації опубліковані у наукових виданнях та представлені у загальному списку літератури [55, 62, 63, 64, 65, 67, 87, 88, 89, 90, 99, 100, 101, 102, 103, 104].

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИСНОВКИ

Узагальнюючи результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень, можна зробити наступні 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 ТРО, 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 залежність зміни експлуатаційної продуктивності від об'єму розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення в якому враховується вплив зміни геометричних параметрів у зв'язку із застосуванням ТРО ОГЕ, розрахунки по оцінці ефективності проводились з використанням програми для персонального комп'ютера *Microsoft EXEL*.

4. Вперше отримано математичні моделі для інтегральних розрахунків теоретичного об'єму копання ґрунту $V_{\text{тех.0}}$ ТРО ОГЕ, як в періоді одного переміщення (піонерного забою), так і забоїв при подальшому копанні ґрунту $V_{\text{тех.i}}$, 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 персонального комп'ютера *MathCAD* та *Microsoft EXEL*.

5. Вперше отримано математичні моделі для визначення зусиль та оптимальної товщини вирізаної стружки при копанні ТРО ОГЕ, дозволяють знаходити оптимальну товщину 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 персонального комп'ютера *STATGRAPHICS Centurion XVI* регресійні залежності дотичної складової опору ґрунту копанню P_{01} , активного зусилля на лінійному приводі телескопічної рукояті $F_{\text{ЛП.Т.Р}}$ та маси розробленого ґрунту в ківші $m_{\text{ГР}}$ при розробці ґрунту фізичною моделлю ТРО ОГЕ з розбіжністю між теоретичними та експериментальними значеннями силових та енергетичних параметрів робочого процесу розробки ґрунту ТРО ОГЕ не перевищує $6.8 \div 16.3\%$;

7. Вперше визначені раціональні межі основних геометричних параметрів ТРО від головного параметра ОГЕ, 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 ОГЕ.

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 ОГЕ, при застосуванні *Hitachi ZX 290* обладнаного ТРО у порівнянні з основними моделями ОГЕ 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Стратегію сталого розвитку "Україна - 2020". [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал «Верховна Рада України». Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5/2015#n10>
2. Чукурна О. П. Стратегічні напрямки розвитку машинобудування в контексті економічних реформ в Україні [Електронний ресурс] / О. П. Чукурна // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2013. – № 3 (8). – С. 36-42. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n3.html>
3. Современные тенденции в создании строительных машин / Е. В.Оскерко // Строительные и дорожные машины. – М.: ооо «СДМ-Пресс», 2005. – №7 – С.10 – 13.
4. Raczon F. Caterpillar: Modern Earthmoving Marvels / Raczon F., Haddock K. – USA: Motorbooks, 2015. – 224 p.
5. Haddock K. Modern Earthmoving Machines: Bulldozers, wheel loaders, bucket wheels, scrapers, graders, excavators, off-road haulers, and walking draglines / Haddock K. – USA: Enthusiast Books, 2011. – 128 p.
6. New Holland Multifunction E215b E245b [Рекламна брошура] // New Holland Kobelco. – 2009. – С. 8. Published by New Holland Kobelco Construction machinery S.p.A. - www.newholland.com - Italy - Leader Firenze - Cod. 30 460GB - Stampato 03/09
7. Пат. 15470 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання екскаватора / Хмара Л. А., Соколов І. А., Серко А. О.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Соколов І. А., Серко А. О.; ДВНЗ ПДАБА. - №u200508651 заявл. 12.09.2005; опубл. 17.07.2006, Бюл. №7, 2006 р.
8. Пат. 12574 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання екскаватора / Хмара Л. А., Соколов І. А., Деримедведь Д. В.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Соколов І. А., Деримедведь Д. В.; ДВНЗ ПДАБА. - №u200507887 заявл. 08.08.2005; опубл. 15.02.2006, Бюл. №2, 2006 р.
9. Super long front E215bLC, E265bLC version J [Рекламна брошура] // New Holland Kobelco. – 2007. – С. 2. Published by New Holland Kobelco Construction

machinery S.p.A. - www.newholland.com - Italy - Leader Firenze - Cod. 73301 439GB - Printed 12/07.

10. Specifications ZX210LC / ZX210LCN type H15LD Super Long Front [Электронний ресурс] // Hitachi Construction Machinery. – KA-EN144EUP 2013. – С. 36. – Режим доступа до брошури:

<http://www.hcme.com/content/download/7555/80402/file/KA-EN097EU.pdf>.

11. Specifications SUPER LONG FRONT Komatsu [Электронний ресурс] // Komatsu America. – AD05(Electronic View Only) 05/2012. – С. 12. – Режим доступа до брошури:

<http://www.komatsuamerica.com/equipment/excavators/70001-60000lbs/pc390lc-10slf#productBrochure>

12. Komatsu PC 210 LCi [Электронний ресурс] // Komatsu Europe International NV. – UENSS16700 10/2014 – С. 24. – Режим доступа до брошури: http://teikom.com/pdf/34-PC210LCi-10_UENSS16700_1410.pdf

13. CAT Long rich excavator 336D, 385C [Электронний ресурс] // Рекламна брошура. – 2008. – С. 12. – Режим доступа до брошури:

<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C436283>

14. New Holland E385, E345 Demolition [Рекламна брошура] // New Holland Kobelco. – 2007. – С. 2. Published by New Holland Kobelco Construction machinery S.p.A. - www.newholland.com - Italy - Leader Firenze - Cod. 73301 224GB - Printed 04/2006.

15. Баловнев В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара - М.: Транспорт, 1993. – 383 с.

16. Беркман И.Л. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы / И.Л. Беркман, А.В. Раннев, А.К. Рейш. - М., Машиностроение, 1977 г. – 384 с.

17. Машини для земляних робіт: підручник / Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М .П., Нікітін В. Г, Дерев'янчук М. І., Супонев В. М., Під ред. Хмари Л. А., Кравця С .В. - Харків: ХНАДУ, 2014. - 548 с.

18. Модели экскаваторов-погрузчиков 3СХ и 4СХ [Рекламна брошура] // JCB Sales Limited. – 9999/5064R 04/2010 – №6. – С. 12.

19. Clamshell Telescopic Arm [Электронный ресурс] // Hitachi Construction Machinery. – КА-EN072 2009– С. 4. – Режим доступа до брошури:
<http://www.dominga.lt/hitachi/download.php?id=16>

20. Смоляницкий Э. А. Гидравлические экскаваторы. Часть первая. Определение параметров / Э. А. Смоляницкий, Н. В. Мокин– Новосибирск.: Стройиздат, 1990, 281с.

21. Пат. 65783 Україна, МПК E02F 3/38. Екскаваторне робоче обладнання телескопічного типу / Хмара Л. А., Сухий С. Б., Соколов І. А.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Сухий С. Б., Соколов І. А.; ДВНЗ ПДАБА. - №u2003054646 заявл. 22.05.2003; опубл. 15.04.2004, Бюл. №4.

22. Пат. 43969 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Коваленко Р. В., Соколов І. А., Уріх Є. Й.; E02F 3/28. Робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Коваленко Р. В., Соколов І. А., Уріх Є. Й.; ДВНЗ ПДАБА. - №u2000074444 заявл. 24.07.2000; опубл. 15.01.2002, Бюл. №1, 2002р.

23. Product range PM [Рекламна брошура] // San Cesario sul Panaro: PM Group. – 2007. – №1 – С. 113

24. The Liebherr Working Tools [Електронний ресурс] // Liebherr-Hydraulikbagger GmbH. – LFR-10330341-3-03.10– С. 44. – Режим доступа до брошури:
http://www.alfis.lv/files/lh-alfis/pdf/BP_Anbauwerkz_enGB_10-03_8659-0.pdf

25. Домбровский Н. Г. Землеройные машины / Домбровский Н. Г., Панкратов С. А. – М.: Госстройиздат, 1961. – 661 с.

26. Башкиров В. А. Методические указания по выбору оптимальных параметров стрелоподъемных механизмов / Башкиров В. А., Церлюк М. Д., Рустамович А. В. – М.: ВНИИСтройдормаш, 1984. – 16 с. – (Нормативный руководящий документ РД2201-18-84).

27. Тимошенко В. К. Расчет рациональных параметров стрелоподъемного механизма гидравлического экскаватора / Тимошенко В. К. // Строительные и дорожные машины, 1986. – №3. – С. 20 – 26.

28. Тимошенко В. К. Землеройные и землеройно-транспортные машины (основы теории расчетов и сборник задач). [Учебное пособие для студентов по специальности 15.04 «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование»] / Тимошенко В. К., Хмара Л. А. – Днепропетровск: ДИСИ, 1990. – 238 с.

29. Тимошенко В. К. Методические указания к выполнению курсового проекта «Одноковшовые гидравлические экскаваторы» по дисциплине «Машины для земляных работ» для студентов механических специальностей / Тимошенко В. К., Хмара Л.А., Деревянчук М. И., Кулик И. А. – Днепропетровск: ДИСИ, 1989. – 64 с.

30. Кулик И. А. Исследование и определение рациональных параметров захватно-рыхлительного рабочего органа гидравлического экскаватора: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Кулик Игорь Анатольевич. – Днепропетровск, 1992. – 192 с.

31. Тимошенко В. К. Расчет механизмов с приводом от качающегося гидроцилиндра / Тимошенко В. К. // Строительные и дорожные машины, 1988. – №3. – С.24 – 26.

32. Воробьев Е. И. Механика промышленных роботов: Кинематика и динамика: [Учеб. пособие для вузов: В 3 кн. / Под ред. Фролова К. В., Воробьева Е. И. Кн. 1] / Воробьев Е. И., Попов С. А., Шевелева Г. И. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.

33. Овакимов А. Г. Аналогии скоростей и ускорений пространственных механизмов с несколькими степенями свободы / Овакимов А. Г. // Машиноведение, 1969. – №6. – С. 12-15.

34. Овакимов А. Г. Аналитический метод определения скоростей и ускорений пространственных механизмов с несколькими степенями свободы / Овакимов А. Г. // Механика машин, 1971. – Вып. 35 – 36. – С. 45 – 62.

35. Игнатъев М. Б. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. / Игнатъев М. Б., Кулаков Ф. М., Покровский А. М. – Л.: Машиностроение, 1972. – 248 с.
36. Абезгауз В. Д. Режущие органы машин фрезерного типа для разработки горных пород грунтов. / Абезгауз В. Д. – М.: Машиностроение, 1965. – 280 с.
37. Айзеншток И. Я. К построению физической теории резания грунтов / Айзеншток И. Я. // Резание грунтов. – М.: АН СССР, 1951. – С. 76 – 103.
38. Баловнев В. И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. / Баловнев В. И., Хмара Л. А. – М.: Транспорт, 1983. – 184 с.
39. Разрушение прочных грунтов / [Ветров Ю. А., Баладинский В. Л., Баранников В. Ф., Кукса В. Н.]. – К.: Будівельник, 1973. – 350 с.
40. Горячкин В. П. Собрание сочинений: в 3 т.: [АН СССР] / Горячкин В. П. – М.: Колос, 1968. – Т. 2: О силе тяги тракторных плугов. – 455 с.
41. Далин А.Д. Лабораторные исследования землеройных машин / Далин А. Д. // Механизация строительства. – 1948. – № 2. – с. 6-9.
42. Домбровский Н. Г. Строительные машины. Ч. 1. / Домбровский Н. Г., Картевелишвили Ю. Л., Гальперин М. И. – М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.
43. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Изд. 2-е перераб. и доп. / Зеленин А. Н. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
44. Кравець С. В. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій / Кравець С. В. – Рівне: Видавництво РДТУ, 1999. – 277 с.
45. Нічке В. В. Робочі процеси землерійно-транспортних машин і їх інтенсифікація: Учбов. посіб. / Нічке В. В., Антонов М. А., Єрмакова О. А. – Харків: УСДО, 1995. – 152 с.

46. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Федоров Д. И. – М.: Машиностроение, 1991. – 290 с.
47. Баловнев В. И. Автоматизированное проектирование рабочих органов дорожно-строительных машин / Баловнев В. И., Павлов С. И. – М.: МАДИ, 1979. – 73 с.
48. Новиков А. Н. Синтез новых технических решений дорожно-строительных машин и оборудования. [Методические указания] / Новиков А. Н. – М.: МАДИ, 1981. – 32 с.
49. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. Пер. с польск. / Дитрих Я. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
50. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика). Пер. с англ. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
51. Хмара Л. А. Телескопічне робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О., Ліснічук А. Є. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2011. – Вып. 63 – С. 155 – 164.
52. 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.
53. Хмара Л. А. Тенденции развития рабочего оборудования гидравлических экскаваторов с изменяемыми геометрическими параметрами / 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 / под общ. ред. Минина В. В. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 343 – 356.
54. Хмара Л. А. Огляд тенденцій розвитку гідравлічних екскаваторів оснащених робочим обладнанням зі змінними геометричними параметрами / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение.

Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016 – Вып. 88 – С. 26 – 37.

55. Хмара Л. А. Формування та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О.О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2011. – Вып. 63 – С. 142 – 154.

56. 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.

57. Хмара Л. А. Теоретичні основи формування телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О., Романовський О. Л. // Вісник НУВГтП. – Рівне: НУВГтП, 2015. – №2 (70). – С. 331 – 341.

58. Хмара Л. А. Формування телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора як задача дискретної оптимізації / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. – Вып. 88 – С. 38 – 49.

59. 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 / под общ. ред. Минина В. В. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 330 – 343.

60. Божко А. Н. Структурный синтез как задача дискретной оптимизации [Электронный ресурс] / Божко А. Н. // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование», 2010. – №9. – Режим доступа до журн.: http://technomag.bmstu.ru/file/504602.html?_s=1

61. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. / Ветров Ю. А. – М.: Машиностроение, 1971. – 360 с.
62. Хмара Л. А. Телескопічне робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту / Хмара Л. А., Дахно О.О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – Вып. 66 – С. 29 – 37.
63. Хмара Л. А. Телескопічне робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора та оцінка його ефективності / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолНТУ, 2013. – №1 (36)., т. 1. – С. 64 – 73.
64. 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. 44 – 50.
65. Беляков Ю. И. Земляные работы [2-е изд., перераб. и доп.] // Беляков Ю. И., Левинзон А. Л., Галимуллин В. А. – М.: Стройиздат, 1990. – 271 с.
66. Хмара Л. А. Визначення продуктивності та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2013. – Вып. 72 – С. 109 – 121.
67. Хмара Л. А. Оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора та визначення продуктивності / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета [Текст]: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т; [редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – Вып. 65-66. – С. 263 – 272.

68. Зеленин А. Н. Машины для земляных работ [Учебн. пособие для вузов]. / Зеленин А. Н., Баловнев В. И., Керов И. П. – М.: Машиностроение, 1975. – 432 с.

69. Баловнев В. И. Строительные роботы и манипуляторы / Баловнев В. И., Хмара Л. А., Станевский В. П., Немировский П. И. – К.: Будивэльник, 1991. – 136 с.

70. Хмара Л. А. Теоретичні основи копання ґрунту одноківшевим 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. – Режим доступу: URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/47398>.

71. Хмара Л. А. Теоретичні основи копання ґрунту одноківшевим екскаватором з телескопічним робочим обладнанням / Хмара Л. А., Дахно О. О., Косяк О. В. // Вісник НУВГТП. – Рівне: НУВГТП, 2015. – №2 (70). – С. 308 – 324.

