

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

УДК 624.132.3

РУСАН Ігор Володимирович

СТВОРЕННЯ БІФУНКЦІОНАЛЬНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО
ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

05.05.04 - Дорожні і будівельні машини

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

К и ї в - 1993

АВ 29, 755

Робота виконана у Київському державному
технічному університеті будівництва і
архітектури

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00801716 (N)

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор,
академік АН України Баладіньський В.Л.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Нічке В.В.;
кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник Бажан В.Т.

Провідна установа - Бородянський екскаваторний завод
Міністерства машинобудування, військово-
промислового комплексу і конверсії
України

Захист відбудеться "22" квітня 1994 р. о 13 годині
на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 068.05.01
в Київському державному технічному університеті
будівництва і архітектури за адресою : 252037, Київ - 37,
Повітрофлотський проспект, 31, КДТУБА

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці КДТУБА

Автореферат розісланий "18" березня 1994р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої Ради,
кандидат технічних наук,
доцент

 Гарнець В.М.

Актуальність роботи. Нарівні зі збільшенням парку будівельних машин для земляних робіт, яке супроводжується підвищенням їх потужності, універсальності та економічності, в нинішній час, найбільш слабкою ланкою в організації комплексної механізації земляних робіт виявляється відсутність спеціальних машин та устаткування для роботи в таких умовах, де користування існуючою технікою неефективне (в умовах обмеженої робочої зони, або малих обсягів робіт). Такі види земляних робіт виконуються, як правило, вручну, складають біля 3,5% від загальних обсягів, а трудові витрати на них перевищують 60%.

Вирішення даної проблеми може здійснюватись шляхом розробки та випуску різного по функціональному призначенню механізованого інструмента. Сучасна закордонна промисловість (за межами СНД) поставляє на ринок мікромашини з ручним керуванням, які призначені для виконання одного виду земляних робіт. Розширення технологічних можливостей такого роду техніки дозволить розв'язати ряд технічних (підвищення продуктивності праці; механізація найбільш масових видів земляних робіт, що виконуються вручну), економічних (зниження собівартості робіт; краще використання та економія робочої сили) і соціальних (підвищення престижності робочих місць) задач.

Із вищевикладеного слідує, що створення механізованих інструментів, які забезпечують виконання декількох функціональних призначень без зміни робочих органів (біфункціональний механізований інструмент - БМІ) виявляється актуальним питанням, що спрямоване на удосконалення існуючих і створення нових засобів малої механізації для земляних робіт.

Ціль роботи визначається в розробці методики розрахунку, створенні та дослідно-промислового впровадженні біфункціонального механізованого інструмента для утворення і заміни траншей.

Наукова новизна роботи полягає у створенні низькоенергоємного процесу розробки профіля завою шляхом сполучення параметрів вібровіртання ґрунтового цівлика просторово-орієнтованими ріжучими елементами та його транспортування, що частково реалізується при вирізанні (ефект самонабору).

В роботі вперше встановлено:

а). нові принципи роботи землерийного механізованого інструмента:

- руйнування ґрунтових зв'язків масива здійснюється тільки по встановленому периметру активізованим робочим органом, при цьому керована орієнтація його ріжучих елементів забезпечує мінімальні силові та енергетичні параметри процесу;
- зусилля розробки профіля забоя реалізується транспортуючим виконавчим органом, як додаткова тяга інструмента;

б). закономірності, що визначають силові та енергетичні характеристики взаємодії ріжучих профілей, що складають віброактивізований орган вирізючого типу, від його кінематичних та геометричних параметрів;

в). залежності впливу параметрів транспортування ґрунтового цілика на значення зусилля пересування конвейера (ефект самонапору) та енергоємність процесу.

Практична цінність роботи визначається розробленою методикою розрахунку параметрів БМІ і створеним дослідно-промисловим зразком інструмента.

Реалізація роботи. По результатам роботи розроблена технічна документація та створений механізований інструмент для утворення і засипання траншей.

Економічний ефект від дослідно-промислового впровадження БМІ становить 17,6 тис.крб. (в нормах і розцінках на І.ОІ.9Ір.).

