

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський інженерно-будівельний інститут

На правах рукопису

КУЛИК Ігор Анатолійович

УДК 621.879.3.064.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ЗАХВАТНО-РОЗПУЩУВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ  
ГІДРАВЛІЧНОГО ЕКСКАВАТОРА

05.05.04 - Шляхові і будівельні машини

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 1992

№ 26.384

Робота виконана на кафедрі "Будівельних і шляхових машин"  
Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту.

Науковий керівник — Заслужений винахідник УКРАЇНИ,  
доктор технічних наук,  
професор Л.А.Хмара.

Офіційні опоненти — доктор технічних наук,  
професор В.К.Руднев;

кандидат технічних наук,  
доцент В.Л.Гіверц.

Провідна установа — Бородянський екскаваторний завод.

Захист відбудеться "10" 02 1993 р. о 14 годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.32.03 у Дніпропетровському  
інженерно-будівельному інституті за адресою: 320600, Дніпропетровськ,  
вул. Чернишевського, 24-А, ДІВІ, ауд.202.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського  
інженерно-будівельного інституту.

Автореферат разіслано "10" 01 1993 року.

Відгуки подаються у двох примірниках із підписом, засвідченим  
печаткою.

Телефон для довідок: 47-35-22.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К 068.32.03  
кандидат технічних наук, доцент

*Handwritten signature*

М.П. Колеснік  
АН УРСР

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00825660 (R)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ. Найбільш поширеною і часто використовуваною будівельною машиною являється гідравлічний одноковшовий екскаватор. Одним із основних напрямків удосконалення робочого обладнання екскаваторів в теперішній час являється розвиток і створення нових конструкцій багатопільових землерийно-маніпуляторних робочих органів, які дозволяють підвищити коефіцієнт використання екскаватора, поєднувати виконання традиційних для екскаватора робіт по розробці ґрунтів (копання, розпушення) з роботами по захвату, переміщенню, маніпуляції та монтажу штучних вантажів без їх строповки, скоротити ручну працю, здійснювати широку адаптацію до різних умов роботи, скоротити кількість спеціалізованої техніки на будмайданчику і відповідно скоротити ремонтну базу.

Перспективним напрямком розвитку землерийно-маніпуляторної техніки являються захватно-розпушувальні робочі органи (ЗРО), які дають змогу поєднувати операції традиційного та кліщового розпушувачів з операціями захвату, переміщення, маніпуляції та монтажу штучних вантажів.

Із цього виходить, що проблема дослідження та визначення раціональних параметрів багатопільових землерийно-маніпуляторних і, зокрема, ЗРО гідравлічного екскаватора являється актуальною.

Шлях роботи являється підвищення ефективності гідравлічного екскаватора при виконанні розпушувальних робіт шляхом його оснащення змінним ЗРО багатопільового призначення маніпуляторного типу з обґрунтуванням його раціональних параметрів.

НАУКОВА НОВИЗНА роботи визначається:

1. Математичними моделями опису процесу розпушування ґрунту одним вертикальним та двома похилими зубами ЗРО багатопільового призначення маніпуляторного типу.

2. З'ясування фізичної суттєвості процесу взаємодії із ґрунтовим середовищем ЗРО багатопільового призначення маніпуляторного типу.

3. Багатофакторними регресійними моделями процесу розпушування ґрунту похилими зубами щелепи ЗРО багатопільового призначення маніпуляторного типу.

4. Математичною моделлю залежності ходу поршня від його діаметру та технологічних умов роботи гідромеханізму приводу ЗРО багатопільового призначення маніпуляторного типу.

5. Науковими рекомендаціями по раціональним параметрам ЗРО багатопільового призначення маніпуляторного типу.

6. Методикою визначення раціональних параметрів гідромеханізму приводу ЗРРО для різних розмірних груп гідравлічних екскаваторів.

7. Методикою визначення раціональних параметрів зубів ЗРРО для різних розмірних груп гідравлічних екскаваторів.

**ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ** визначається: розробленими методиками визначення раціональних параметрів зубів та гідромеханізму приводу ЗРРО для різних розмірних груп гідравлічних екскаваторів; раціональними параметрами ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу; одержаним економічним ефектом від впровадження у народне господарство та в учбовий процес ДІБІ розроблених ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу.

**РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ.** Рекомендації по розрахунку та вибору раціональних параметрів ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу, а також технічна документація на виготовлення даного обладнання на базі екскаватора ЕО-2621В передані Бородянському екскаваторному заводу, в трест "Дніпробудмеханізація", в СБМУ "Спецбуд" тресту "Миколаївбуд", в будівельний трест "Семипалатинск-промстрой", в ПСО "Солнечнострой" Мінвостокстроя, в Ліпецкий трест "Промстрой", в будівельно-монтажний трест "Усть-Илимскгесстрой", в Управління будівництва Смоленської АЕС та інш. ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу на базі екскаватора ЕО-2621В впроваджені в тресті "Дніпробудмеханізація".

Методики визначення раціональних параметрів ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу, стендове обладнання, програми розрахунків на ЕОМ впроваджені в учбовий процес кафедри "Будівельні та шляхові машини" ДІБІ при підготовці інженерів-механіків по спеціальності 15.04 "Підійомно-транспортні, будівельні та шляхові машини і устанкування".

**АПРОБАЦІЯ РОБОТИ.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались на засіданнях та наукових семінарах кафедри "Будівельних та шляхових машин" ДІБІ (1988-1992), на науково-технічних конференціях ДІБІ (1988-1992 р.), в СКБ заводу "Червоний екскаватор" (1988 р.), на 48 науково-практичній конференції КІБІ (1990 р.), на 47, 48 та 49 науково-методичних конференціях МАДІ (1969-1991 р.) на Севастопольській республіканській науково-технічній конференції "Питання надійності та оптимізації будівельних конструкцій, машин і механізмів" (1989 р.), на республіканській науково-технічній конференції "Механізація виробничих процесів у водного господарському будівництві" (1990 р., м. Рівне), на XIV Міжнародній науково-технічній конференції "Механізація та автоматизація земляних робіт" (м. Київ, 1991 р.).