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

73. Garbotz G. Untersuchungen über das Kraftspiel an Flachbagger-Schneidwerkzungen in Mittelsand und schwach bindigen, sandigem Schluff unter besonderer Berücksichtigung der Planierschilde und ebenen Schröfkubelschneiden / Garbotz G., Dress G., – In Buch: Forschung – sberichte des Wirtschafts – und Verkehrsministeriums – ums Nordrhein – Westfalen Nr 430, Köln und Opladen, 1958.

74. Kühn G. Der gleislose Endban / G. Kühn – Berlin Göttingen – Heidelberg, Springer-Vorlag, 1956 – 375 p.

75. Maxfield B. Engineering with Mathcad: Using Mathcad to Create and Organize your Engineering Calculations / Maxfield B. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. – 512 p.

76. Daniel J. I. A MathCAD Manual for Engineering Mechanics: Statics - Computational Edition / Daniel J. I. – Cengage Learning, 2007. – 162 p.

77. 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.

78. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учебн. пособие для студентов высших учебных заведений. 2-е изд., перераб. / Баловнев В. И. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.

79. Баловнев В. И. Физическое моделирование резания грунтов / Баловнев В. И. – М.: Высшая школа, 1969. – 159 с.

80. Баловнев В. И. Применение математической теории планирования эксперимента при исследовании дорожных машин / Баловнев В. И., Завадский Ю. В., Мануйлов В. Ю. – М.: МАДИ, 1985. – 104 с.

81. Веников В. А. Теория подобия и моделирование / Веников В. А., Веников Т. В. – М.: Высшая школа, 1984. – 216 с.

82. Голубченко А. И. Определение рациональных параметров быстрозахватываемого отвального рабочего органа к челюстному ковшу гидравлического экскаватора: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Голубченко Александр Иванович. – Днепропетровск, 1990. – 317 с.

83. ГОСТ 5181-78. Грунты. Метод лабораторного определения удельного веса. Переиздат. Январь, 1979

84. ГОСТ 12248-78. Грунты. Методы лабораторного определения сопротивления срезу

85. ГОСТ 5179-78. Метод лабораторного определения влажности

86. Зенков Р. Л. Механика насыпных грунтов / Зенков Р. Л. – М.: Машиностроение, 1964. – 250 с.

87. Хмара Л. А. Дослідження процесу копання ґрунту телескопічним робочим обладнанням одноківшевого екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2014. – Вып. 79 – С. 79 – 94.

88. Хмара Л. А. Моделирование процесса копання ґрунту телескопічним робочим обладнанням одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукраїнський зб. наук. пр. – К.: КНУБА, 2014. – Вып. 84. – С. 11 – 23.

89. 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.

90. Хмара Л. А. Дослідження процесу копання ґрунту телескопічним робочим обладнанням одноківшевого гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О., Косяк О. В. // Вісник НУВГтП. – Рівне: НУВГтП, 2015. – №2 (70). – С. 364 – 381.

91. Пат. 103649 Україна, МПК E02F 3/28, E02F 3/36. Стенд для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами / Хмара Л. А., Дахно О. О.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Дахно О. О.; ДВНЗ ПДАБА. - №u201506019 заявл. 18.06.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. №24.

92. ГОСТ 26980-95. Экскаваторы одноковшовые. Общие технические условия. Приложение Б.

93. Скокан А. И. Планирование экспериментальных исследований в дорожном и строительном машиностроении / Скокан А. И., Грифф М. И., Каран Е. Д. – М.: ЦНИИТстроймаш, 1974. – 75 с.

94. Завадский Ю. В. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта / Завадский Ю. В. – М.: Транспорт, 1978. – 154 с.

95. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / Тихомиров В. Б. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

96. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

97. Кроль Р. М. Підвищення ефективності бульдозера оснащенням відвала шнековим інтенсифікатором: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Кроль Роман Миколайович. – Днепропетровск, 2013. – 265 с.

98. Зеленин А. Н. Лабораторный практикум по резанию грунтов. [Учебное пособие для студентов инженерно-строительных и автомобильно-дорожных вузов] / Зеленин А. Н., Карасев Г. Н., Красильников Л. В. – М.: Высшая школа, 1969. – 310 с.

99. Хмара Л. А. Оцінка ефективності одноківшевого екскаватора оснащеного телескопічним робочим обладнанням / Хмара Л. А., Дахно О. О. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2016. – Вып. 88 – С. 59 – 71.

100. Хмара Л. А. Экспериментальные исследование на физических моделях процесса копания грунта телескопическим рабочим оборудованием одноковшового экскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О. // 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 / под общ. ред. Минина В. В. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 21 – 34.

101. Пат. 75318 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання одноківшевого екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Дахно О. О.; ДВНЗ ПДАБА. - №u201206268 заявл. 24.05.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. №22.

102. Пат. 101091 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю / Хмара Л. А.,

Дахно О. О.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Дахно О. О.; ДВНЗ ПДАБА. - №u201502143 заявл. 11.03.2015; опубл. 25.08.2015, Бюл. №16.

103. Пат. 70686 Україна, МПК E02F 3/28. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О., Бутенко О. А.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Дахно О. О., Бутенко О. А.; ДВНЗ ПДАБА. - №u201113399 заявл. 14.11.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. №12.

104. Пат. 70683 Україна, МПК E02F 3/28. Робоче обладнання гідравлічного екскаватора / Хмара Л. А., Дахно О. О., Бутенко О. А.; Заявник та патентовласник Хмара Л. А., Дахно О. О., Бутенко О. А.; ДВНЗ ПДАБА. - №u201113328 заявл. 14.11.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. №12.

ДОДАТКИ

Додаток А	Результат розрахунку очікуваного річного економічного ефекту в прикладній програмі «EFFECT-M».....	182
Додаток Б	Опис до патентів на корисні моделі по телескопічному робочому обладнанню одноківшевого гідравлічного екскаватора	183
Додаток В	Довідки про впровадження та використання результатів дисертаційної роботи.....	214

ЭФФЕКТ – 'М'

Дахно Олег Александрович

10.05.2016

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

ТЕХНИКА	БАЗОВАЯ	НОВАЯ
ДОЛЯ ОТЧИСЛЕНИЙ ОТ БАЛАНСОВОЙ СТОИМОСТИ НА РЕНОВАЦИЮ	= 0.2	0.2
ЦЕНА ТЕХНИКИ, грн	= 1259000	1510000
МАСА ТЕХНИКИ, т	= 28.5	29.4
ГОДОВАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	= 81024	124236,8
СРОК СЛУЖБЫ ТЕХНИКИ	= 8	8
НОРМА АМОРТИЗАЦИОННЫХ ОТЧИСЛЕНИЙ	= 0.05	0.05
КОЛИЧЕСТВО ОТРАБОТАННЫХ В ГОД ЧАСОВ	= 3275	3275
ЦЕНА ТОПЛИВА, грн	= 22	22
НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ДВС, кВт	= 140	140
УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА	= 238	238
УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	= 0	0
ТАРИФ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ	= 0	0
МЕЖРЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ	= 6000	6000
СРЕДНЯЯ ТАРИФНАЯ СТАВКА РАБОЧИХ ПО РЕМОНТУ МАШИН	= 24.02	24.02
КОЛИЧЕСТВО ТР ЗА МЕЖРЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ	= 5	5
КОЛИЧЕСТВО ТО-3 ЗА МЕЖРЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ	= 0	0
КОЛИЧЕСТВО ТО-2 ЗА МЕЖРЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ	= 18	18
КОЛИЧЕСТВО ТО-1 ЗА МЕЖРЕМОНТНЫЙ ЦИКЛ	= 72	72
ТРУДОЕМКОСТЬ ТР	= 450	450
ТРУДОЕМКОСТЬ ТО-3	= 0	0
ТРУДОЕМКОСТЬ ТО-2	= 20	20
ТРУДОЕМКОСТЬ ТО-1	= 6	6
ОПТОВАЯ ЦЕНА ШИНЫ	= 0	0
КОЛИЧЕСТВО ШИН (БЕЗ ЗАПАСНЫХ)	= 0	0
СРОК СЛУЖБЫ ШИНЫ	= 0	0
ЕМКОСТЬ ГИДРОСИСТЕМЫ	= 110	110
КОЭФФИЦИЕНТ ДОЛИВА МАСЛА В ГИДРОСИСТЕМУ	= 0.5	0.5
ПЕРИОДИЧНОСТЬ СМЕНЫ МАСЛА В ГИДРОСИСТЕМЕ	= 960	960
ТАРИФ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ	= 25	25
ЧАСОВАЯ ТАРИФНАЯ СТАВКА ВСЕГО ЭКИПАЖА МАШИНЫ	= 25.61	25.61
ОБЪЕМНАЯ МАССА МАСЛА ДЛЯ ГИДРОСИСТЕМЫ	= 0.865	0.865
ОПТОВАЯ ЦЕНА МАСЛА ДЛЯ ГИДРОСИСТЕМЫ	= 48	48

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ТЕХНИКА	БАЗОВАЯ	НОВАЯ
ЕДИНОВРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ	= 712.5	735
АМОРТИЗАЦИОННЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ НА КАП. РЕМОНТ	= 69937.45	83880.5
ЗАРОБОТНАЯ ПЛАТА РАБОЧИМ УПРАВЛЯЮЩИМ МАШИНОЙ	= 136293.2	136293.2
ЧАСОВОЙ РАСХОД ТОПЛИВА	= 18.37	18.37
СТОИМОСТЬ ТОПЛИВА	= 1456559.94	1456559.94
ЗАТРАТЫ НА МАСЛО ДЛЯ ГИДРОСИСТЕМЫ	= 8569.44	8569.44
СТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	= 0	0
СТОИМОСТЬ ОБТИРОЧНЫХ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	= 436967.98	436967.98
ЗАТРАТЫ НА ЗАРАБОТНУЮ РЕМОНТНЫХ РАБОЧИХ	= 62218.11	62218.11
ЗАТРАТЫ НА МАТЕРИАЛЫ И ЗАП. ЧАСТИ	= 71072.23	71072.23
ЗАТРАТЫ НА ТО И ТР	= 133290.35	133290.35
СТОИМОСТЬ СМЕННОЙ ОСНАСТКИ	= 0	0
ТЕКУЩИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ	= 2171680.94	2171680.94
ГОДОВЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИЗДЕРЖКИ ПОТРЕБИТЕЛЯ	= 2242330.89	2256296.44

 ГОДОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ – 380565.09 ГРН



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **75318** (13) **U**
 (51) МПК
E02F 3/28 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

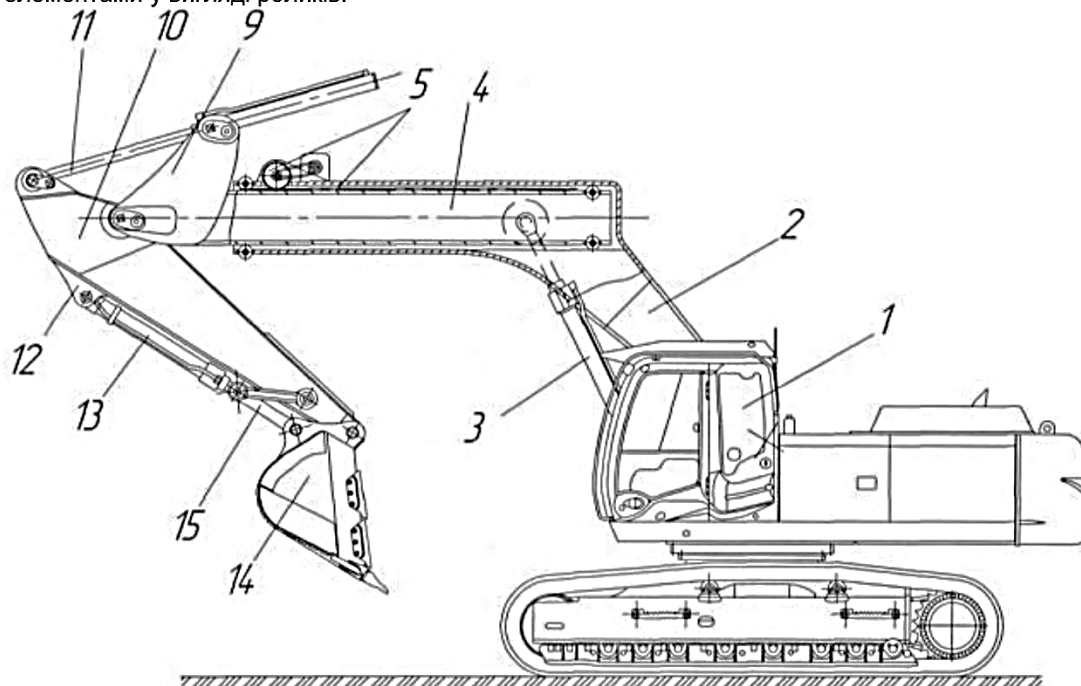
(21) Номер заявки: **u 2012 06268**
 (22) Дата подання заявки: **24.05.2012**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **26.11.2012**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **26.11.2012, Бюл.№ 22**

(72) Винахідник(и):
Хмара Леонід Андрійович (UA),
Дахно Олег Олександрович (UA)
 (73) Власник(и):
Хмара Леонід Андрійович,
 вул. Ливарна, 17, кв. 35, м.
 Дніпропетровськ, 49000 (UA),
Дахно Олег Олександрович,
 вул. Кабардинська, 8, кв. 3, м.
 Дніпропетровськ, 49006 (UA)

(54) РОБОЧЕ ОБЛАДНАННЯ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА

(57) Реферат:

Робоче обладнання одноківшевого екскаватора, що містить двосекційну телескопічну стрілу, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті та ковша, причому телескопічна секція стріли додатково обладнана механізмом її приводу, виконаним у вигляді зубчато-рейкового механізму з гідромотором та клинопасовою передачею, окрім цього, телескопічна секція має кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра її приводу, а також обладнана опорними елементами у вигляді роликів.



Фиг. 1

UA 75318 U

UA 75318 U

Корисна модель стосується будівельних машин, зокрема землерийних машин типу одноківшевих гідравлічних екскаваторів, і може бути використана при виконанні різних видів земляних робіт.

Відомо робоче обладнання одноківшевого екскаватора [1], до складу якого входить основна стріла, висувна стріла, ківш чи інший змінний робочий орган для земляних чи вантажопідійомних робіт, механізм висування-втягування та механізм підймання-опускання стріли.

Недоліком такого робочого обладнання є складність конструкції, наявність великих згинаючих моментів, велика металоємкість та вага.

Найбільш близькою до запропонованої конструкції є робоче обладнання одноківшевого екскаватора [2], до складу якого входить телескопічна стріла, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті, ковша.

Недоліком такої конструкції робочого обладнання є обмежені функціональні можливості, мала глибина копання ґрунту.

Задача корисної моделі полягає у вдосконаленні телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора, в якому за рахунок наявності нових конструктивних елементів та особливостей поєднання з існуючими досягається значна зміна геометричних параметрів обладнання, що забезпечує розширення його функціональних можливостей, збільшення глибини копання.

Означена задача вирішується тим, що в робочому обладнанні одноківшевого екскаватора, що містить двосекційну телескопічну стрілу, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті та ковша, відповідно до корисної моделі, телескопічна секція стріли додатково обладнана механізмом її приводу, виконаним у вигляді зубчасто-рейкового механізму з гідромотором та клинопасовою передачею, окрім цього, телескопічна секція має кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра її приводу, а також обладнана опорними елементами у вигляді роликів.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 зображений загальний вигляд робочого обладнання одноківшевого екскаватора; на фіг. 2 - робоче обладнання одноківшевого екскаватора при втягнутому телескопі; на фіг. 3 - те ж саме при витягнутому телескопі стріли; на фіг. 4 - траєкторії копання робочим обладнанням гідравлічного екскаватора: а - при втягнутому телескопі стріли, б - при витягнутому телескопі стріли, H_{K1} , H_{K2} - глибини копання при втягнутому телескопі стріли та при витягнутому телескопі стріли, відповідно.