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались на 49 - 53 науково-практичних конференціях КІБІ (Київ, 1988-1992), на Республіканському семінарі молодих вчених по проблемам механізації і автоматизації земляних робіт у будівництві (Київ, 1988), науково-технічній конференції спілки "Знання" України по інтенсифікації робочих процесів землерийних машин у будівництві (Київ, 1989), на 50-й науково-технічній конференції ВІБІ (Воронеж, 1991).

Робота в цілому доповідалась та схвалена на засіданні кафедри будівельних машин КДТУБА.

- На захист виносяться такі суттєві результати досліджень:
- нові принципи роботи землерийного мельнізованого інструмента;
 - закономірності змінності силових та енергетичних параметрів процесу взаємодії з робочим середовищем вібраційного органу вирізючого типу, а також залежності, що визначають вплив параметрів транспортування ґрунтового цілика на значення зусилля розробки профіля забоя і енергоємність процесу;
 - методика розрахунку параметрів БМІ для утворення та засипання траншей.

Публікації. По матеріалах роботи опубліковано 10 друкованих праць.

Дослідження реалізовані в технічних рішеннях БМІ, новизну котрих підтвержують авторське свідоцтво №І740569 "Устройство для блочной разработки связанных грунтов" і рішення на видачу патенту №4954976 "Эксплуатационный механизированный инструмент".

Об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, 4 глав, закінчення, переліка використаної літератури з 99 найменувань, 7 додатків; вміщує 43 рис. та 22 табл.

Загальний об'єм дисертації складає 188 стр., об'єм основного тексту 133 стр., додаток - 55 стр.

ЗМІСТ РОБОТИ

В середині 80-х років на ринок стали надходити траншеєкопачі з ручним керуванням, котрі призначені для утворення траншей під прокладання телевізійного та телефонного кабелів, трубо- і газопроводи місцевої мережі. Найбільш відомими продуцентами такого роду техніки є закордонні фірми "J. I. Case", "Ditch Witch" (США), "Melroe Europe" (Бельгія), "A.F. Trencher L.T.O." (Англія). В наші країни створені дослідно-промислові зразки землерійно-транспортуючого механізованого інструменту в КДТУБА.

Огляд конструкцій і аналіз технічних характеристик існуючих будівельних землерійних механізованих інструментів безперервною дією дозволяє сформулювати принципи їх роботи, а саме:

- поєднання робочих процесів фрезування і транспортування в одному виконавчому органі (конструктивна реалізація - барові мікротраншеєкопачі);
- розробка забою відбувається суцільним фрезуванням з наступним відцентровим транспортуванням ґрунту окремими виконавчими органами (конструктивна реалізація - землерійно-транспортуючий механізований інструмент).

Визначені принципи відзначаються значною енергоємністю (для мікротраншеєкопачів закордонного виробництва - 0,68 - 1,04 кВт.год.м⁻³) у зв'язку з тим, що в процесі розробки забою має місце сильне здрібнення ґрунту за рахунок фрезування та подальше його багаторазове перемелювання при вилученні з робочої зони.

Вищевикладене дає підставу зробити висновок, що створення ґрунторозроблюючих та транспортуючих виконавчих органів, а також різних їх комбінацій, що реалізують нові принципи роботи, є

резервом для зниження енергоємності робочого процесу та розширення технологічних можливостей землерийної малогабаритної техніки, а останнє призведе до значного збільшення ефективності її використання.

Виходячи з того, що найбільшу питому вагу серед видів земляних робіт, що виконуються вручну, мають:

- утворення траншей в малих обсягах - 10...12%;
- зворотнє засипання ґрунту в умовах обмеженої робочої зони - 30...35%, то створення БМІ для утворення і засипання траншеї дозволить максимально зменшити процент ручної праці при виконанні земляних робіт. У сьогоднішній ні в нашій державі, ні за її межами не створені такого типу інструменти.

Вивчення робочого процесу будівельного механізованого інструменту свідчить про те, що при створенні такого роду техніки необхідно вирішити питання про одержання раціонального (необхідного) тягового зусилля. Його розв'язання зводиться до мінімізації питомого зусилля опору розробці ґрунтового масиву, тобто до зниження енергоємності робочого процесу механізованого інструменту.