ПУБЛІКАЦІЇ. По результатах досліджень опубліковано 8 статей, одержано 4 авторських свідоцтва на винаходи і одне позитивне рішення Держкомвинаходів.

ОБ'ЄМ РОБОТИ. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, заключення, списку літератури і додатків. Робота вцілому має 192 стор., в тому числі 138 сторінок машинописного тексту, 77 малюнків і 6 додатків.

НА ЗАХИСТ виносяться:

- теоретичні моделі опису взаємодії з ґрунтом одного вертикального та двох похилих зубів ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу;

- математична модель залежності ходу поршня від його діаметру та технологічних умов роботи гідромеханізму приводу ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу;

- стендове обладнання для дослідження процесу розпушування ґрунту ЗРРО гідравлічних екскаваторів;

- результати експериментальних досліджень взаємодії з середовищем ЗРРО багатодільового призначення маніпуляторного типу;

- методика визначення раціональних параметрів гідромеханізму приводу ЗРРО гідравлічних екскаваторів;

- методика визначення раціональних параметрів зубів ЗРРО гідравлічних екскаваторів.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У першій главі зроблено огляд та аналіз конструкцій ЗРРО, досліджень по визначенні раціональних параметрів розпушувальних робочих органів та досліджень гідромеханізмів приводу робочого обладнання гідравлічних екскаваторів.

По патентним джерелам і рекламним матеріалам провідних закордонних фірм виявлена тенденція до створення конструкцій робочих органів, які дозволяють поєднувати розпушувальні роботи із захватно-маніпуляторними роботами із штучними вантажами. Однек виявлені конструкції захватно-розпушувальних робочих органів мають значні відмінності у кількості і просторовому розташуванні зубів. Аналіз конструкцій ЗРРО дозволив зробити висновок про необхідність досліджень, розробки та створення ЗРРО у вигляді шарнірно зв'язаних розпушувальної стійки з одним вертикальним зубом та щелепи з двома похиленими в поперечній площині зубами.

Огляд досліджень по вивченні процесів взаємодії розпушувальних робочих органів з ґрунтами дозволив виявити розроблену в працях проф.

Л.А. Хмери найбільш ефективну, позбавлену емпіричних коефіцієнтів методику визначення зусиль опору розпушуванню ґрунту традиційним розпушувачем. Однак методика розрахунку опору розпушуванню ґрунту похилили в поперечній площині зубами відсутня.

Огляд та аналіз конструкцій ЗРРО, досліджень по визначенню раціональних параметрів розпушувальних робочих органів та досліджень гідромеханізмів приводу робочого обладнання гідравлічних екскаваторів дозволив сформулювати задачі досліджень:

- розробити математичні моделі опису процесу розпушування ґрунту одним вертикальним та двома похилими зубами ЗРРО багатопільового призначення маніпуляторного типу;

- розробити стендове устаткування для дослідження процесу розпушування ґрунту ЗРРО гідравлічних екскаваторів;

- з'ясувати фізичну суть процесу взаємодії з розроблюваним середовищем ЗРРО багатопільового призначення маніпуляторного типу;

- розробити багаточинні експериментальні регресійні моделі процесу розпушування ґрунту зубами ЗРРО багатопільового призначення маніпуляторного типу;

- розробити математичну модель залежності ходу поршня від його діаметру та технологічних умов роботи гідромеханізму приводу ЗРРО багатопільового призначення маніпуляторного типу;

- визначити раціональні параметри ЗРРО гідравлічних екскаваторів різних розмірних груп;

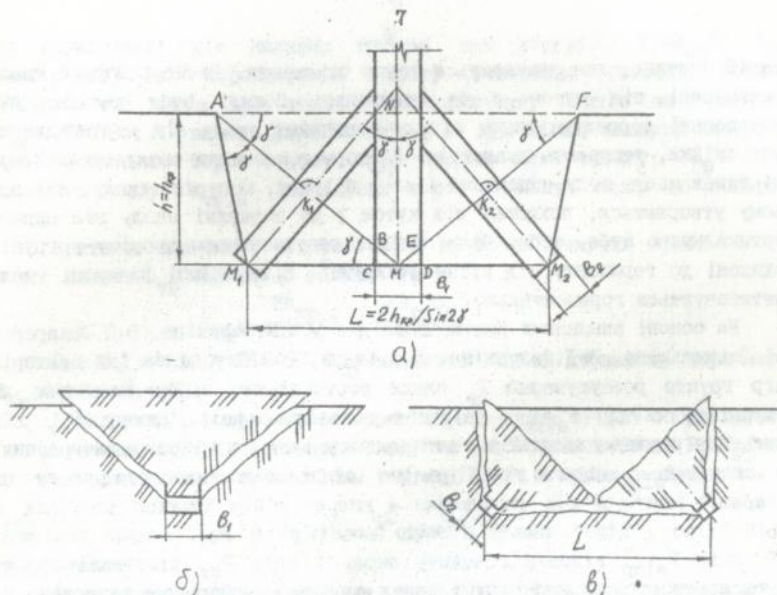
- підтвердити результати досліджень шляхом випробувань натурального ЗРРО багатопільового призначення маніпуляторного типу;

- розробити методику визначення раціональних параметрів гідромеханізму приводу ЗРРО для різних розмірних груп гідравлічних екскаваторів;

- розробити методику визначення раціональних параметрів зубів ЗРРО для різних розмірних груп гідравлічних екскаваторів.

У ДРУГІЙ ГЛАВІ виконані теоретичні дослідження робочих процесів ЗРРО гідравлічних екскаваторів.