Робоче обладнання одноківшевого екскаватора (фіг. 1) змонтовано на базовому тракторі 1 і складається з телескопічної стріли 2, з механізмом її приводу, який являє собою гідроциліндри 3. Стріла 2 з боку відкритого кінця обладнана телескопічною секцією 4 та механізмом приводу 5, виконаним у вигляді зубчасто-рейкового механізму, який приводиться в дію гідромотором 6 через клинопасову передачу 7 (фіг. 2, 3). Стріла 2 та телескопічна секція 4 має опорні елементи 8 у вигляді роликів. Телескопічна секція 4 стріли 2 має кронштейн 9, на якому шарнірно закріплена рукоять 10 та гідроциліндр 11 приводу рукояті 10. Рукоять 10 має кронштейн 12 під встановлення гідроциліндра 13 приводу ковша 14, шток якого шарнірно закріплений на чотириланковому механізмі 15, з'єданого з ковшем 14 (фіг. 2, 3).

Робоче обладнання одноківшевого екскаватора працює таким чином (фіг. 4). Стріла 2, яка змонтована на базовому тракторі 1, за допомогою гідроциліндрів 3 встановлюється для розробки ґрунту на відповідній глибині. Копання ґрунту здійснюється поворотом ковша 14 від гідроциліндра 13 приводу ковша чи поворотом рукояті 10 від гідроциліндра 11 приводу рукояті, які шарнірно закріплені на кронштейні 9.

При необхідності виконання робіт зі збільшеним розміром робочого обладнання висовують телескопічну секцію 4 стріли 2 за допомогою зубчасто-рейкового механізму 5.

Виконання робочого обладнання одноківшевого екскаватора з двосекційною телескопічною стрілою та зубчасто-рейковим механізмом дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон виконуваних робіт.

Джерела інформації:

1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки ґрунтов в дорожном строительстве - М.: Транспорт, 1993. 118 с. (Аналог)

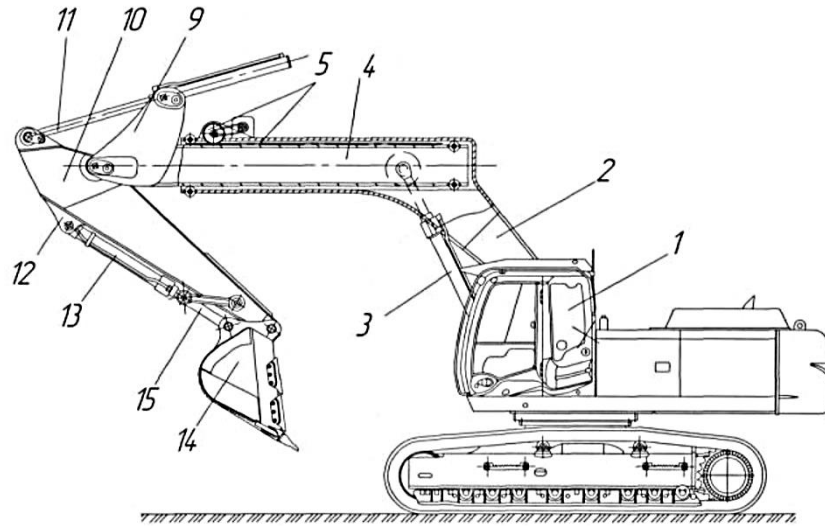
2. Патент Российской Федерации № 2014398, кл. E02F3/38, 1994. (Прототип)

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

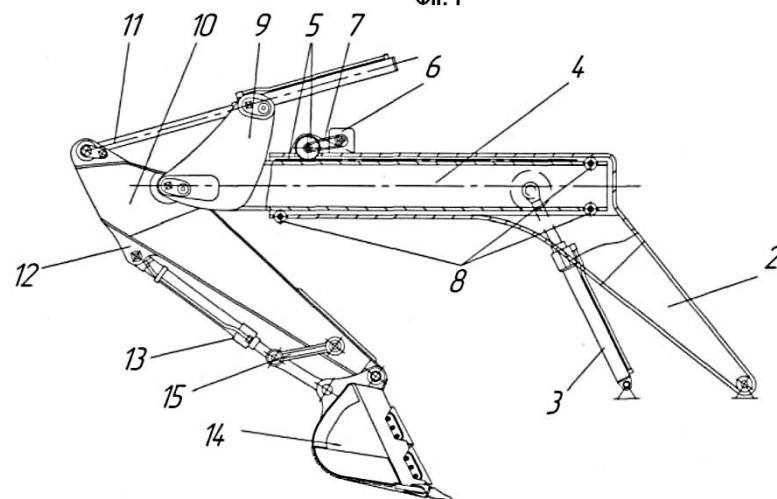
Робоче обладнання одноківшевого екскаватора, що містить двосекційну телескопічну стрілу, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті та ковша, яке відрізняється тим, що телескопічна секція стріли додатково обладнана механізмом її приводу, виконаним у вигляді

UA 75318 U

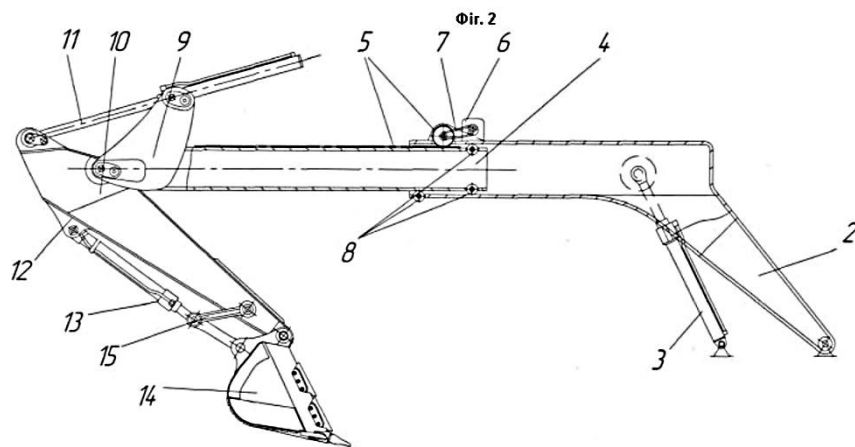
зубчасто-рейковий механізм з гідромотором та клинопасовою передачею, окрім цього, телескопічна секція має кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра її приводу, а також обладнана опорними елементами у вигляді роликів.



Фиг. 1

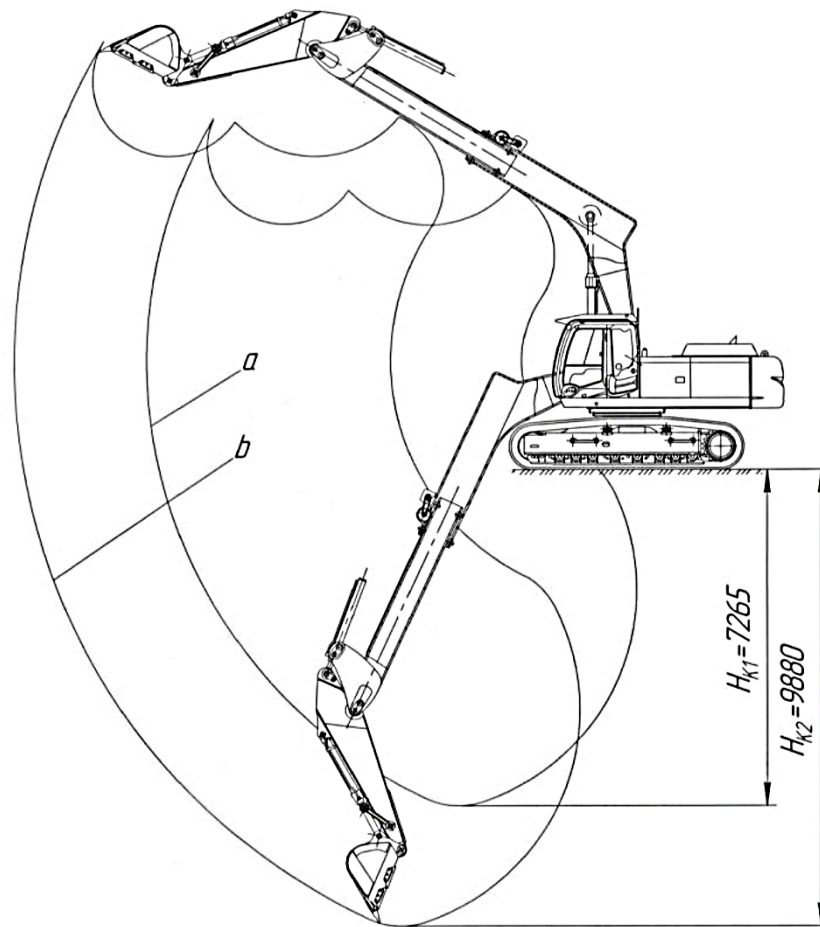


Фиг. 2



Фиг. 3

UA 75318 U



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101091** (13) **U**
 (51) МПК
E02F 3/28 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

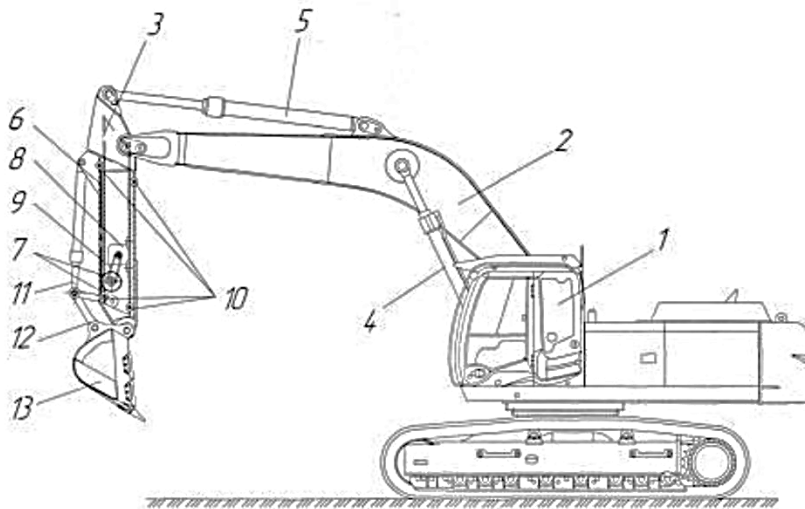
(21) Номер заявки: **u 2015 02143**
 (22) Дата подання заявки: **11.03.2015**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.08.2015**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.08.2015, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):
Хмара Леонід Андрійович (UA),
Дахно Олег Олександрович (UA)
 (73) Власник(и):
Хмара Леонід Андрійович,
 вул. Ливарна, 17, кв. 35, м.
 Дніпропетровськ, 49000 (UA),
Дахно Олег Олександрович,
 вул. Кабардинська, 8, кв. 3, м.
 Дніпропетровськ, 49006 (UA)

(54) РОБОЧЕ ОБЛАДНАННЯ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА З ТЕЛЕСКОПІЧНОЮ РУКОЯТТЮ

(57) Реферат:

Робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю, що містить стрілу, основну та телескопічну секції рукояті, ківш, гідроциліндри приводу стріли, основної секції телескопічної рукояті та ковша. Основна секція рукояті додатково обладнана механізмом приводу телескопічної секції, виконаним у вигляді зубчато-рейкового механізму з гідромотором та клинопасовою передачею. Основна та телескопічні секції рукояті обладнані роликівими опорними елементами.



Фіг. 1

UA 101091 U

Корисна модель належить до будівельних машин, зокрема землерийних машин типу одноківшевих гідравлічних екскаваторів і може бути використана при виконанні різних видів земляних робіт.

Відомо робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю [1, 2], до складу якого входить стріла, основна рукоять, висувна рукоять, ківш чи інший змінний робочий орган для земляних чи вантажопідійомних робіт, механізм висування-втягування рукояті та гідроциліндри приводу стріли, рукояті та ковша.

Недоліком такого робочого обладнання є складність конструкції, наявність великих згинаючих моментів, велика металоемкість та маса.

Найбільш близькою до запропонованої конструкції є робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю [3], до складу якого входить стріла, телескопічна рукоять, яка складається з двох секцій, ківш, гідроциліндри приводу стріли, рукояті та ковша.

Недоліком такої конструкції робочого обладнання є обмежені функціональні можливості, мала глибина копання ґрунту, велика маса та значні зусилля на висування-втягування телескопічної секції рукояті.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення робочого обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю, в якому за рахунок наявності нових конструктивних елементів та особливостей поєднання з існуючими досягається значна зміна геометричних параметрів обладнання, що забезпечує розширення функціональних можливостей, збільшення глибини копання, зменшення маси та зусиль на висування-втягування телескопічної секції рукояті.

Поставлена задача вирішується тим, що в робочому обладнанні одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю, що містить стрілу, основну та телескопічну секції рукояті, ківш, гідроциліндри приводу стріли, основної секції телескопічної рукояті та ковша, відповідно до корисної моделі, основна секція рукояті додатково обладнана механізмом приводу телескопічної секції, виконаним у вигляді зубчато-рейкового механізму з гідромотором та клинопасовою передачею, окрім цього, основна та телескопічні секції рукояті обладнані роликowymi опорними елементами.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг. 1 зображений загальний вигляд робочого обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю;

на фіг. 2, а - механізм приводу телескопічної секції у початковому положенні;

на фіг. 2, б - те ж саме у кінцевому положенні;

на фіг. 3 - робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю при втягнутому телескопі рукояті;

на фіг. 4 - те ж саме при висунутому телескопі рукояті;

на фіг. 5 - траєкторії копання робочим обладнанням одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю: а - при втягнутому телескопі рукояті, б - при висунутому телескопі рукояті, $H_{к1}$, $H_{к2}$ - глибини копання при втягнутому та при висунутому телескопі рукояті, відповідно.

Робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю (фіг. 1) змонтовано на базовій машині 1 і складається зі стріли 2, на якій шарнірно закріплені основна секція 3 телескопічної рукояті та гідроциліндри 4 і 5 приводу стріли 2 та основної секції 3 телескопічної рукояті, відповідно. Основна секція 3 телескопічної рукояті з вільного кінця обладнана телескопічною секцією 6 та механізмом її приводу 7, виконаним у вигляді зубчато-рейкового механізму, який приводиться в дію гідромотором 8 через клинопасову передачу 9 (фіг. 2, 3, 4), окрім цього, основна 3 та телескопічна 6 секції рукояті мають роликіві опорні елементи 10.

На телескопічній секції 6 рукояті шарнірно закріплений гідроциліндр 11, шток якого шарнірно закріплений на чотириланковому механізмі 12, з'єднаного з ківшем 13 (фіг. 2, а, 3, 4).

Робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю працює таким чином (фіг. 5). Стріла 2, яка змонтована на базовій машині 1, гідроциліндрами 4 встановлюється для розробки ґрунту на відповідній глибині. Копання ґрунту здійснюється поворотом ковша 13 від гідроциліндра 11 чи поворотом основної 3 та телескопічної 6 секції рукояті від гідроциліндру 5.

При необхідності виконання робіт зі збільшеним розміром робочого обладнання висувають телескопічну секцію 6 рукояті за допомогою зубчато-рейкового механізму 5 (фіг. 2, б), а роликіві опорні елементи 10 забезпечують зменшення зусиль на висування-втягування телескопічної секції 6. Запропонована конструкція робочого обладнання одноківшевого

UA 101091 U

екскаватора з телескопічною рукояттю дозволяє поєднувати робочі операції, а також виконувати планувальні роботи втягуванням телескопічної секції б.