Це досягається, на відміну від існуючих принципів роботи землерийних інструментів, за рахунок відокремлення від масиву ґрунтового цілика шляхом руйнування ґрунтових зв'язків тільки по необхідному периметру з наступним його транспортуванням. Звідси, технологічна операція (як утворення, так і засипання траншеї) буде складатись з таких робочих процесів - вирізання з масиву цілика ґрунторозроблюючим органом і подальшого його переміщення транспортуючим виконавчим органом із зони розробки (при ритті траншеї - у відвал; у випадку зворотньої її засипки - в траншею).

Враховуючи вищезазначене та аналізуючи відомі роботи з питань дослідження виконавчих органів землерийно-транспортних машин приходимо до висновку, що компоновка вібраційного ґрунторозроблюючого органу вирізаючого типу (конструктивне виконання - ріжучий периметр) з похилим стрічковим конвейером підпорядкована технологічній схемі виконання робіт по утворенню і засипанню траншеї та реалізує низькоенергоємнісний принцип роботи механізованого інструмента. Відповідно цьому, біфункціональний механізований інструмент уявляє собою складну динамічну модель з розгалуженою структурою, багаточисельними зв'язками і обмеженнями, яку доцільно зображувати у вигляді системи: "робоче середовище (ґрунтовий

масив [ґрунторозроблюючий орган] - ходова база - опорна

поверхність". Її вивчення та аналіз дозволив уточнити і сформулювати нові принципи роботи землерийного механізованого інструменту, що підлягають детальному дослідженню:

- руйнування ґрунтових зв'язків масиву здійснюється тільки по встановленому периметру активізованим робочим органом, при цьому керована орієнтація його ріжучих елементів забезпечує мінімальні сили та енергетичні параметри процесу;
- зусилля розробки профіля забою реалізується транспортуючим виконавчим органом як додаткова тяга інструмента;
- а також встановити, що найбільший вплив на ефективність робочого процесу БМІ виявляють умови взаємодії параметрів вібровирізання та транспортування розроблюемого середовища, для котрих визначені методи моделювання. Так, для вивчення процесу "ґрунтовий масив - вібраційний ґрунторозроблюючий орган вирізуючого типу (ВГОВТ)" доцільно застосовувати фізико-математичну модель, а для процесу "ґрунтовий цілик - похилий стрічковий конвейер" - фізичну модель дослідження.

Таким чином, основні задачі, які підлягають вирішенню:

- дослідити процеси взаємодії з ґрунтовим середовищем розроблюючого та транспортуючого виконавчих органів, що реалізують нові принципи роботи землерийного механізованого інструмента і встановити області їх оптимальних параметрів;
- встановити залежності сполучень параметрів робочих процесів вирізання і транспортування розроблюемого середовища;
- розробити методіку визначення параметрів та режимів роботи інструмента для утворення і засипання траншей;
- створити і впровадити в практику будівництва дослідно-промисловий зразок БМІ.

Для створення теоретичної моделі процесу вібровирізання розглянемо процес заглиблення у масив ґрунту ВГОВТ, на який накладені позовжні коливання. Ґрунт, який руйнує робочий орган, ущільнюється в масив та у стінки відокремленого від нього ґрунтового цілика, зазнаючи пружно-пластичних деформацій і порушуючи його природню структуру на глибину S_y (рис.1).

В умовах глибокого блокового вирізання (відсутність стружкоутворення та взаємодії між вертикальними профілями) відбувається перетин об'ємів порушеної (ущільненої) структури ґрунту від розрізання вертикальними і горизонтальними профілями. У цьому об'ємі ґрунтова маса знаходиться під дією накладання полів напружень, що викликані складовими зусиллями розрізання ґрунту ріжучими профілями, а це у кінцевому результаті, визначає вплив від взаємодії

ріжучих елементів (профільей) ВГОВТ на параметри процесу вирізання. Таким чином, опір заглибленню ВГОВТ визначиться:

$$T_{в.} = T_{р.} + T_{вз.} + T_{з.} \quad (1)$$

де: $T_{р.}$ - зусилля опору розрізанню ріжучими профілями, що складають прямокутний периметр; $T_{вз.}$ - зусилля опору від взаємодії ріжучих елементів; $T_{з.}$ - зусилля опору від затуплення профілей ріжучого периметра.