При дослідженні геометричних параметрів взаємного просторового розташування зубів ЗРРО виконаний аналіз поперечного перерізу прорізу, яка утворюється в ґрунті при почерговому розпушуванні одним вертикальним зубом стійки і двома похилими зубами щелепи. На мал. 1,а прямими АВ і EF умовно показані лінії сколу, які утворюються під кутом  $\gamma$  до горизонту при розпушуванні одним вертикальним зубом стійки на критичній глибині  $h=h_{кр}$ . У дисертації доведено, що для роботи похилих зубів щелепи у критичному режимі необхідно, щоб кут  $\theta$  нахилу зубів відносно вертикалі дорівнював куту сколу ґрунту в поперечній площині



Мал.1. Схеми взаємного просторового розташування зубів ЗРРО (а) та виникнення елементів сколу при розпушуванні зубом стійки (б) та зубами щелепи (в).

відносно горизонту  $\gamma=35+45^\circ$  і при цьому виконувались співвідношення:

$$L = \frac{2k_{кр} b_1}{\sin 2\gamma}; \quad \frac{b_1}{b_2} = 2\cos\gamma. \quad (1)$$

де  $L$  - відстань між ріжучими краями зубів щелепи;  $k_{кр}$  - коефіцієнт критичного режиму розпушування, для талих ґрунтів  $k_{кр} = 2+4$ , для мерзелих  $k_{кр} = 4+5$ ;  $b_1$  - ширина ріжучого краю зуба стійки;  $b_2$  - ширина ріжучого краю зуба щелепи.

При  $k_{кр}=4+5$  і  $\gamma=35+45^\circ$  відстань між ріжучими краями похилих зубів щелепи приймає значення  $L=(8+10,64)b_1 = (11,31+17,43)b_2$ , а співвідношення ширин ріжучих країв вертикального і похилого зубів  $b_1/b_2=1,41+1,64$ .

В результаті теоретичного аналізу і досліджень процесу розпушування ґрунту встановлені наступні основні закономірності взаємодії тризубого ЗРРО із ґрунтом. Вертикальний зуб стійки руйнує ґрунт аналогічно традиційному однозубому розпушувачу (мал. 2,а). Проріз у ґрунті, який при цьому утворюється, має трапецієподібну форму верхньої частини, яка називається зоною відриву, та прямокутну форму у

нижній частині, яка називається зоною стиснення. Бічні поверхні сколу розташовані під кутом  $\gamma$  до горизонту. Похилі зуби щелепи, які розташовані перпендикулярно бічним поверхням сколу від вертикального зуба стійки, утворюють аналогічні за формою елементи сколу (мал. 2, г), які також мають зону стиснення і зону відриву. Поверхні сколу, які при цьому утворюються, похилені під кутом  $\gamma$  до поверхні сколу від одного вертикального зуба, тобто бічні стінки результирующего прорізу у ґрунті похилені до горизонту під кутом  $2\gamma=70+90^\circ$ , а внутрішні поверхні сколу розташовуються горизонтально.

На основі виконаних раніше досліджень Е.М.Зеленіна, В.О.Захарова, М.І.Ровинського, В.Д.Телушкіна, Л.А.Хмари, С.В.Шатова та інш. авторів опір ґрунта розпушуванню  $P_D$  одним вертикальним зубом визначено як сукупність опору  $P_{\text{відр}}$  відриву елемента сколу, опору  $P_{\text{ст}}$  від стиснення ґрунту у нижній частині прорізу і перед площиною затуплення, та опору  $P_{\text{під}}$  від підйому раніше відділеного елемента сколу на поверхню:

$$P_D = P_{\text{відр}} + P_{\text{ст}} + P_{\text{під}} \quad (2)$$

Опір  $P_{\text{відр}}$  відриву елемента сколу і опір  $P_{\text{ст}}$  стисненню ґрунту перед лобовою поверхнею зубу і перед площиною затуплення визначено за методикою проф. Л.А. Хмари. Опір підйому елемента сколу  $P_{\text{під}}$  у дисертації визначено для випадку заклинювання елемента сколу між вертикальною стійкою розпушувача та передньою похиленою під кутом  $\phi_1$  поверхнею сколу.

Для визначення складових частин опору розпушуванню двома похиленими зубами щелепи при розпушуванні "слід у слід" після проходження одного зуба стійки розроблені такі залежності:

$$P_{\text{відр}} = \sigma_1 \frac{L}{2} \sin \gamma \frac{\text{tg} \rho}{\text{tg} \phi_1} \left[ b_2 + \frac{l_1}{2} \sin \gamma \left( \frac{\pi}{2 \text{tg} \phi_1} + \frac{\cos \phi_1}{\sin \gamma} \right) \right]; \quad (3)$$

$$P_{\text{ст}} = \sigma_{\text{ст}} b_2 \left[ \left( \frac{L-l_1}{2} \sin \gamma + \frac{(L-l_1)^2}{16b_2} \right) \frac{\text{tg} \rho}{\text{tg} \phi_2} + t \frac{\sin(\delta+\mu)}{\cos \mu} \right]; \quad (4)$$

$$P_{\text{під}} = \gamma_{\text{гр}} V_{\text{гр}} \frac{\text{tg} \phi_1 + k_{\text{тр.с}}}{1 - \text{tg} \phi_1 k_{\text{тр.с}}}, \quad (5)$$

$$\text{де } V_{\text{гр}} = \frac{l_1}{8} \sin^2 \gamma \text{tg} \phi_1 \left[ b_2 (L+l_1) + \frac{l_1^2}{3} \left( -\frac{\pi}{2} + 1 \right) \cos \gamma \right]. \quad (6)$$

У формулах (3)–(6) прийняті наступні позначення:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{\text{ст}}$  – межі міцності мерзлого ґрунту при розриві та стисненні;  $L$  – відстань між центрами ріжучих країв зубів щелепи;  $\gamma$  – кут сколу ґрунту у поперечній площині;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя;  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  – кути сколу ґрунту у продольній площині у верхній та нижній частинах прорізу;  $l_1$  – відстань

по горизонталі між нижніми точками зон відриву,  $l_1 = k_{ск} L$ ;  $k_{ск}$  - коефіцієнт, що характеризує висоту утворення бокових похилих поверхностей сколу при глибині розпушування, меншій за критичну,  $k_{ск} = 0,7 + 0,95 t$ ;  $t$  - висота площини зносу;  $\delta$  - кут нахилу площини зносу;  $\mu$  - кут зовнішнього тертя ґрунту;  $\gamma_{гр}$  - питома вага ґрунту;  $V_{гр}$  - об'єм елемента сколу;  $k_{тр.с}$  - коефіцієнт тертя елемента сколу по поверхні сколу.