5 Виконання робочого обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю, обладнаного механізмом приводу телескопічної секції, виконаним у вигляді зубчато-рейкового механізму з гідромотором та клиноремінною передачею, та обладнаного роликівими опорними елементами дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, зменшити масу робочого обладнання, розширити діапазон виконуваних робіт, збільшити глибину копання та зменшити зусилля на висування-втягування телескопічної секції.

10 Джерела інформації:

Аналоги:

1. Патент СРСР №646927, Е 02F 3/38, "Гидравлический экскаватор", 1979 г.;

2. Патент України №43969, Е 02F 3/28, "Робоче обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора", 2002 р.;

15 Прототип:

3. Патент Российской Федерации №2266371, Е 02F 3/39, "Рабочее оборудование обратной лопаты гидравлических одноковшовых экскаваторов", 2001 г.

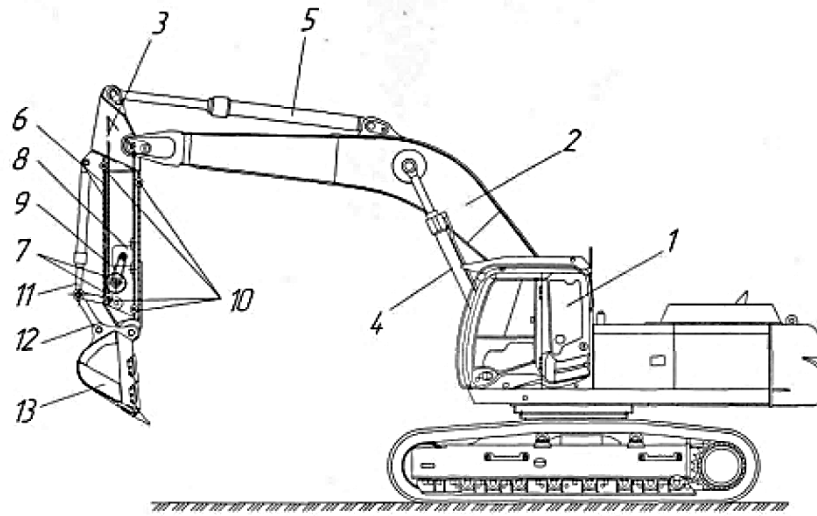
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

20

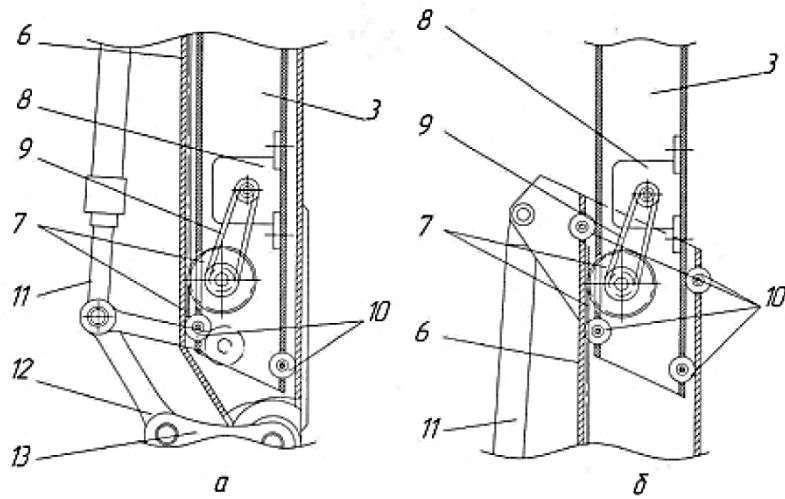
Робоче обладнання одноківшевого екскаватора з телескопічною рукояттю, що містить стрілу, основну та телескопічну секції рукояті, ківш, гідроциліндри приводу стріли, основної секції телескопічної рукояті та ковша, яке **відрізняється** тим, що основна секція рукояті додатково обладнана механізмом приводу телескопічної секції, виконаним у вигляді зубчато-рейкового механізму з гідромотором та клинопасовою передачею, при цьому основна та телескопічні секції рукояті обладнані роликівими опорними елементами.

25

UA 101091 U

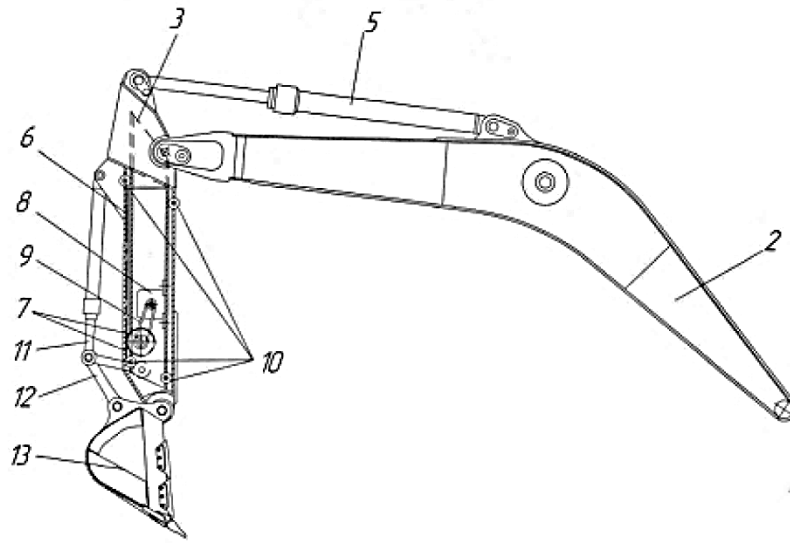


Фиг. 1

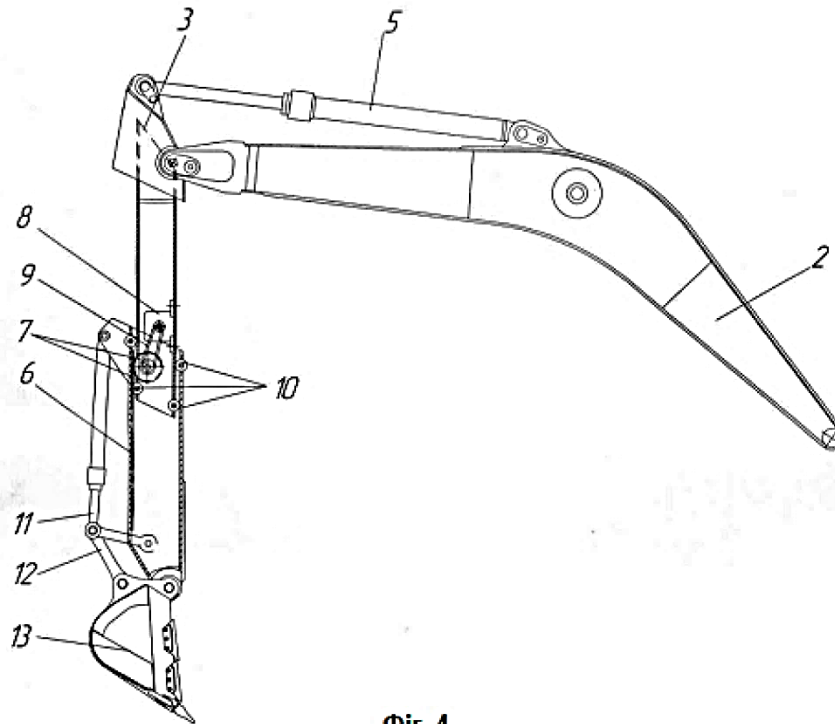


Фиг. 2

UA 101091 U

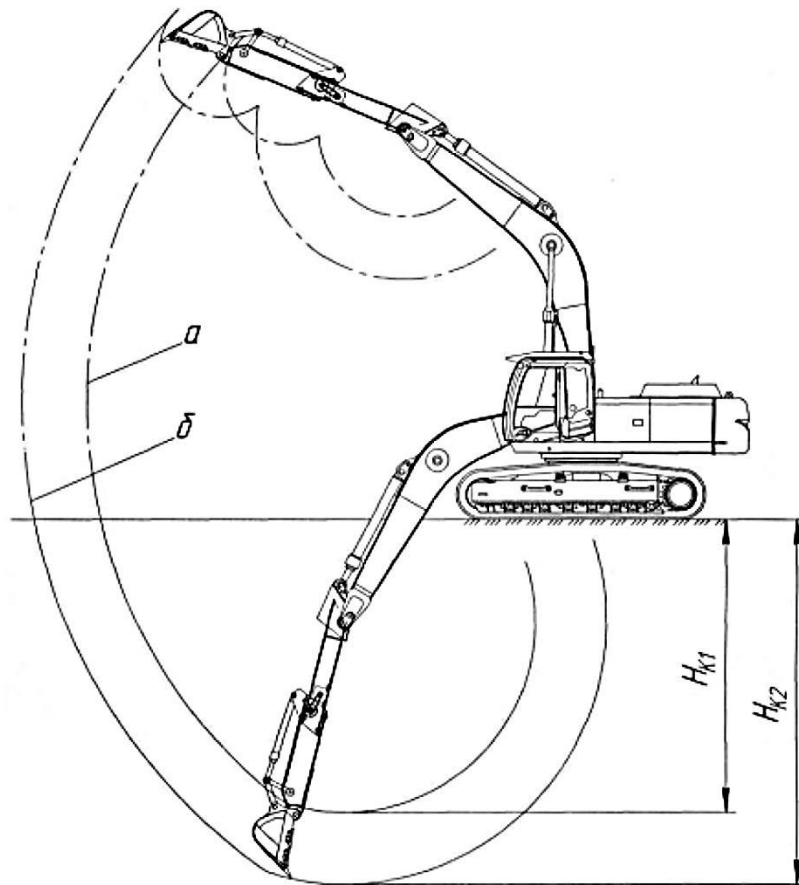


Фиг. 3



Фиг. 4

UA 101091 U



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **70686** (13) **U**
 (51) МПК
E02F 3/28 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

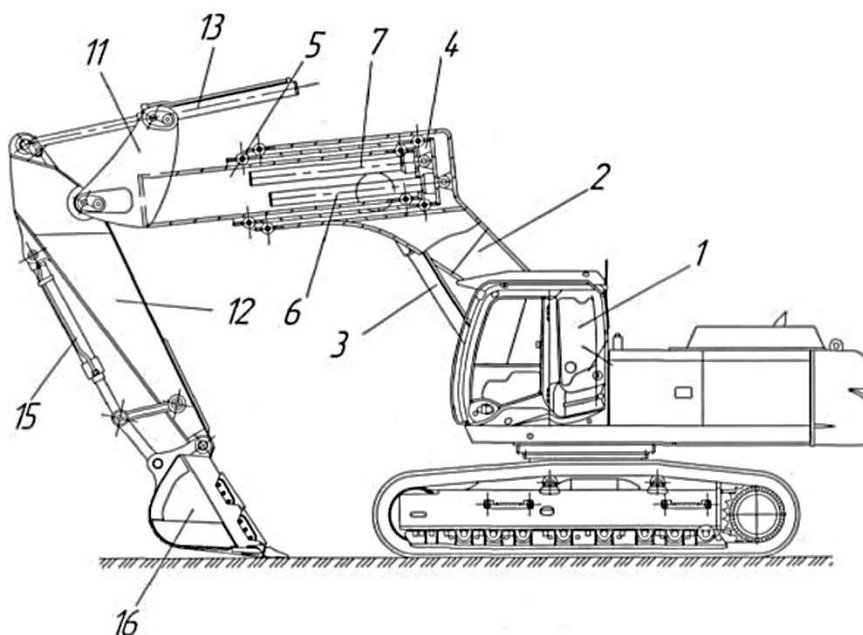
(21) Номер заявки: u 2011 13399	(72) Винахідник(и): Хмара Леонід Андрійович (UA), Дахно Олег Олександрович (UA), Бутенко Олександр Анатолійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.11.2011	(73) Власник(и): Хмара Леонід Андрійович, вул. Ливарна, 17, кв. 35, м. Дніпропетровськ, Центр, 49000 (UA), Дахно Олег Олександрович, вул. Кабардинська, 8, кв. 3, м. Дніпропетровськ, 49006 (UA), Бутенко Олександр Анатолійович, вул. Володарського, 61-б, м. Дніпропетровськ, 49000 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2012, Бюл.№ 12	

(54) ТЕЛЕСКОПІЧНЕ РОБОЧЕ ОБЛАДНАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ЕКСКАВАТОРА

(57) Реферат:

Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора містить телескопічну стрілу, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті ковша. Стріла обладнана додатковою висувною секцією з механізмом її приводу, виконаним у вигляді двох паралельно розташованих гідроциліндрів. Додаткова секція має кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра її приводу, а кожна з висувних секцій обладнана опорними елементами у вигляді роликів, по два з кожного боку.

UA 70686 U



Фіг. 1

UA 70686 U

UA 70686 U

Корисна модель належить до будівельних машин, зокрема землерийних машин типу однокішшових гідравлічних екскаваторів і може бути використана при виконанні різних видів земляних робіт.

Відомо телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора [1], до складу якого входить основна стріла, висувна стріла, ківш чи інший змінний робочий орган для земляних чи вантажопідійомних робіт, механізм висування-втягування та механізм підймання-опускання стріли.

Недоліком такого робочого обладнання є складність конструкції, наявність великих згинаючих моментів, металоємкість та велика вага.

Найбільш близьким до заявленої конструкції є телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора [2], до складу якого входить телескопічна стріла, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті ковша.

Недоліком такої конструкції робочого обладнання є обмежені функціональні можливості, мала глибина копання ґрунту.

Задача корисної моделі полягає у вдосконаленні телескопічного робочого обладнання гідравлічного екскаватора, в якому за рахунок наявності нових конструктивних елементів та особливостей поєднання з існуючими досягається значна зміна геометричних параметрів обладнання, що забезпечує розширення його функціональних можливостей, збільшення глибини копання.

Поставлена задача вирішується тим, що в телескопічному робочому обладнанні гідравлічного екскаватора, що містить телескопічну стрілу, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті ковша, відповідно до корисної моделі, стріла обладнана додатковою висувною секцією з механізмом її приводу, виконаним у вигляді двох паралельно розташованих гідроциліндрів, окрім цього, додаткова секція має кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра її приводу, а кожна з висувних секцій обладнана опорними елементами у вигляді роликів, по два з кожного боку.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де

на Фіг.1 зображений загальний вигляд телескопічного робочого обладнання гідравлічного екскаватора;

на Фіг.2 - телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора при втягнутих телескопах (вид збоку);

на Фіг.3 - телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора при одному витягнутому телескопі стріли (вид збоку);

на Фіг.4 - телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора при витягнутих телескопах стріли (вид збоку);

на Фіг.5 - траєкторії копання телескопічним робочим обладнанням гідравлічного екскаватора: а - траєкторія копання при втягнутих телескопах стріли; б - траєкторія копання при одному витягнутому телескопі стріли; с - траєкторія копання при витягнутих телескопах стріли; H_{K0} - глибина копання при втягнутих телескопах стріли; H_{K1} - глибина копання при одному витягнутому телескопі стріли; H_{K2} - глибина копання при витягнутих телескопах стріли.

Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора (Фіг.1) змонтовано на базовому тракторі 1 і складається з телескопічної стріли 2, з механізмом її приводу, який являє собою гідроциліндри 3. Стріла 2 з боку відкритого кінця обладнана висувними секціями 4 та 5 з механізмами їх приводу, у вигляді гідроциліндрів 6 та 7 відповідно. Гідроциліндр 6 жорстко закріплений за свою передню частину на торцевій перегородці 8 висувної секції 4, шток гідроциліндра 6 проходить крізь отвір у торцевій перегородці 8 та шарнірно кріпиться на стрілі 2, другий кінець гідроциліндра 6 проходить крізь отвір у торцевій перегородці 9 висувної секції 5, на якій жорстко закріплений гідроциліндр 7 за свою передню частину, шток якого проходить крізь отвір в торцевій перегородці 9 та шарнірно кріпиться на торцевій перегородці 8 висувної секції 4 (Фіг.2). Стріла 2 та висувні секції 4 та 5 мають опорні елементи 10 у вигляді роликів. Висувна секція 5 стріли 2 має кронштейн 11, на якому шарнірно закріплена рукоять 12 та гідроциліндр 13 приводу рукояті 12. Рукоять 12 має кронштейн 14 під встановлення гідроциліндра 15 приводу ковша 16, шток якого шарнірно закріплений на чотириланковому механізмі 17, який з'єднаний з ковшем 16 (Фіг.3, 4).

Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора працює таким чином (Фіг.5). Стріла 2, яка змонтована на базовому тракторі 1, за допомогою гідроциліндрів 3 встановлюється для розробки ґрунту на відповідній глибині. Копання ґрунту здійснюється поворотом ковша 16 від гідроциліндра 15 приводу ковша чи поворотом рукояті 12 від гідроциліндра 13 приводу рукояті, які шарнірно закріплені на кронштейні 11.

UA 70686 U

При необхідності виконання робіт із збільшеним розміром робочого обладнання висовують висувну секцію 4 стріли 2 за допомогою гідроциліндра 6 або висувну секцію 5 за допомогою гідроциліндра 7 стріли 2.

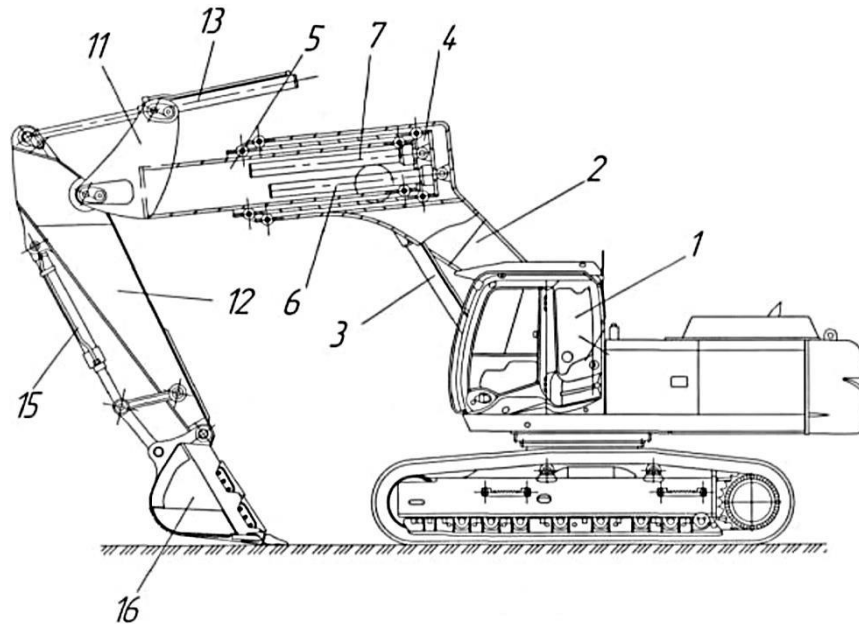
- 5 Виконання робочого обладнання з телескопічною стрілою дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон виконуваних робіт.

Джерела інформації:

- 10 1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве - М.: Транспорт, 1993. - 118 с. (Аналог).
2. Патент Российской Федерации №2014398, кл. E02F 3/38, 1994. (Прототип).

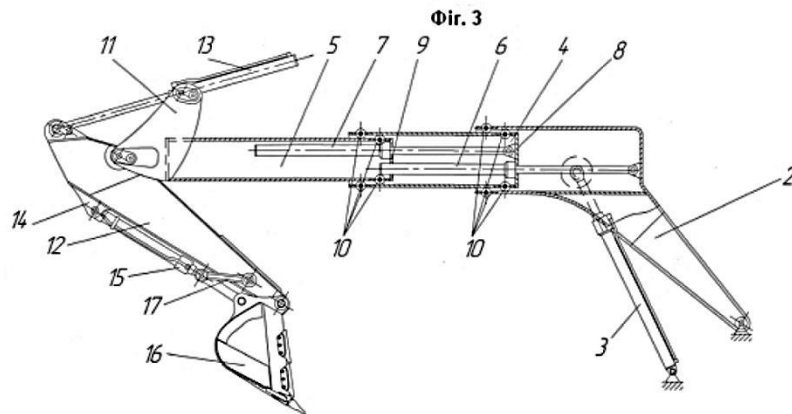
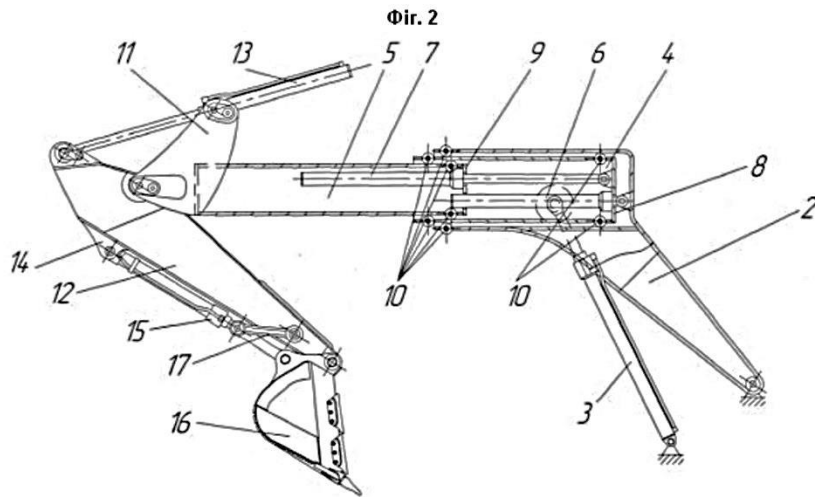
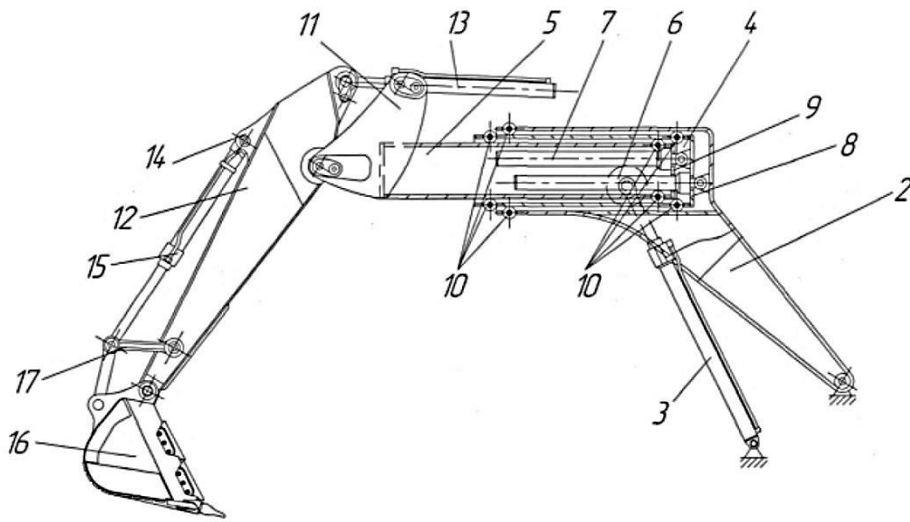
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 15 Телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора, що містить телескопічну стрілу, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті ковша, яке **відрізняється** тим, що стріла обладнана додатковою висувною секцією з механізмом її приводу, виконаним у вигляді двох паралельно розташованих гідроциліндрів, окрім цього, додаткова секція має кронштейн для кріплення рукояті та гідроциліндра її приводу, а кожна з висувних секцій обладнана опорними елементами у вигляді роликів, по два з кожного боку.



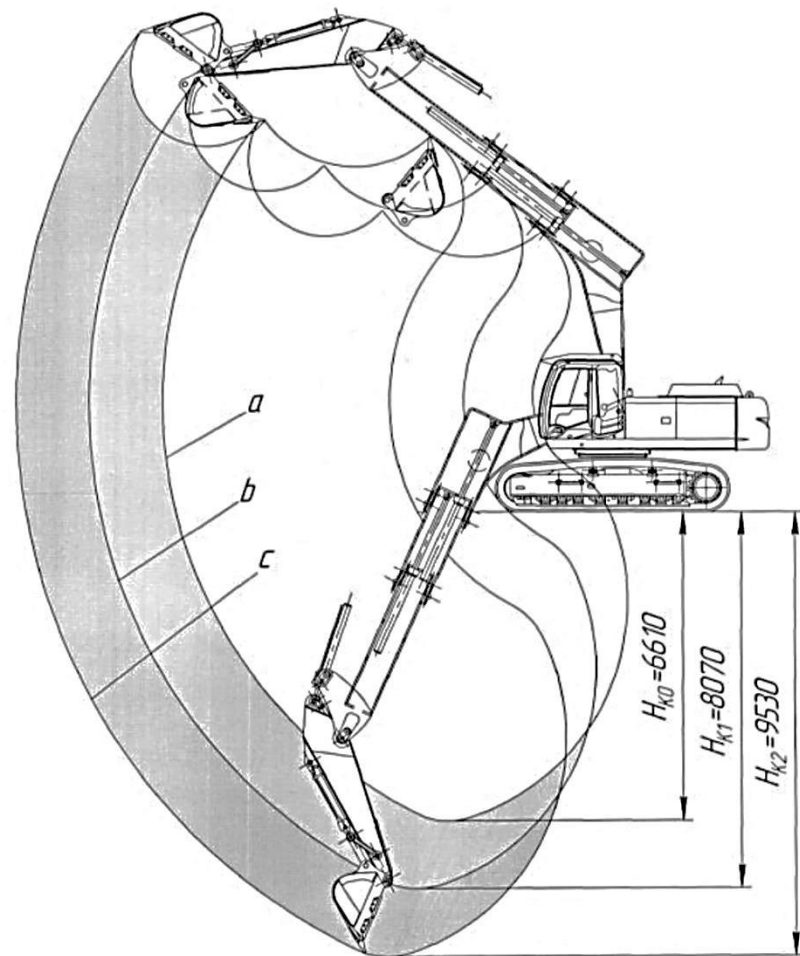
Фіг. 1

UA 70686 U



Øir. 4

UA 70686 U



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка А. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **70683** (13) **U**
 (51) МПК
E02F 3/28 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

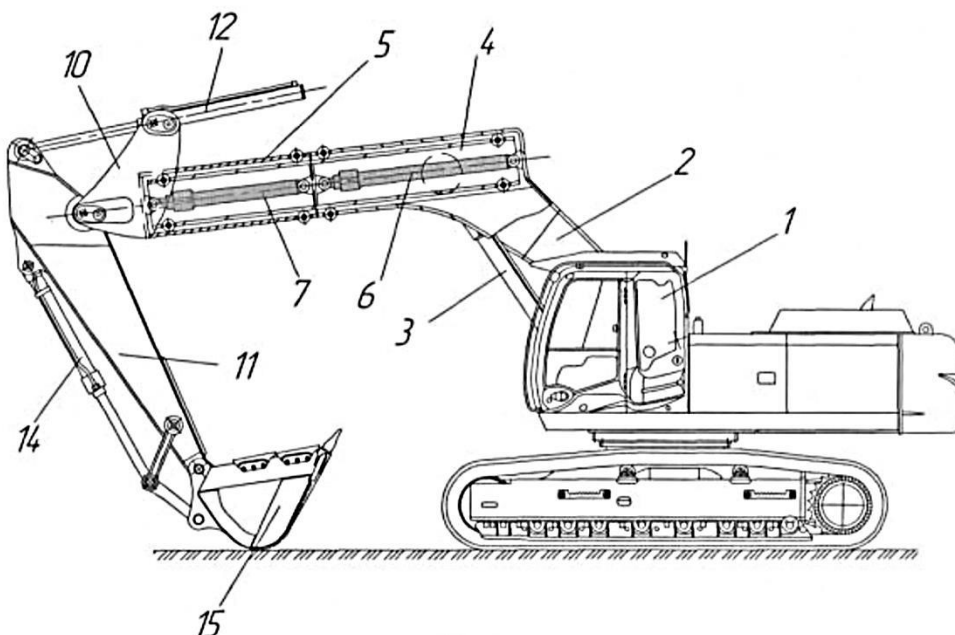
(21) Номер заявки: u 2011 13328	(72) Винахідник(и): Хмара Леонід Андрійович (UA), Дахно Олег Олександрович (UA), Бутенко Олександр Анатолійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.11.2011	(73) Власник(и): Хмара Леонід Андрійович, вул. Ливарна, 17, кв. 35, м. Дніпропетровськ, Центр, 49000 (UA), Дахно Олег Олександрович, вул. Кабардинська, 8, кв. 3, м. Дніпропетровськ, 49006 (UA), Бутенко Олександр Анатолійович, вул. Володарського, 61-б, м. Дніпропетровськ, 49000 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2012, Бюл.№ 12	

(54) РОБОЧЕ ОБЛАДНАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ЕКСКАВАТОРА

(57) Реферат:

Робоче обладнання гідравлічного екскаватора містить телескопічну стрілу, яка складається з двох секцій, рукояті, ківш, механізми приводу стріли, рукояті, ковша. Стріла обладнана додатковою висувною секцією з механізмом її приводу, виконаним у вигляді двох послідовно розташованих гідроциліндрів. Додаткова секція розташована ззовні існуючої висувної секції стріли та має кронштейн для кріплення рукояті і гідроциліндра її приводу. Кожна з висувних секцій обладнана опорними елементами у вигляді роликів, по два з кожного боку.

UA 70683 U



Фіг. 1

UA 70683 U

UA 70683 U

Корисна модель належить до будівельних машин, зокрема землерийних машин типу однокішшових гідравлічних екскаваторів і може бути використана при виконанні різних видів земляних робіт.

5 Відомо телескопічне робоче обладнання гідравлічного екскаватора [1,2], до складу якого входить основна стріла, висувна стріла, ківш чи інший змінний робочий орган для земляних чи вантажопідійомних робіт, механізм висування-втягування та механізм піднімання-опускання стріли.

Недоліком такого робочого обладнання є складність конструкції, наявність великих згинаючих моментів, металоємкість та велика вага.

10 Найбільш близькою до запропонованої конструкції є робоче обладнання гідравлічного екскаватора [3], до складу якого входить телескопічна стріла, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті, ковша.

Недоліком такої конструкції робочого обладнання є обмежені функціональні можливості, мала глибина копання ґрунту.

15 Задача корисної моделі полягає у вдосконаленні робочого обладнання гідравлічного екскаватора, в якому за рахунок наявності нових конструктивних елементів та особливостей поєднання їх з існуючими досягається значна зміна геометричних параметрів обладнання, що забезпечує розширення його функціональних можливостей, збільшення глибини копання.