Як вихідна база для вивчення та аналітичного описання процесу заглиблення у ґрунт ВГОВТ використовуємо положення теорії динамічного руйнування ґрунтів акад. Баладіньського В.Л. Тоді, згідно запропонованій ним схемі, вібраційний розрізуючий орган, котрому надано швидкість $V_{к.} = V_{кол.} + V_{п.}$ зустрічає опір руйнуванню P (складові $P_{в.}$ та $P_{г.}$) і долає зусилля стиснення $\sqrt{N_{ст.}}$. Буде зазначати опір заглибленню:

$$T_{р.} = \sum_{i=1}^2 \frac{u K_{д} B_i H_i}{i V_{к} K_{дi}} (2f \sin^{-1} 2\alpha_i - f \operatorname{tg} \alpha_i + 1) = \frac{u K_{д}}{V_{к}} \left[\frac{B_1 H_1}{K_{д1}} (2f \sin^{-1} 2\alpha_1 - f \operatorname{tg} \alpha_1 + 1) + \frac{B_2 H_2}{2 K_{д2}} (2f \sin^{-1} 2\alpha_2 - f \operatorname{tg} \alpha_2 + 1) \right], \quad (2)$$

де: u - швидкість розповсюдження хвилі деформації у ґрунті;

$K_{д.}$ - питомий опір руйнування робочого середовища; $V_{кол.}$ - швидкість коливання робочого органу; $V_{п.}$ - швидкість подачі ВГОВТ; $K_{дi}$ - коефіцієнт, що характеризує кут загострення ріжучого профіля; α_i - кут між ріжучими гранями профіля периметра ($i=1$ - для вертикальних; $i=2$ - для горизонтального профілей); f - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Як зазначалося, вплив від взаємодії ріжучих елементів на параметри процесу обумовлений тим, що зусилля стиснення $\sqrt{N_{ст.i}}$ від вертикальних та горизонтального профілей спричиняють утворення бокових зусиль $N'_i(P_{к.})$ на різноманітні профілі $i \neq j$.

Визначення N'_i (зусилля на j -й профіль від сили стиснення при розрізанні i -м профілем) здійснюємо на основі положень теорії тиску ґрунту на вертикальну грань Кулона з накладенням обмежень згідно гіпотези Фусса-Вінклера (рис.2). Для цього визначаємо в загальному вигляді (без врахування наслідків від інтенсивності навантаження) умову рівноваги ріжучого профіля та клину сповзання ґрунту, який утворюється під дією зусилля $\sqrt{N_{ст.i}}$, котре припадає на глибину порушеної структури ґрунтового цілика S_{yj} :

$$\frac{c_h B_j S_{yj}^2 \operatorname{tg}^2 \theta}{6 \sin \alpha_j} \gamma_0 = \sqrt{N_{ст.i}} \operatorname{tg} \theta - m_{сн} \gamma_0'' - c \cos^{-1} \theta, \quad (3)$$

де: C_h - коефіцієнт бокового пружного стиснення ґрунту, H/M^3 ;
 θ - кут нахилу лінії сповзання клину ($\theta = 0,25 (\alpha + 2\rho_{вт.})$),
 $\rho_{вт.}$ - кут внутрішнього тертя; q_0 - переміщення ріжучого профіля від дії бокового зусилля; $m_{оп.}$ - маса клину сповзання; q_0'' - прискорення переміщення центру клину сповзання; R - сила реакції з боку площини сповзання; $I_{оп.}$ - сила інерції клина сповзання.

Після рішення $q_0 = f(N_{ст.1})$ і додаткових перетворень бокове зусилля на ріжучий профіль від сили стиснення $N_{ст.1}$ визначиться:

$$N_1' = 2(N_{ст.1} \operatorname{tg} \theta - C) \quad (4)$$

Проекція вектора бокового зусилля N_1' на напрям вектора зусилля опору заглибленню $T_{вз.}$ (рис.1) визначиться як $N_1' \operatorname{tg} \delta_j$, тобто:

$$T_{ij} = 2 \left[\frac{u K_A S_{yj} B_i}{i V_K K_{di}} (\cos \alpha_i - f \operatorname{tg} \alpha_i \cos \alpha_i) \operatorname{tg} \theta - C \right] \operatorname{tg} \delta_j \quad (5)$$