Критичне значення відстані між центрами режучих країв зубів щелепи  $L_{кр}$  визначено залежністю

$$L_{кр} = \frac{2h_{кр.з}}{\sin\gamma} = \frac{2k_{кр} b_2}{\sin\gamma}.$$

При  $k_{кр} = 4+5$ ,  $\gamma = 35+45^\circ$   $L_{кр}$  визначено співвідношенням параметрів  $L_{кр} (11,3+17,4 b_2)$ .

У дисертації розроблені алгоритми розрахунку зусиль опору ґрунтів розпушуванню, об'ємів елементів сколу та питомого показника  $P_p/\sqrt{V_{гр}}$  для одного вертикального зуба стійки у функції від глибини розпушування  $H_p$  і для двох похилих зубів щелепи в залежності від відстані  $L$  між її ріжучими краями (при розпушуванні зубами щелепи "слід у слід" після зуба стійки).

Результати розрахунку для мерзлого суглинку та параметрів робочого органу екскаватора ЕО-2621В представлені у вигляді графіків (мал. 2). Питомий показник  $P_p/\sqrt{V_{гр}}$  характеризує енергомісткість процесу розпушення і при розпушуванні зубом стійки має яскраво виявлений мінімум при критичній глибині розпушення, яка при ширині зуба 45 мм дорівнює 210 мм. При розпушуванні двома похилими зубами щелепи характер одержаних графічних залежностей є аналогічним до процесу розпушування ґрунту одним вертикальним зубом стійки. Мінімум питомого показника відповідає критичному значенню  $L$ , яке при ширині кожного з похилих зубів щелепи 30 мм дорівнює 420 мм.

Дослідження механізму гідроприводу щелепи ЗРРО дозволило виявити залежність ходу  $S$  поршня гідроциліндру у функції від його діаметру  $D$  та параметрів робочих процесів ЗРРО

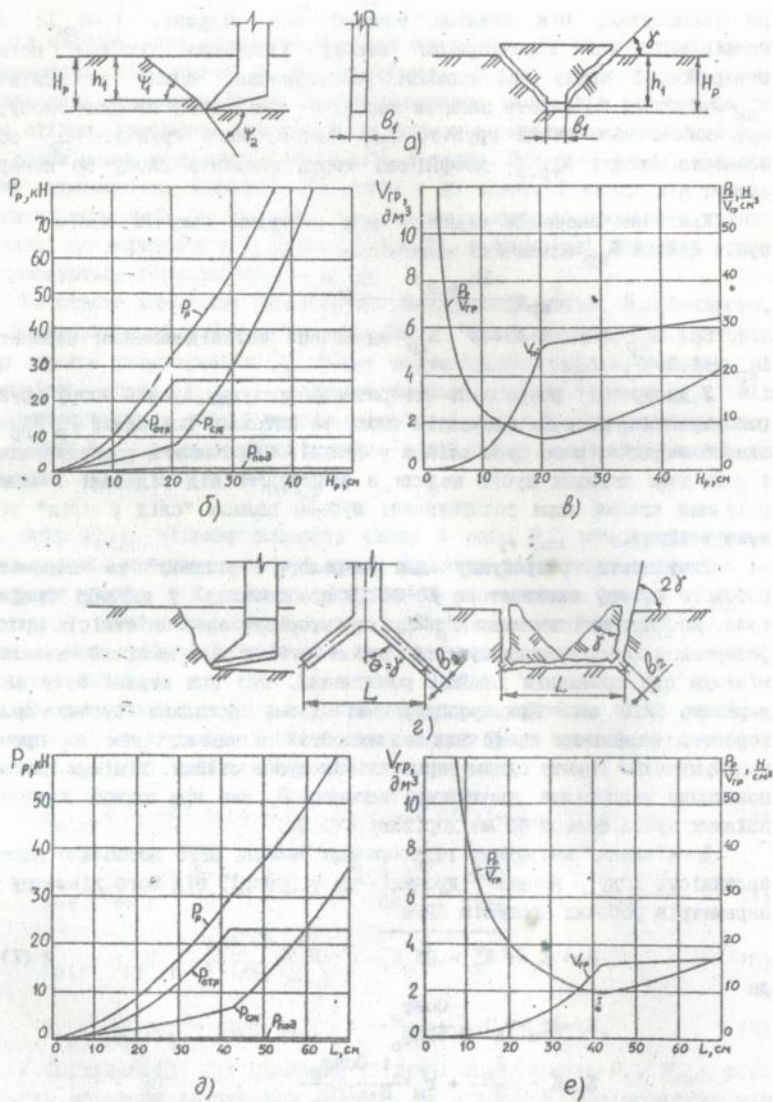
$$S = K_2 + \sqrt{K_2^2 - 2S_0 K_1}, \quad (7)$$

де

$$K_1 = (\gamma_k + \gamma_n) \frac{1 - \cos\varphi_0}{3 \cdot \sin\varphi_0};$$

$$K_2 = K_1 - \frac{S_0}{3} + \gamma_k \cdot \frac{1 - \cos\varphi_0}{3 \cdot \sin\varphi_0}.$$

Тут  $S_0$  - конструктивний розмір кришок, поршня та проушин гідроциліндру, який визначається відповідно до діаметру поршня,  $\varphi_0$  -



Мал.2. Схеми розгущування ґрунту і графічні залежності опору ґрунтів розгущуванню, об'ємів елементів сколу та питомих показників  $P_p \sqrt{V_{гр}}$  при розгущуванні зубом стійки (а, б, в) і зубами щелепи (г, д, е).