20 Означена задача вирішується тим, що в робочому обладнанні гідравлічного екскаватора, що містить телескопічну стрілу, яка складається з двох секцій, рукоять, ківш, механізми приводу стріли, рукояті, ковша, відповідно до корисної моделі, стріла обладнана додатковою висувною секцією з механізмом її приводу, виконаним у вигляді двох послідовно розташованих гідроциліндрів, окрім цього, додаткова секція розташована ззовні існуючої висувної секції стріли, та має кронштейн для кріплення рукояті і гідроциліндра її приводу, а кожна з висувних секцій
25 обладнана опорними елементами у вигляді роликів, по два з кожного боку.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де

на фіг. 1 зображений загальний вигляд робочого обладнання гідравлічного екскаватора;

на фіг. 2 - робоче обладнання гідравлічного екскаватора при витягнутих телескопах стріли (вид збоку);

30 на фіг. 3 - робоче обладнання гідравлічного екскаватора при одному витягнутому телескопі стріли (вид збоку);

на фіг. 4 - робоче обладнання гідравлічного екскаватора при втягнутих телескопах стріли (вид збоку);

на фіг. 5 - робоче обладнання гідравлічного екскаватора при витягнутих телескопах стріли (аксонометрія);

на фіг. 6 - робоче обладнання гідравлічного екскаватора при одному витягнутому телескопі стріли (аксонометрія);

на фіг. 7 - робоче обладнання гідравлічного екскаватора при втягнутих телескопах стріли (аксонометрія);

40 на фіг. 8 - траєкторії копання робочим обладнанням: а - траєкторія копання при втягнутих телескопах; б - траєкторія копання при одному витягнутому телескопі стріли; с - траєкторія копання при витягнутих телескопах стріли; H_{K0} , H_{K1} , H_{K2} - глибина копання при втягнутих телескопах, глибина копання при одному витягнутому телескопі стріли, глибина копання при витягнутих телескопах стріли відповідно.

45 Робоче обладнання гідравлічного екскаватора (фіг. 1) змонтовано на базовому тракторі 1 і складається з телескопічної стріли 2 з механізмом її приводу, який являє собою гідроциліндри 3 (фіг. 2, 3, 4). Стріла 2, з боку відкритого кінця обладнана висувними секціями 4 та 5 з механізмами їх приводу, у вигляді гідроциліндрів 6 та 7 відповідно, гідроциліндр 6 шарнірно закріплений на стрілі 2, шток гідроциліндра 6 шарнірно закріплений на перегородці 8, яка встановлена на висувній секції 4, на перегородці 8 з іншого боку шарнірно закріплений гідроциліндр 7, шток якого шарнірно закріплений в передній частині висувної секції 5 (фіг. 5, 6, 7). Стріла 2 та висувні частини 4 і 5 мають опорні елементи 9 у вигляді роликів. Висувна секція 5 стріли 2 має кронштейн 10, на якому шарнірно закріплена рукоять 11 та гідроциліндр 12
50 приводу рукояті 11. Рукоять 11 має кронштейн 13 під встановлення гідроциліндра 14 приводу ковша 15, шток якого шарнірно закріплений на чотириланковому механізмі 16, який з'єднаний з ковшем 15.

Робоче обладнання гідравлічного екскаватора працює таким чином (фіг. 8).

Стріла 2, яка змонтована на базовому тракторі 1, за допомогою гідроциліндрів 3 встановлюється для розробки ґрунту на відповідній глибині. Копання ґрунту здійснюється

UA 70683 U

поворотом ковша 15 від гідроциліндра 14 приводу ковша чи поворотом рукояті 11 від гідроциліндра 12 приводу рукояті, які шарнірно закріплені на кронштейні 10.

При необхідності виконання робіт із збільшеним розміром робочого обладнання висовують висувну секцію 4 стріли 2 за допомогою гідроциліндра 6 або висувну 5 стріли 2 за допомогою гідроциліндра 7.

При виконанні робіт з максимальним розміром робочого обладнання висувують висувну секцію 4 за допомогою гідроциліндра 6 разом з секцією 5 за допомогою гідроциліндра 7 стріли 2.

Виконання робочого обладнання гідравлічного екскаватора з телескопічною стрілою дозволяє значно розширити функціональні можливості за рахунок збільшення геометричних параметрів, а також розширити діапазон виконаних робіт.

Джерела інформації:

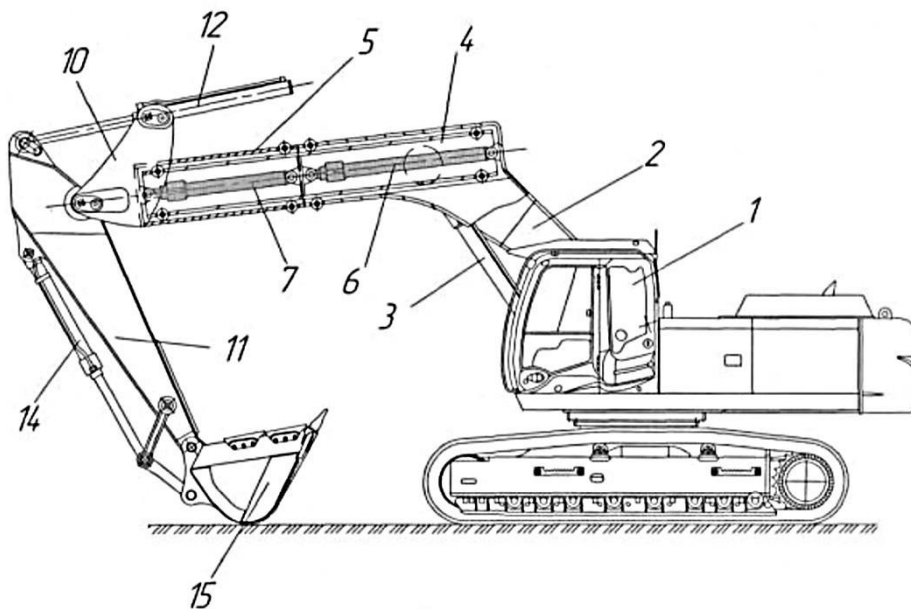
1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве- М.: Транспорт, 1993.118с. (Аналог).

2. Строительные машины. Справочник в 2-х т. Под редакцией д-ра техн. наук В.А. Баумана и инж. Ф.А. Лапира Т. 1. Машины для строительства промышленных, гражданских, гидротехнических сооружений и дорог. Изд. 4-е, перераб. и дополн. М.: "Машиностроение", 1976. 502 с. с ил. (Аналог).

3. Патент Российской федерации №2014398, кл. E02F3/38, 1994. (найближчий аналог).

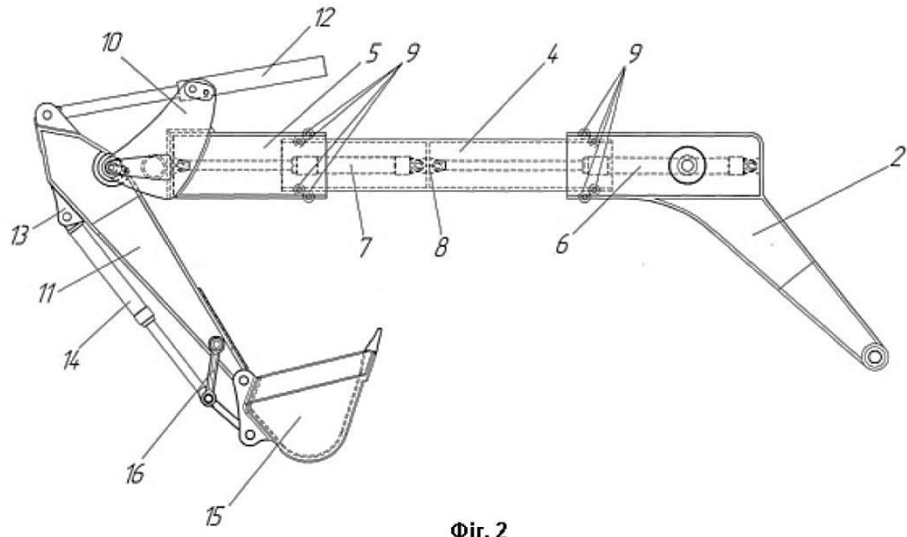
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Робоче обладнання гідравлічного екскаватора, що містить телескопічну стрілу, яка складається з двох секцій, рукояті, ківш, механізми приводу стріли, рукояті, ковша, яке **відрізняється** тим, що стріла обладнана додатковою висувною секцією з механізмом її приводу, виконаним у вигляді двох послідовно розташованих гідроциліндрів, окрім цього, додаткова секція розташована ззовні існуючої висувної секції стріли, та має кронштейн для кріплення рукояті і гідроциліндра її приводу, а кожна з висувних секцій обладнана опорними елементами у вигляді роликів, по два з кожного боку.