максимальний кут розкриття щелепи ЗРРО.

Для розрахунку ходу поршня по формулі (7) необхідно попередньо розрахувати плечі  $r_H$  та  $r_K$  зусилля гідроциліндра відповідно при втягнутому та висунутому штоці. Плече  $r_H$  визначене з умови утримання вантажу вагов  $G$  відповідно номінальної вантажопідйомності екскаватора за рахунок сил тертя (мал.3,а):

$$r_H = \frac{2GR}{k_{тр} \pi D^2 P_{ц} \cos(\varphi_0/2)} \quad (8)$$

де  $R$  - радіус щелепи;  $k_{тр}$  - коефіцієнт тертя сталевій щелепі по матеріалу вантажу (наприклад, залізобетонного блоку);  $P_{ц}$  - тиск робочої рідини у гідроциліндрі.

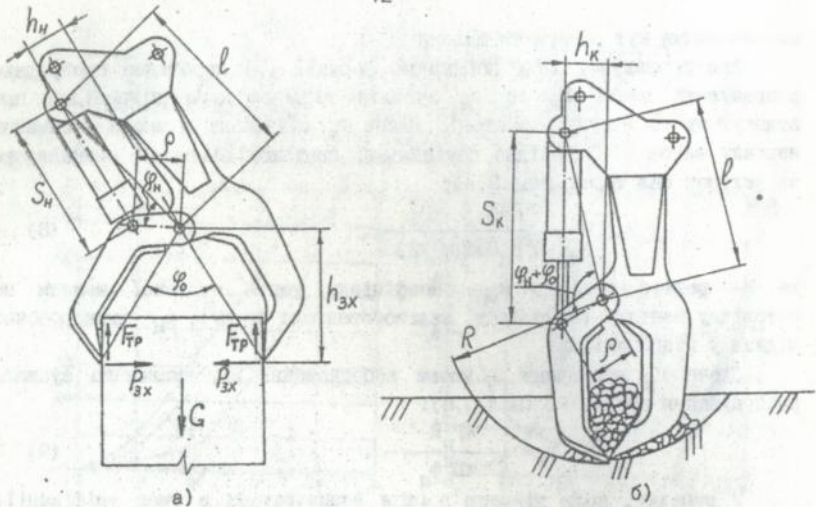
Плече  $r_K$  визначене з умови забезпечення максимального зусилля розпушування ґрунту  $P_p$  (мал.3,б):

$$r_K = \frac{4P_p R}{\pi D^2 P_{ц}} \quad (9)$$

У випадку, коли діаметр поршня визначається з умов уніфікації, залежності (7)-(9) дозволяють розрахувати оптимальне значення ходу поршня, тобто мінімальне його значення, при якому забезпечуються задані навантаження і кут повороту щелепи ЗРРО. Полярні координати  $\rho$  і  $\angle$  шарнірів гідроциліндру відносно шарніру повороту щелепи визначаються по формулам В.К. Тимошенка.

Залежності (7)-(9) дозволяють розрахувати ряд варіантів гідромеханізмів у відповідності до ряду нормалізованих діаметрів поршня  $D$ . У дисертації розроблені блок-схема та програма такого розрахунку. Результати розрахунку для даних екскаватора ЕО-2621В-2 та ряду діаметрів гідроциліндрів по нормалі ОН-22-176-69 подані в дисертації у вигляді графічних залежностей ходу поршня  $S$  та координат  $\rho$  і  $\angle$  від діаметру гідроциліндра  $D$ , які дозволяють оцінити вплив діаметру поршня на лінійні розміри гідромеханізму та визначити найбільш раціональні значення діаметру поршня. Усі три залежності являють собою гіперболи. Аналіз графіка координати  $\angle$  показав, що приймати значення  $D$  менше, ніж 100 мм, не слід, бо це призведе до великих габаритів ЗРРО. При зростанні діаметру поршня  $D$  більш, ніж 120 мм, координата  $\rho$  приймає значення менше, ніж 110 мм, що не можна допустити внаслідок накладення шарнірів щелепи одне на одного. Інтервал найбільш раціональних значень діаметру гідроциліндру для приводу щелепи ЗРРО на базі екскаватора ЕО-2621В складає 100-120 мм.

У ТРЕТІЙ ГЛАВІ подані експериментальні дослідження робочих процесів ЗРРО. Експериментальні дослідження проводилися з метою з'ясування фізичної сутті процесу почергового розпушування одним



Мал.3. Схеми робочих процесів ЗРО: а- утримання вантажу вагов  $G$  за рахунок сил тертя; б- розпушування ґрунту зубами щелепи.

вертикальним та двома похилими зубами і підтверження теоретичних результатів визначення раціональних параметрів ЗРО та зусиль опору розпушуванню.

У зв'язку із складністю та високою собівартістю досягнення вказаної мети у натурних умовах експериментальні дослідження виконувались у два етапи:

- фізичне моделювання процесу розпушування ґрунту у лабораторних умовах та визначення раціональних параметрів зубів ЗРО;
- дослідницькі випробування натурального робочого органу з раціональними параметрами.

Визначені критерії подібності і складені вимоги фізичного моделювання робочих процесів ЗРО. Розроблене та виконане стендове обладнання для досліджень ЗРО на фізичних моделях.

Моделювання процесу розпушення ЗРО здійснювалось за допомогою фізичних масштабних моделей (М 1:5) у вигляді одного вертикального та двох похилих зубів. За модель мерзлого ґрунту правив еквівалентний матеріал, який за своїми характеристиками аналогічний мерзлому суглинку при температурі  $t = (-1 \dots -5)^\circ\text{C}$  і вологості 8% :  $c = 92 + 96$  ударів густиноміру ДорнДІ.  $\sigma_{ст} = 1,91$  МПа,  $\sigma_p = 0,47$  МПа.