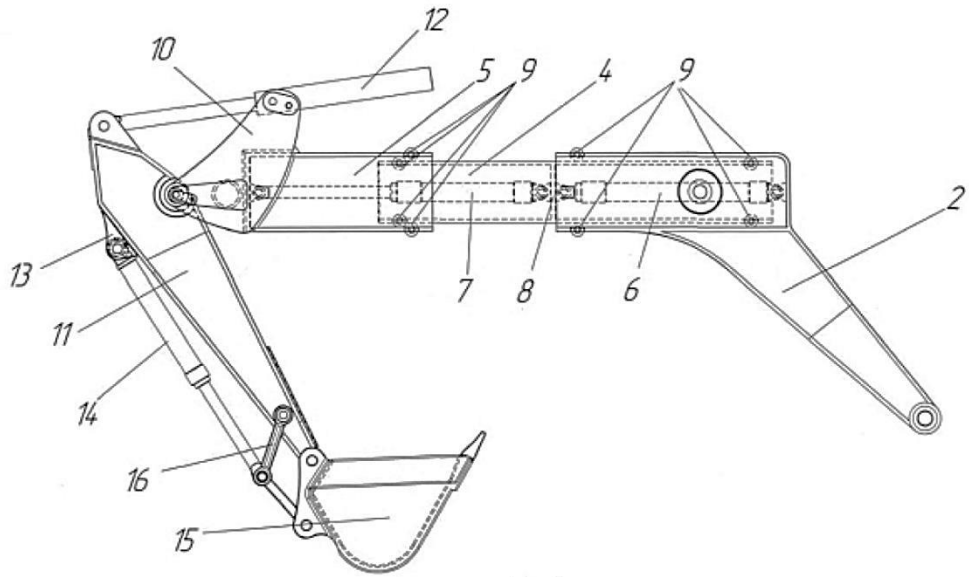


Фиг. 1

UA 70683 U

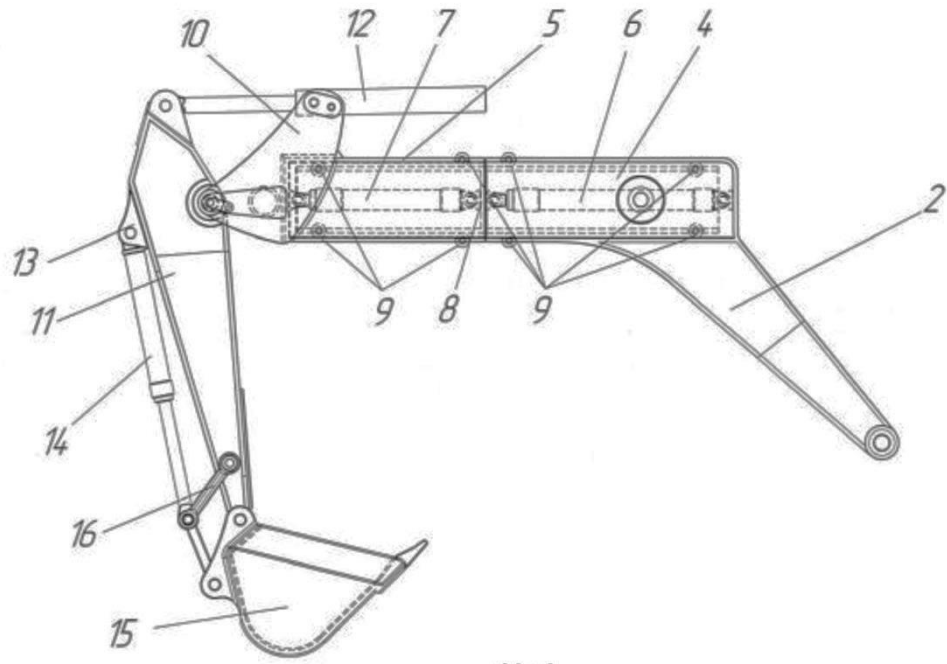


Фиг. 2

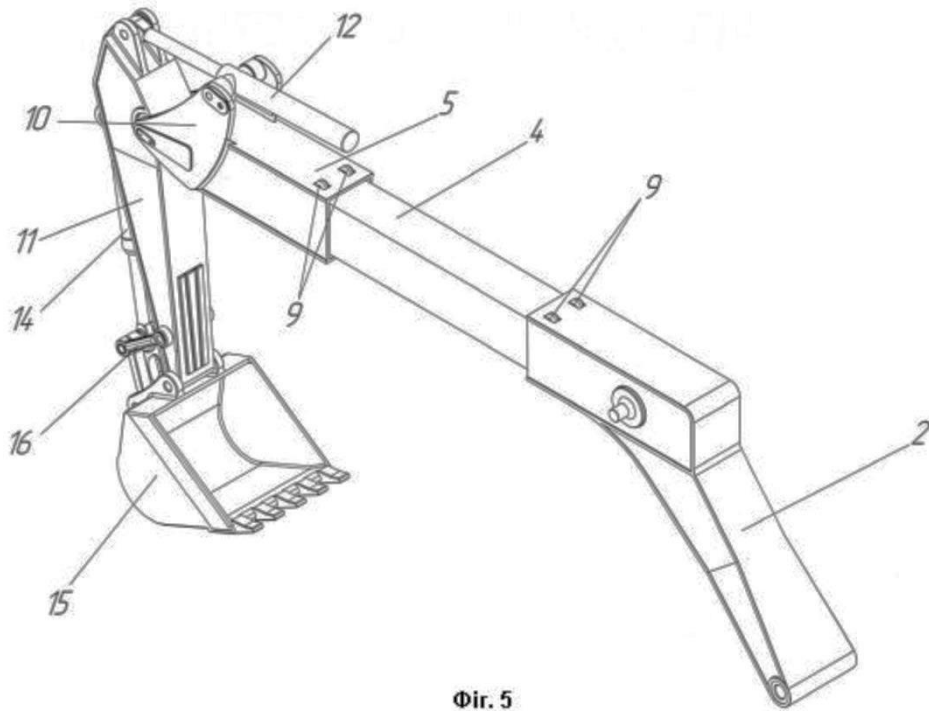


Фиг. 3

UA 70683 U

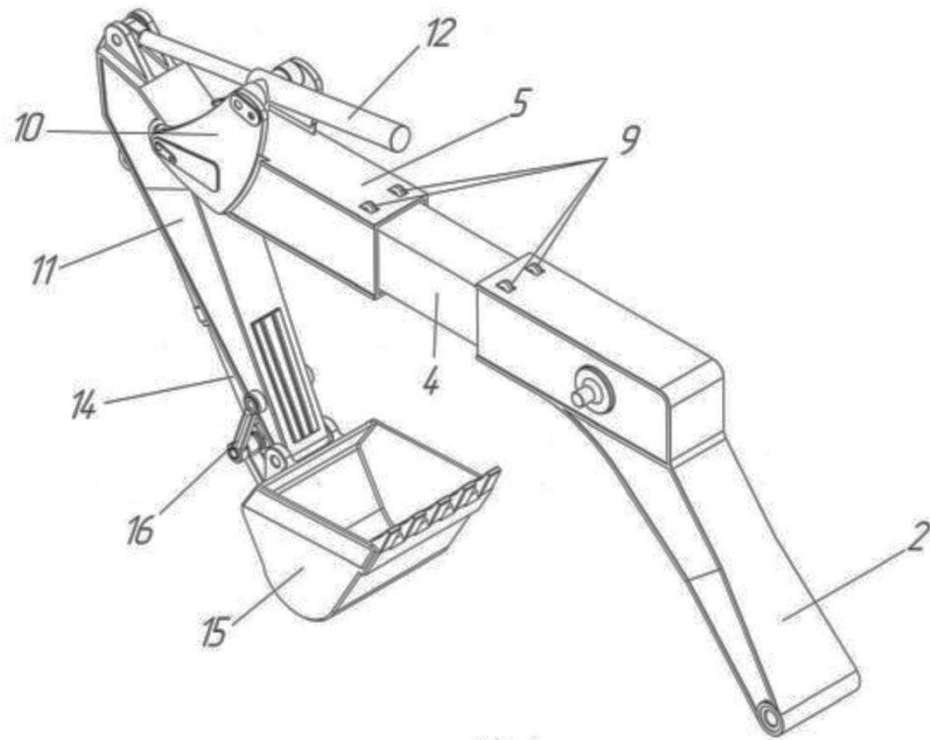


Фиг. 4

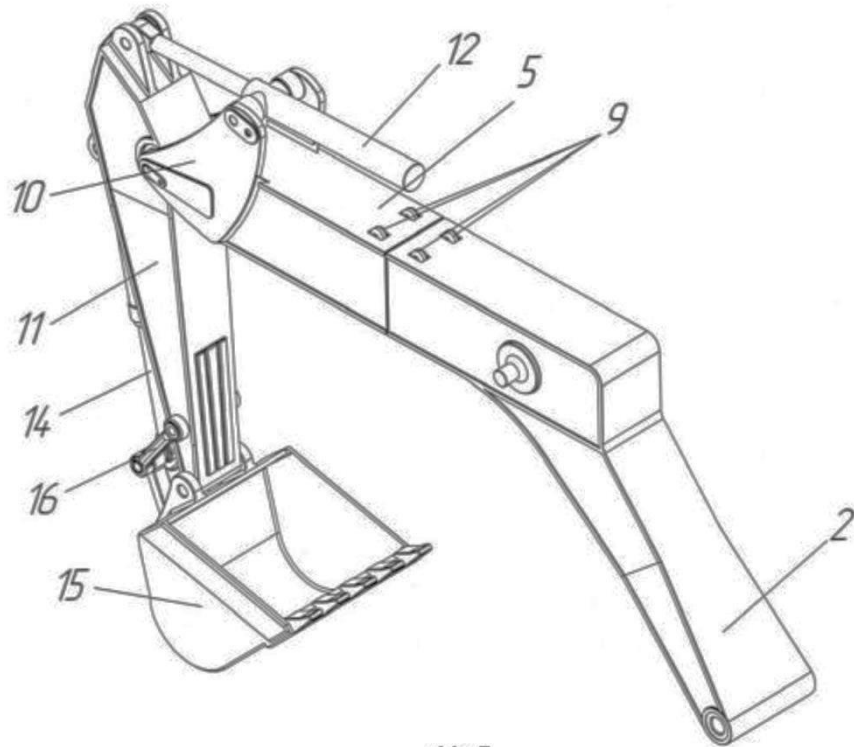


Фиг. 5

UA 70683 U

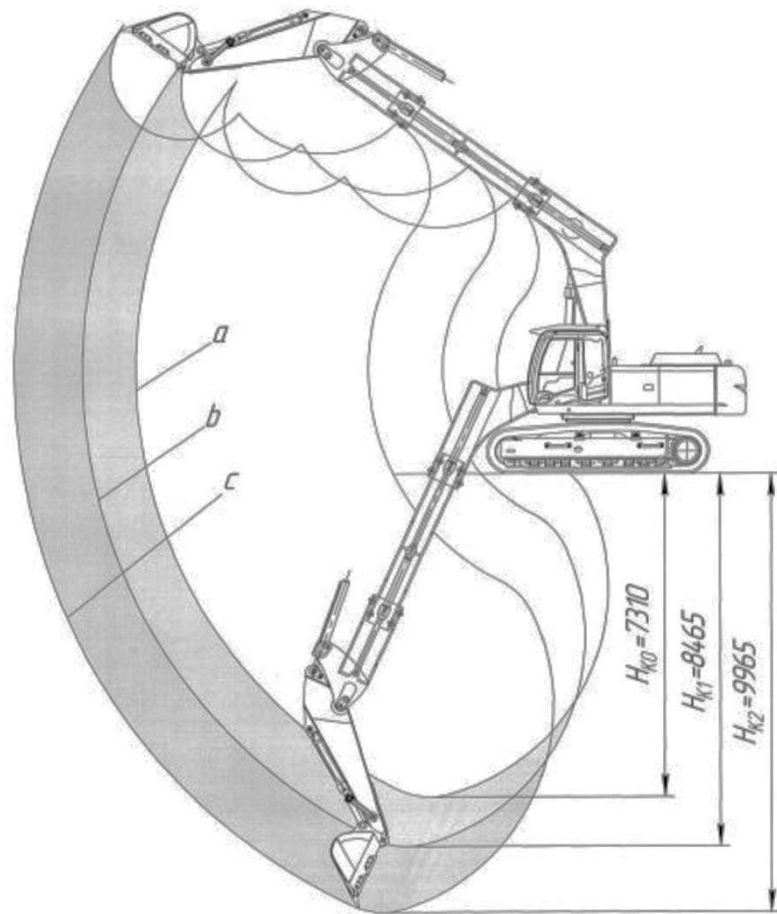


Фиг. 6



Фиг. 7

UA 70683 U



Фиг. 8

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103649** (13) **U**

(51) МПК

E02F 3/28 (2006.01)**E02F 3/36** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

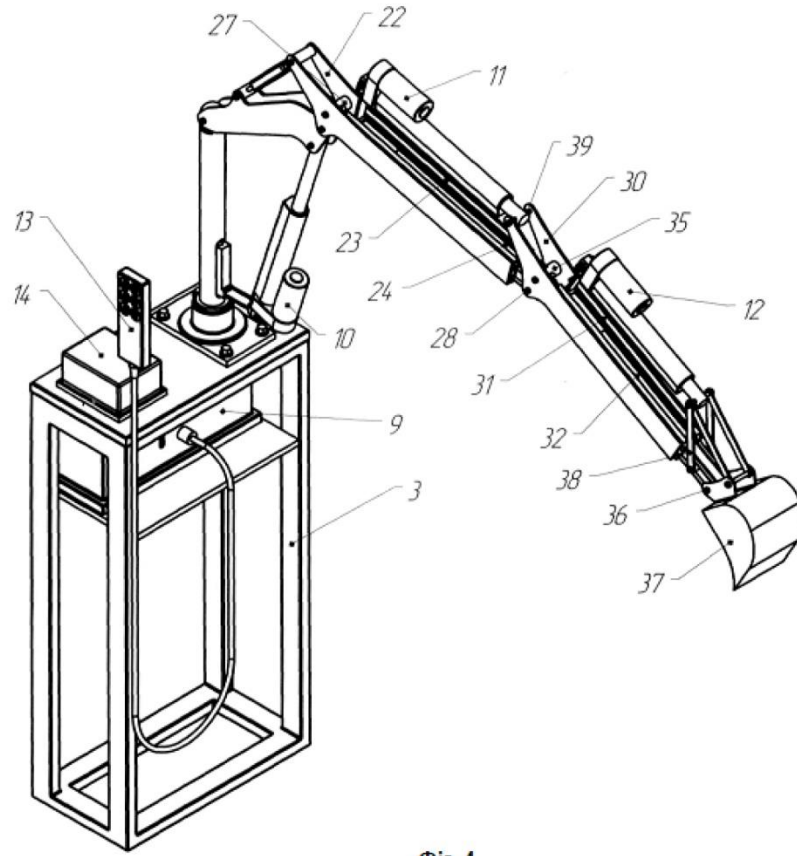
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2015 06019</p> <p>(22) Дата подання заявки: 18.06.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.12.2015</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.12.2015, Бюл.№ 24</p>	<p>(72) Винахідник(и): Хмара Леонід Андрійович (UA), Дахно Олег Олександрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Хмара Леонід Андрійович, вул. Ливарна, 17, кв. 35, м. Дніпропетровськ, 49000 (UA), Дахно Олег Олександрович, вул. Кабардинська, 8, кв. 3, м. Дніпропетровськ, 49006 (UA)</p>
--	---

(54) СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА ЗІ ЗМІННИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ**(57) Реферат:**

Стенд для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами, який включає ґрунтовий контейнер, робоче обладнання у вигляді стріли та рукояті з лінійним приводом, причому стріла являє собою шарнірно-зчленовану конструкцію, верхня частина якої, а також рукоять обладнані телескопічними механізмами.

UA 103649 U



Фиг. 4

Корисна модель стосується обладнання для стендових досліджень процесів копання ґрунтового середовища телескопічним робочим обладнанням одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами.

Відомо стендове обладнання для дослідження одноківшевих екскаваторів, яке включає в себе естакаду, екскаватор, робочий приємок з розміщеним в ньому навантажувальним механізмом, вимірювальну апаратуру та систему керування [1].

Недоліком аналога є те, що стендове обладнання встановлено на діючому екскаваторі, та при проведенні дослідів знижується продуктивність екскаватора за рахунок простоїв під час встановлення, регулювання, зняття датчиків, а також потрібні значні матеріальні затрати.

Найбільш близьким технічним рішенням є стенд для дослідження процесу копання ґрунту ковшем екскаватора, який включає ґрунтовий контейнер, робоче обладнання зі стрілою і рукояттю та лінійний привід рукояті [2].

Недоліком прототипу є відсутність можливості змінювати геометричні параметри робочого обладнання та обмежений діапазон досліджень, які проводяться на стенді, а також складність налаштування обладнання та проведення дослідів на природних ґрунтах.

Основою корисної моделі є задача вдосконалення стенда для дослідження телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами, в якому, за рахунок наявності нових конструктивних елементів, досягається суттєве розширення геометричних параметрів робочого обладнання та розширення діапазону виконуваних дослідів.

Означена задача вирішується тим, що в стенді для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами, який включає ґрунтовий контейнер, робоче обладнання у вигляді стріли та рукояті з лінійним приводом, відповідно до корисної моделі стріла являє собою шарнірно-зчленовану конструкцію, верхня частина якої, а також рукоять обладнані телескопічними механізмами. При цьому стріла, рукоять та робочий орган обладнані тензометричними ланками, реохордовими датчиками змінного опору та електронними датчиками, а стріла та робочий орган - механізмами лінійного приводу. При цьому стенд обладнаний блоком живлення з електронним блоком керування та тензометричним вимірювачем/реєстратором, які разом з телескопічним робочим обладнанням, закріплені на спеціальній рамі окремо від ґрунтового контейнера.

Суть пропонуваної корисної моделі пояснюється кресленнями та таблицею, де:

на фіг. 1 зображена конструктивна схема стенда для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами: радіуси копання R_k - ковшем, $R_{Т.Р.+К.}$ - рукояттю з виштовхнутим телескопом плюс ківш, $R_{Т.С.+Т.Р.+К.}$ - стрілою з виштовхнутим телескопом плюс рукоять з виштовхнутим плюс ківш; а - траєкторія копання при втягнутих телескопах стріли та рукояті; б - те саме, при втягнутому телескопі стріли та виштовхнутому телескопі рукояті; в - те саме, при виштовхнутому телескопі стріли та втягнутому телескопі рукояті; г - те саме, при виштовхнутих телескопах стріли та рукояті;

на фіг. 2 - параметрична схема стенда для дослідження телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора: $H_{к.тр.с.+тр.р.}$ - максимальна глибина копання при втягнутих телескопах стріли та рукояті; $H_{к.тр.с.+тел.р.}$ - те саме, при втягнутому телескопі стріли та висунутому телескопі рукояті; $H_{к.т.с.+тр.р.}$ - те саме, при висунутому телескопі стріли та втягнутому телескопі рукояті; $H_{к.т.с.+т.р.}$ - те саме, при висунутих телескопах стріли та рукояті; а, б, в, г - траєкторія копання, аналогічні з фіг. 1;

на фіг. 3-а) схема телескопічного робочого обладнання; б) поворотний механізм;

на фіг. 4 - аксонометрична проекція стенда для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами без ґрунтового контейнера;

на фіг. 5 - фото фізичної моделі телескопічного робочого обладнання: а) при втягнутих телескопах стріли та рукояті; б) при виштовхнутих телескопах стріли та рукояті; в) загальний вигляд;

в табл. 1 наведені основні параметри змінних ковшів.

Стенд для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами (фіг. 1) включає ґрунтовий контейнер 1, виконаний у вигляді короби зварної конструкції, в якому знаходиться ґрунтове середовище 2, раму 3, з закріпленим на верхній площині поворотним механізмом 4. Поворотний механізм 4 (фіг. 3, б) являє собою різьбове з'єднання втулки з внутрішньою різьбою 5, закріпленої на рамі 3, з поворотною колонкою 6, в нижній частині якої нарізана зовнішня різьба, що забезпечує вільне обертання поворотної колонки на 360° . Фіксування поворотної колонки 6 у потрібному положенні забезпечується контргайкою 7. В верхній частині поворотної колонки 6 шарнірно закріплено телескопічне робоче обладнання 8.

Також на рамі 3 розташовано блок живлення з електронним блоком керування 9, які знаходяться в одному корпусі. До електронного блока керування під'єднані лінійні приводи 10, 11 і 12 телескопічного робочого обладнання 8, керування якими здійснюється за допомогою пульта 13. Також на рамі 3 розміщено тензомостовий вимірювач/реєстратор 14 (фіг. 4) для мостових та напівмостових схем вмикання тензодатчиків, дані з прибору через USB порт передаються на персональний комп'ютер.

Телескопічне робоче обладнання 8 (фіг. 3, 4, 5] складається з нижньої частини стріли 15, шарнірно закріпленої 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 на нижній частині стріли 15 розміщено стягуючий механізм 20 зміни кута 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 19 складається з двох бокових пластин 22 (фіг. 4), на яких закріплені трисекційні телескопічні механізми 23, довжиною 360/720мм. Поміж двома телескопічними механізмами закріплено осердя 24 - прямокутну трубу перерізом 10 × 25 мм, яка забезпечує жорсткість конструкції, та тензометричну ланку 25. Тензометрична ланка 25 повторює конструкцію тензометричної ланки 21 та являє собою Г-подібний кронштейн, який складається з двох частин - верхньої, - виконаної зі сталі 45ХНФА з наклеєними на неї тензорезисторами, та нижньої, - що повторює переріз осердя 24; також нижня частина тензометричної ланки має отвір діаметром 6 мм з різьбою. Виштовхування-втягування телескопічного механізму 23 відбувається за рахунок обертання шпильки 26 в різьбі тензометричної ланки 25. Вільний кінець шпильки 26 заходить в осердя 24, а на другому кінці шпилька має шестигранний переріз, та шарнірно закріплена в розпірці 27. На кінці осердя 24 розташований шарнір 28 кріплення рукояті 29. Рукоять 29 складається з двох бокових пластин 30 (фіг. 4.), на яких закріплені трисекційні телескопічні механізми 31, довжиною 300/600мм. Поміж двома телескопічними механізмами закріплено осердя 32 - прямокутну трубу перерізом 10 × 25 мм, яка забезпечує жорсткість конструкції, та тензометричну ланку 33. Тензометрична ланка 33 має аналогічну конструкцію тензометричній ланці 21 і 25. Виштовхування-втягування телескопічного механізму 31 відбувається за рахунок обертання шпильки 34 в різьбі тензометричної ланки 33. Вільний кінець шпильки 34 заходить в осердя 32, а на другому кінці шпилька має шестигранний переріз, та шарнірно закріплена в розпірці 35. На вільному кінці осердя 32 розташований шарнір 36 кріплення робочого органу у вигляді ковша 37, а також вісь кріплення чотириланкового 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 чотириланковому 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 реохордовими датчиками змінного опору 40, 41 та 42, відповідно. Датчики підключені по напівмостовій схемі та під'єднані до тензомостового вимірювача/реєстратора 14.

Окрім датчиків 40, 41 та 42 верхня частина стріли, рукоять та ківш обладнані електронними датчиками 43, 44 та 45, відповідно, які являють собою 3-осьові акселерометри та 3-осьові гіроскопи для визначення магнітних та зенітних кутів, для визначення просторового позиціонування секцій телескопічного робочого обладнання та змінного робочого органу.

Для всебічних досліджень процесу взаємодії з ґрунтовим середовищем телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора стенд комплектується параметричним рядом змінних ковшів, виконаних в масштабі $k_f=10$, та який складається з п'яти ковшів, таблиця 1.

Стенд для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами працює наступним чином. При проведенні експериментальних досліджень в лабораторних умовах в ґрунтовому контейнері 1 підготовлюється ґрунтове середовище 2 до потрібних показників та відповідна форма забою. Телескопічне робоче обладнання 8 налаштовується наступним чином: обертанням стягуючого механізму 20 встановлюється потрібний кут між нижньою 15 та верхньою 19 частинами стріли через вісь обертання 17. Обертанням шпильки 26 в різьбі тензометричної ланки 25 задається потрібна довжина $L_{т.чс}$ трисекційного телескопічного механізму 23 верхньої частини стріли 19 та довжина шарнірно-зчленованої стріли $L_{т.с}$ (фіг. 2). Обертанням шпильки 34 в різьбі тензометричної ланки 33 задається потрібна довжина $L_{т.р}$ трисекційного телескопічного механізму 31 рукояті 29. Встановлюється потрібний для експерименту ківш 37. Обертанням поворотної колонки 6 в поворотному механізмі 4 телескопічне робоче обладнання 8 встановлюється в потрібне положення в забої та фіксується у потрібному положенні

контррайкою 7 (фіг. 3, б). Тензометричні ланки 21, 25 і 33 для визначення активних і реактивних зусиль в механізмах лінійного приводу, реохордові датчики змінного опору 40, 41 і 42 та електронні датчики 43, 44, 45 підключаються до тензомостового вимірювача/реєстратора 14 та підключаються до персонального комп'ютера. Проводиться тарування та налаштування вимірювального обладнання. Підводиться живлення для блока живлення з електронним блоком керування 9. Керування лінійними приводами 10, 11 і 12 здійснюється пультом 13. Лінійні приводи 11 і 12 встановлюються в своє крайнє початкове положення, розміри яких $L_{лп.т.с}$ та $L_{лп.т.р}$ дорівнюють своєму мінімальному значенню, таким чином задається радіус $R_{т.с+т.р+к}$. Лінійним приводом 10 телескопічне робоче обладнання 8 підводиться в своє робоче положення до поверхні ґрунту. Вмикається лінійний привід 11 і відбувається копання ґрунту поворотом рукояті 29 відносно шарніру 28 на кут $\alpha_{т.р}$, виїмка ґрунту, обертання поворотної колонки 6 та відсіпка ґрунту. Після цього телескопічне робоче обладнання 8 повертається в початкове положення і задаються нові радіуси $R_{т.с+т.р+к}$ та $R_{т.р+к}$ копання. При необхідності поворотна колонка 6 обертається в поворотному механізмі 4 і з'являється нова зона ґрунту для дослідження телескопічного робочого обладнання 8 або іншого ковша 37, що є перевагою у порівнянні з прототипом. Також копання може здійснюватись поворотом усього телескопічного робочого

обладнання 8 відносно вісі 16 на кут $\frac{\alpha_{т.р.о}}{2}$ втягуванням лінійного приводу 10 та поворотом ковша 37 на кут α_k відносно шарніру 36, при цьому данні з усіх датчиків записуються одночасно.

При проведенні експерименту в природних умовах рама 3 із закріпленими на ній блоком живлення з електронним блоком керування 9, тензомостовим вимірювачем/реєстратором 14 та телескопічним робочим обладнання 8 (фіг. 4) встановлюється в пряминок в натуральному ґрунті на потрібній глибині та закріплюється анкерними гвинтами. Наступні операції по налаштуванню обладнання аналогічні описаним при проведенні експериментальних досліджень в лабораторних умовах.

Таким чином, виконання стенда для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноковшового екскаватора зі змінними робочими органами з шарнірно-зчленованою конструкцією стріли та телескопічними верхньою частиною стріли та рукояттю дозволяє в широкому діапазоні змінювати геометричні параметри телескопічного робочого обладнання. Оснащення шарнірно-зчленованої стріли та ковша додатковими механізмами лінійного приводу та тензометричними ланками, а також реохордовими датчиками змінного опору та електронними датчиками дозволяє забезпечити найширший діапазон виконуваних дослідів. При цьому розташування телескопічного робочого обладнання, блока живлення з електронним блоком керування та тензомостового вимірювача/реєстратора на спеціальній рамі окремо від ґрунтового контейнера дозволяє спростити налаштування обладнання та проведення дослідів на природних ґрунтах.

Джерела інформації:

Аналог:

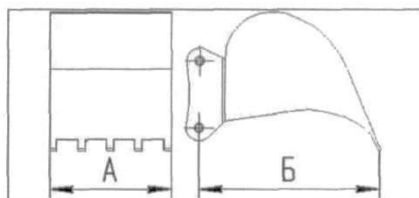
1. Авторское свидетельство СССР №1469032. МПК Е 02 F 2/28, G 01 M 19/00 "Стенд для испытаний одноковшовых экскаваторов". Авт.: М.Я. Агароник, Ю.И. Демин, Г.В. Кирилов, Г.Н. Мошкоров, М.М. Овечкин, А.В. Раннев, Ю.Ф. Тимин, 1989.











Прототип:

2. Патент України №5624. МПК Е 02 F 9/00, Е 02 F 3/36 "Стенд для дослідження змінних робочих органів гідравлічного екскаватора". Авт.: Л.А. Хмара, К.Ц. Главацький, Ф.В. Цветков, О.І. Голубченко, 1994.

Таблиця 1

Основні параметри змінних ковшів



№	А Ширина ковша, м	Б Радіус ковша, м	Місткіст ь ковша, дм ³	Маса ковша, кг	Досліджувані моделі ковшів	
					3-D схема	Фото
1	$b_1=0,060$	$R_{K1}=0,150$	$q_1=0,44$	$m_1=0,53$		
2	$b_2=0,080$	$R_{K2}=0,150$	$q_2=0,65$	$m_2=0,6$		
3	$b_3=0,100$	$R_{K3}=0,150$	$q_3=0,86$	$m_3=0,69$		
4	$b_4=0,120$	$R_{K4}=0,150$	$q_4=1,08$	$m_4=0,78$		
5	$b_5=0,140$	$R_{K5}=0,150$	$q_5=1,3$	$m_5=0,85$		

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

5

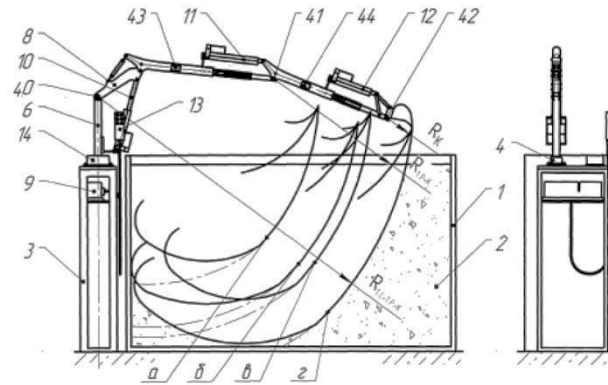
1. Стенд для дослідження роботи телескопічного робочого обладнання одноківшевого екскаватора зі змінними робочими органами, який включає ґрунтовий контейнер, робоче обладнання у вигляді стріли та рукояті з лінійним приводом, який **відрізняється** тим, що стріла являє собою шарнірно-зчленовану конструкцію, верхня частина якої, а також рукоять обладнані телескопічними механізмами.

10

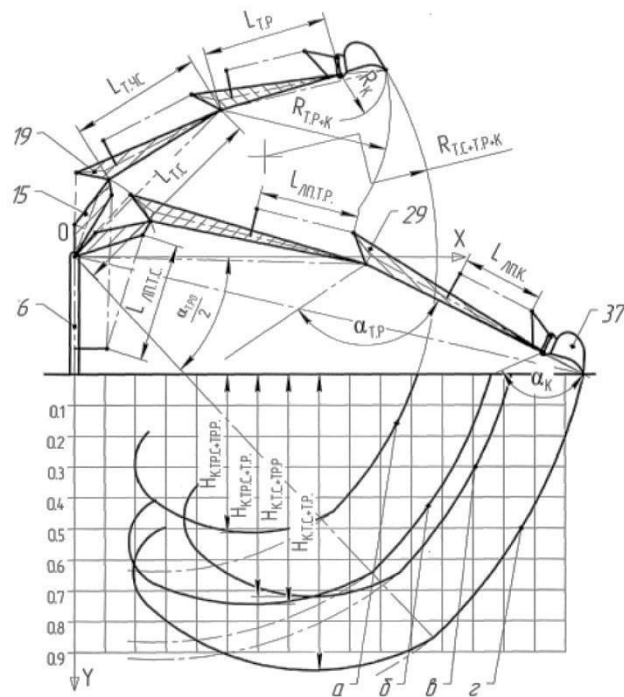
2. Стенд за п. 1, який **відрізняється** тим, що стріла, рукоять та робочий орган додатково обладнані тензометричними ланками, реохордовими датчиками змінного опору та електронними датчиками, а стріла та робочий орган - механізмами лінійного приводу.

UA 103649 U

3. Стенд за п. 1, який **відрізняється** тим, що він додатково обладнаний блоком живлення з електронним блоком керування та тензомостовим вимірювачем/реєстратором, які закріплені разом з телескопічним робочим обладнанням на спеціальній рамі окремо від ґрунтового контейнера.

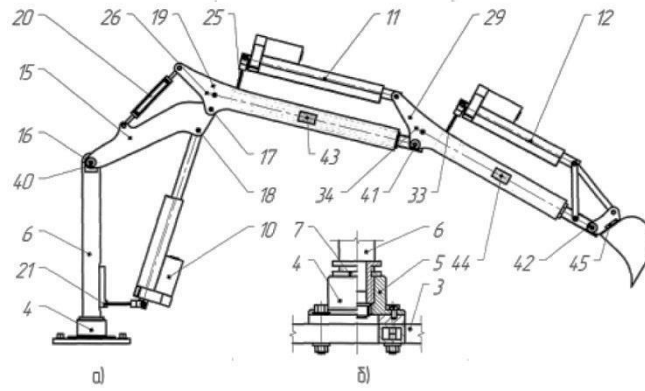


Фиг. 1

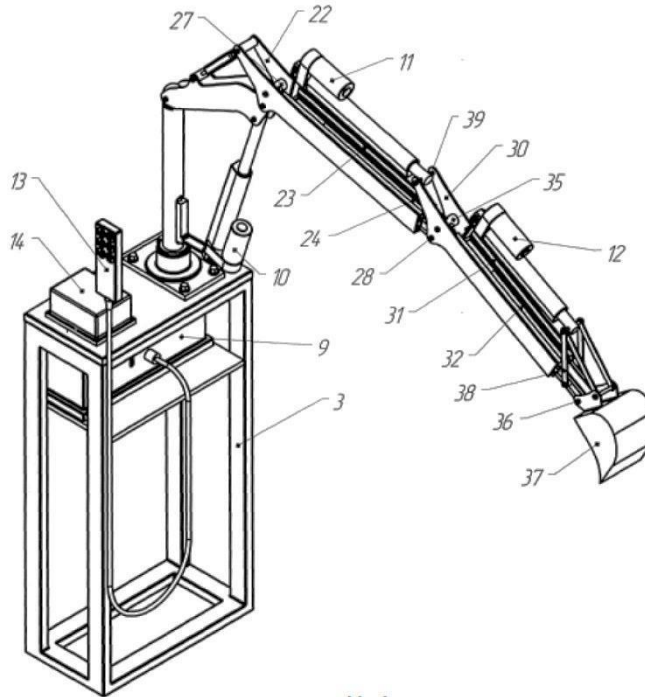


Фиг. 2

UA 103649 U



Фиг. 3

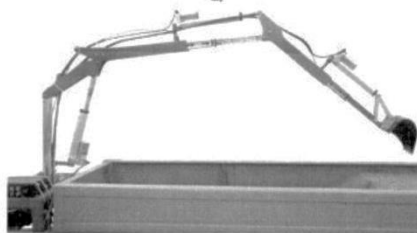


Фиг. 4

UA 103649 U



a)



б)



в)

Фіг. 5

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Державного вищого навчального

закладу «Придніпровська державна
академія будівництва та архітектури»

доктор технічних наук, професор

В. І. Большаков

2016 р.



Д О В І Д К А

*о впровадженні результатів дисертаційної роботи***Дахно Олега Олександровича**

**«Підвищення ефективності одноківшевого гідравлічного екскаватора
створенням телескопічного робочого обладнання»**

яка виконана на кафедрі «Будівельні і дорожні машини» ДВНЗ

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Розроблена в дисертаційній роботі аспіранта Дахно О. О. методика вибору і призначення раціональних параметрів телескопічного робочого обладнання одноківшевого гідравлічного екскаватора використовується у ДВНЗ «ПДАБтаА» при проведенні науково-дослідних робіт, в навчальних дисциплінах «Машини для земляних робіт», «Дорожні машини», а також дипломному проектуванні по спеціальності 7.050503 «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини і обладнання»

Декан механічного факультету

д. т. н., професор

В. Г. Заренбін

Завідувач кафедрою БДМ

д. т. н., професор

Л. А. Хмара

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«УКРГІДРОБУДПРОЕКТ»
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«УКРГИДРОСТРОЙПРОЕКТ»

49000, Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Карла Лібкнехта, буд. 6
Код ЄДРПОУ 21853965

ДОВІДКА

Про використання результатів дисертаційної роботи **Дахно Олега Олександровича** «Підвищення ефективності одноківшевого гідравлічного екскаватора створенням телескопічного робочого обладнання», яка виконана на кафедрі «Будівельні і дорожні машини» ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Розроблені при виконанні дисертаційної роботи асп. Дахно О. О. методи визначення продуктивності та оцінки ефективності телескопічного робочого обладнання екскаватора впроваджені у планування виконання робіт по будівництву ґрунтових споруд на підприємстві ТОВ «Укргідробудпроект»

Директор ТОВ «Укргідробудпроект»



Л. І. Циганська

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«АТОМБУДНАГЛЯД»
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«АТОМСТРОЙНАДЗОР»
49000, Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Карла Лібкнехта, буд. 6
Код ЄДРПОУ 36365466

ДОВІДКА

Про використання результатів дисертаційної роботи **Дахно Олега Олександровича** «Підвищення ефективності одноківшевого гідравлічного екскаватора створенням телескопічного робочого обладнання», яка виконана на кафедрі «Будівельні і дорожні машини» ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Розроблена при виконанні дисертаційної роботи асп. Дахно О. О конструкція телескопічного робочого обладнання екскаватора впроваджена в експлуатацію на підприємстві ТОВ «Атомбуднагляд» м. Дніпропетровськ, що забезпечило річний економічний ефект у розмірі 203200.00 грн.

Директор ТОВ «Атомбуднагляд»



В. О. Шепелев