У процесі дослідження вар'ювались такі параметри зубів:  $\theta$ - кут

нахилу зубів відносно вертикалі, інтервал вар'ювання  $\theta=30+60^\circ$ ;  $L$ - відстань між центрами ріжучих країв обох нахилених зубів, інтервал вар'ювання  $L=70+90$  мм;  $b_1$ - ширина ріжучого краю вертикального зуба, інтервал вар'ювання  $b_1=6+11$  мм. Ширина ріжучого краю нахиленого зуба приймалася незмінною  $b_2=6$  мм. Глибина розпушення приймалася  $H_p=40$  мм усереднено з інтервалу  $H_p=b_1 \cdot k_{кр}=(6+11) \cdot 5=30+55$  мм.

З метою скорочення числа дослідів застосовувалося  $D$ -оптимальне насичене планування експерименту.

Експериментальні дослідження ЗРРО проводилися на стенді у такій послідовності: підготовка моделі ґрунту у контейнері, планування поверхні ґрунту, установлення необхідної глибини розпушення та дослідження процесу взаємодії робочого органа з ґрунтом.

Розпушування здійснювалось по чергово "слід у слід" одним вертикальним і двома похилими зубами при переміщенні по одному радіусу та при однаковому заглибленні. Опір ґрунту розпушенню визначався тензометрируванням. Зруйнований у процесі розпушення ґрунт зважувався.

У результаті моделювання процесу розпушення було встановлено, що як вертикальний, так і похилий зуб утворюють елементи сколу, форма перерізу яких близька до трикутної. Однак внаслідок нахилу бокових зубів результуючий проріз у ґрунті після проходу одного вертикального та двох похилих зубів по формі перерізу наближений до прямокутного (мал.1,в). Прямокутна форма перерізу прорізу дозволяє пошарно її поглиблювати до утворення траншеї.

В результаті математичної обробки на ЕОМ отриманих дослідних даних складені рівняння регресії залежностей середньо-максимального значення дотичної складової зусилля опору ґрунту розпушенню  $P_{ср.м}$  та ваги розпушеного ґрунту  $G$  для двох похилих зубів при розпушенні після проходу одного вертикального зуба в функції від кута нахилу зубів  $\theta$ , відстані між зубами  $L$  та ширини ріжучого краю  $b_1$ :

$$P_{ср.м} = 450,1 - 3,095 \cdot L - 19,638 \cdot b_1 - 9,974 \cdot \theta + 0,0499 \cdot L \cdot b_1 + \\ + 0,0237 \cdot L^2 + 0,855 \cdot b_1^2 + 0,1105 \cdot \theta^2, \text{ дН};$$

$$G = 752,9 + 15,799 \cdot L + 50,903 \cdot b_1 + 3,002 \cdot \theta + 0,078 \cdot L \cdot \theta - 0,053 \cdot b_1 \cdot \theta - \\ - 0,0892 \cdot L^2 - 3,136 \cdot b_1^2 - 0,0941 \cdot \theta^2, \text{ г}.$$

За рівняннями регресії побудовані графічні залежності зміни середньмаксимального значення дотичної складової зусилля опору розпушенню ґрунту  $P_{ср.м}$ , ваги зруйнованого ґрунту  $G$  та питомого показника  $P_{ср.м}/G$  у залежності від параметрів зубів.

Рівняння регресії та одержані графічні залежності свідчать про наявність екстремуму питомого показника  $P_{ср.м}/G$  від параметрів моделей

$\theta, L$  і  $b_1$  та відносних параметрів  $b_1/b_2$  та  $L/b_2$ . В результаті аналізу рівнянь регресії сформовані інтервали найбільш раціональних параметрів робочих органів такого вигляду:

$$\theta = 40 + 50^\circ;$$

$$L = (11,5 + 14)b_2;$$

$$b_1 = (1,3 + 1,5)b_2.$$

При співставленні результатів теоретичних та експериментальних досліджень процесу взаємодії зубів ЗРРО з ґрунтом встановлено, що їх розбіжність не перевищує 15-20%.

Виконані дослідницькі випробування натурального ЗРРО у вигляді двопальцевого схвата-розпушувача на базі екскаватора ЕО-2621В-2, у результаті яких встановлена працездатність робочого обладнання при виконанні розпушувальних робіт як у традиційному режимі, так і при почерговому розпушенні ґрунту зубами стійки. Заглиблення зубів у ґрунт складало до 250 мм. Ширина утвореного у ґрунті прорізу 370-400 мм, форма близька до прямокутної. Випробування дозволили виявити можливість поглиблення прорізу із утворенням трапеї шириною 400 мм у верхній частині та 380 мм у основі і глибиною 750 мм та більше. При цьому розпушуваний ґрунт виштовхується на поверхню лобовим листом щелепи.

У ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень та проведених дослідницьких випробувань натурального захватно-розпушувального робочого органу сформовані області раціонального використання ЗРРО гідравлических екскаваторів:

- розпушення міцних та мерзлих ґрунтів і злежаних будматеріалів у традиційному режимі одним верикальним зубом;

- розпушення мерзлих ґрунтів почергово одним зубом стійки і двома похилими зубами щелепи з одночасним переміщенням розпушеного ґрунту попереду лобового листа щелепи та його витискуванням на поверхню, розпушення здійснюється пошарно до глибини трапеї;

- відривання старих асфальтобетонних шляхових покриттів у традиційному режимі одним зубом;

- ключове зламвання асфальтобетонних та інших покриттів між зубом стійки та зубами щелепи ЗРРО;

- ключове руйнування стін і негебаритів при знесенні одноповерхових будов у обмежених умовах, уламок стискується між ріжучими краями стійки та щелепи ЗРРО;

- розтягування завалів при знесенні домів та при стихійних лихах;

- навантаження штучного будівельного мусору при знесенні домів і розбиранні завалів без виконання стропування лантажів шляхом їх

фіксації між передньою гранню зуба стійки та лобовим листом щелепи ЗРРО;

- витягування та установлення гранітних та залізобетонних бордюрих каменів при ремонті та будівництві міських доріг;

- навантажувально-розвантажувальні та монтажні роботи із гранітними та залізобетонними бордюрих каменями, трубами та іншими штучними вантажами без їх стропування через фіксацію вантажу між передньою гранню зуба стійки та лобовим листом щелепи.

Розроблені методика визначення раціональних параметрів гідромеханізмів приводу ЗРРО та методика визначення раціональних параметрів зубів ЗРРО для різних розмірних груп гідравлических екскаваторів.

Визначені раціональні значення параметрів ЗРРО гідравлических екскаваторів 2, 3 і 4-ї розмірних груп.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі огляду та аналізу конструкцій розпушувальних, захватно-маніпуляторних і ЗРРО гідравлических екскаваторів по патентних та науково-технічних джерелах виявлена тенденція по розробленню та створенню робочих органів, які суміщують розпушувальні і захватно-маніпуляторні функції. Аналіз відомих конструкцій дозволив уперше розробити ЗРРО, який дозволяє з мінімальними енерговитратами здійснювати прямокутний проріз у мерзлому ґрунті з наступним його поглибленням до глибини траншеї через почергове розпушення ґрунту одним вертикальним зубом стійки та двома похилими у поперечній площині зубами щелепи ЗРРО.

2. Теоретичний аналіз процесу взаємодії одного вертикального зуба стійки та двох похилих зубів щелепи ЗРРО дозволив встановити, що утворення близьких до горизонталі та вертикалі поверхньої сколу здійснюється при розміщенні похилих зубів щелепи перпендикулярно до поверхні сколу від одного вертикального зуба стійки, тобто під кутом  $\theta = \gamma = 35 \dots 45^\circ$  відносно вертикалі.

3. Теоретичне дослідження геометричних параметрів взаємного просторового розташування зубів стійки та щелепи ЗРРО дозволило встановити інтервал раціональних значень відстаней між ріжучими краями похилих зубів щелепи в залежності від ширини ріжучого краю вертикального зуба стійки  $L = (8 \dots 10,64)b_1$ , а також інтервал раціональних значень співвідношення ширин ріжучих країв вертикального зуба стійки та похилих зубів щелепи  $b_1/b_2 = 1,41 \dots 1,64$ .

4. Розроблені математичні моделі процесу розпушення ґрунту зубами

ЗРРО, які дозволили встановити залежність опору розпушенню  $P_p$ , об'єму елементу сколу  $V_{гр}$  та питомого показника  $P_p/V_{гр}$  від геометричних параметрів та умов протікання робочого процесу ЗРРО. Аналіз робочих процесів ЗРРО за допомогою отриманих математичних моделей дозволив встановити, що характер залежностей  $P_p$ ,  $V_{гр}$  та  $P_p/V_{гр}$  у функції від відстані  $L$  між ріжучими краями похилих зубів при розпушенні зубами щелепи "слід у слід" після проходу зуба стійки аналогічний характеру тих же залежностей при розпушенні одним зубом стійки у функції від глибини розпушення. Встановлений інтервал значень критичної відстані  $L_{кр}$  у залежності від ширини ріжучого краю зуба стійки  $L_{кр} = (11,3 + 17,4)b_2$ .

5. В результаті теоретичного дослідження гідромеханізму приводу щелепи ЗРРО розроблено математичну модель залежності ходу поршня  $S$  гідروциліндра приводу щелепи від його діаметру  $D$  і технологічних умов роботи гідромеханізму приводу робочого органу. Складено алгоритм розрахунку на ЕОМ ряду оптимізованих рівноцінних по силових параметрах варіантів гідромеханізму приводу щелепи відповідно ряду нормалізованих значень діаметру поршня гідроциліндра. Алгоритм дозволяє для кожного значення діаметру поршня розрахувати параметри гідромеханізму з мінімальними, габаритними розмірами при забезпеченні заданих навантажень ( $P_p$ ,  $G$ ) та технологічних параметрів ( $\varphi$ ,  $R_{гр}$ ).

6. Уперше розроблене й створене стендове обладнання, яке дозволяє виконувати моделювання робочих процесів ЗРРО багатопільового призначення маніпуляторного типу.

7. Проведені експериментальні лабораторні дослідження дозволили з'ясувати фізичну суть процесу утворення елементів сколу при по черговому розпушенні одним вертикальним та двома похилими зубами: утворення поверхневої сколу при розпушенні похилими зубами щелепи здійснюється близько до горизонталі між зубами та близько до вертикалі з зовнішнього боку зубів.

8. В результаті регресійного аналізу одержаних дослідних даних розроблені багатифакторні експериментальні регресійні моделі для опору розпушенню і ваги розпушеного ґрунта у залежності від параметрів робочого органу. На основі одержаних математичних моделей побудовані графічні залежності зусилля розпушення  $P_p$ , ваги розпушеного ґрунта  $G$  та питомого показника  $P_p/G$  у функції від кута нахилу зубів щелепи у поперечній площині, від співвідношення ріжучих країв стійки та щелепи та від відношення відстані між краями до ширини ріжучого краю зуба щелепи. Аналіз графічних залежностей дозволив визначити раціональні інтервали значень параметрів зубів:  $\theta = 40 + 50^\circ$ ,  $L = (11,5 + 14)b_2$ ,  $b_1 = (1,3 + 1,5)b_2$ .

9. На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень визначені раціональні параметри гідравлических екскаваторів 2, 3, і 4-ї розмірних груп.

10. Дослідницькими випробуваннями натурального ЗРРО у вигляді двопальцевого схвату-розпушувача на базі екскаватора ЕО-2621В-2 встановлено працездатність робочого обладнання при виконанні розпушувальних робіт як при традиційному, так і при почерговому розпушенні ґрунту зубами ЗРРО. Ширина утвореного в ґрунті прорізу 370-400 мм. форма близька до прямокутної. Випробування дозволили встановити можливість поглиблення прорізу з утворенням траншеї.

11. На підставі результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень у лабораторних і натурних умовах розроблені області раціонального використання гідравлических екскаваторів, методика визначення раціональних параметрів гідромеханізму приводу ЗРРО та методика визначення раціональних параметрів зубів ЗРРО для різних розмірних груп гідравлических екскаваторів.

Річний економічний ефект від експлуатації одного ЗРРО на базі екскаватора ЕО-2621 В-2(3) склав 266,1 тис.крб. (за станом цін на 1.10.92).

#### ПУБЛІКАЦІЇ ПО МАТЕРІАЛАХ ДИСЕРТАЦІЇ

1.Хмара Л.А., Кулик И.А. Стенд для исследования рабочих процессов двухпальцевого строительного схвата многоцелевого назначения.- Днепропетровск: Облполиграфиздат, 1989.-5 с.

2.Хмара Л.А., Кулик И.А., Курочка В.И. Рабочее оборудование многоцелевого назначения на базе экскаватора ЭО-2621А// "Механизация строительства",1990, №2,с.8-9.

3.Хмара Л.А., Кулик И.А. Определение рациональных параметров захватно-рыхлительных рабочих органов гидравлического экскаватора // "Строительные и дорожные машины", 1992, №6, с.7-9.

4.Хмара Л.А., Кулик И.А. Оптимизация выбора гидроцилиндров и расчета параметров рычажного гидромеханизма// "Строительные и дорожные машины", 1991, №6, с.19-21.

5.Хмара Л.А., Кулик И.А. Рычажный механизм гидропривода землеройно-манипуляторного рабочего органа в виде двухпальцевого схвата // В сб. "Исследование рабочих органов-манипуляторов дорожных машин"- М.: МАДИ, 1989 - с. 21-26.

6.Хмара Л.А.,Кулик И.А. Исследование механизма привода землеройно-манипуляторного рабочего оборудования в виде двухпальцевого схвата.// В сб. "Механизация и автоматизация строительства", Киев: УМК

АНБ Ін. В. Стефанія  
АН УРСР

ВО, 1991, с.22-30.

7.Хмара Л.А., Кулик И.А. К вопросу оптимизации выбора гидроцилиндров и расчета параметров рычажного гидромеханизма// В сб. "Повышение эффективности и качества строительства в новых условиях хозяйствования", Киев: УМК ВО, 1992, с.154-162.

8.Хмара Л.А., Кулик И.А. Физическое моделирование процессов взаимодействия с грунтом захватно-рыхлительных рабочих органов гидравлических экскаваторов / В сб. "Интенсификация строительного производства." - Киев: УМК ВО, 1992.- с.62-71.

9.Хмара Л.А., Шатов С.В., Мелашич В.В., Голубченко А.И., Кулик И.А., Курочка В.И. Исследование рабочих процессов землеройно-манипуляторного рабочего оборудования многоцелевого назначения// "Механизация и автоматизация земляных работ", сборник докладов XIV международной научно-технической конференции, Киев, 1991, с.295-297.

10.Хмара Л.А., Кулик И.А. Оптимизация параметров землеройно-манипуляторного рабочего оборудования с двухпальцевым схватом на базе гидравлических экскаваторов// Материалы конференции "Вопросы надежности и оптимизации строительных конструкций машин и механизмов".Тезисы докладов.- Севастополь,1989,с.86-87.

11.Хмара Л.А., Кулик И.А. Исследование механизма привода землеройно-манипуляторного рабочего органа гидравлического экскаватора// Механизация производственных процессов в водохозяйственном строительстве. Тезисы докладов респ. научно-техн. конф., г.Ровно, 1990.- с.2.

12.Хмара Л.А., Кулик И.А. Исследование процессов взаимодействия со средой землеройно-манипуляторного рабочего органа в виде схват-рыхлителя // Механизация производственных процессов в водохозяйственном строительстве. Тезисы докладов респ. научно-техн. конф.,г.Ровно, 1990.- с.16.

13.Хмара Л.А., Кулик И.А. Исследование и определение рациональных параметров захватно-рыхлительных рабочих органов гидравлических экскаваторов// Материалы научно-практ. конф., г.Суздаль, 1992.- с.63-64.

14.Хмара Л.А., Кулик И.А. Исследование процесса рыхления грунта многоцелевым рабочим органом в виде двухпальцевого схвата-рыхлителя// Материалы научно-техн.конф. Тезисы докладов, Воронеж, 1991.- с.119-119.

15.Хмара Л.А., Кулик И.А. Оптимизация выбора гидроцилиндров для привода рычажных механизмов строительных машин// Материалы научно-техн. конф. Тезисы докладов, Воронеж, 1991.- с.119.

16. А.С. № 1627621 (СССР). Рабочее оборудование рыхлителя/ Л.А.Хмара, В.И. Беловнев, С.В.Шатов, И.А.Кулик и др., Опубли. в Б.И., 1991, № 6.

17. А.С. № 1585425 (СССР). Рабочее оборудование бордироукладчика/ Л.А.Хмара, С.В.Шатов, И.А.Кулик и др. - Оpubл. в Б.И., 1990, № 30.

18. А.С. № 1664952 (СССР). Рабочее оборудование бордироукладчика/ Л.А.Хмара, С.В.Шатов, И.А.Кулик и др. - Оpubл. в Б.И., 1991, № 27.

19. А.С. № 1700150 (СССР). Рабочее оборудование гидравлического экскаватора/ Л.А.Хмара, А.М.Голубченко, И.А.Кулик и др. - Оpubл. в Б.И., 1991, № 47.

20. Стенд для исследования рабочих органов гидравлического экскаватора/ Л.А.Хмара, И.А.Кулик, А.М.Бобко./ Заявка на изобретение №4892146 от 18.12.90, полож. реш. ВНИИПИ от 25.10.91.

AB 26.384

**AB 26.384**