Після визначення S_{yj} та C і проведення нескладних перетворень зусилля опору від взаємодії ріжучих елементів ВГОВТ дорівнюватиме:

$$T_{вз.} = \sum_{(i,j)} \frac{2 V_K B_i m_j K_{di} \operatorname{ctg} \alpha_i \sin^2 \alpha_j}{B_j H_j \cos \theta \cos \delta_j} \left(U \sin \theta \frac{(\cos \alpha_i - f \sin \alpha_i)}{K_{di}} - \frac{C_0 V_K}{K_A \cos \theta} \right) - \\ - \frac{2 V_K}{\cos \theta} \left[\frac{B_1 m_2 K_{d2} \operatorname{ctg} \alpha_1 \sin^2 \alpha_2}{B_2 H_2 \cos \alpha_2} \left(U \sin \theta \frac{(\cos \alpha_1 - f \sin \alpha_1)}{K_{d1}} - \frac{C_0 V_K}{K_A \cos \theta} \right) + \right. \\ \left. + \frac{B_2 m_1 K_{d1} \operatorname{ctg} \alpha_2 \sin^2 \alpha_1}{B_1 H_1 \cos \alpha_1} \left(U \sin \theta \frac{(\cos \alpha_2 - f \sin \alpha_2)}{K_{d2}} - \frac{C_0 V_K}{K_A \cos \theta} \right) \right], \quad (6)$$

де: m_j - маса ріжучого профіля; C - зусилля зчеплення ґрунта призми по площині сповзання; C_0 - зчеплення ґрунту.

Аналіз останньої залежності вказує на те, що величина $T_{вз.}$ є змінною, значення котрої залежить від умови наявності $T_{вз.}$, яка визначається

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{C_0 V_K}{u K_A \sin \theta \cos \theta} < \frac{\cos \alpha_i - f \sin \alpha_i}{K_{di}} ; \\ B_i > B_{эм.} \end{array} \right. \quad (7)$$

та звідки слідує, що:

- існує гранична швидкість заглиблення (коливань) робочого органу у ґрунтовий масив, перевищення котрої призведе до відсутності ефекту взаємодії ріжучих елементів ВГОВТ на параметри процесу;
- при певних кінематичних характеристиках робочого органу зусилля опору від взаємодії $T_{вз.}$ може бути змінено (мінімальне, або дорівнювати нулю) шляхом:

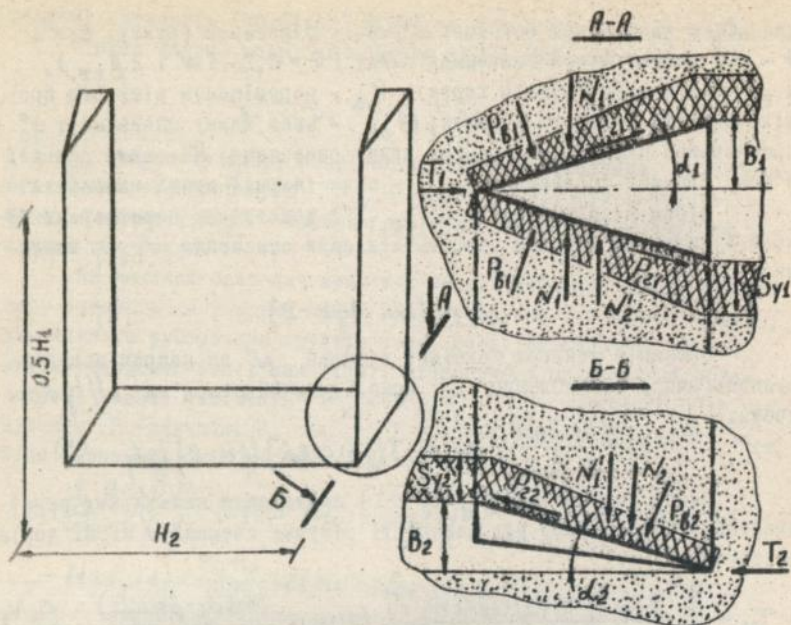


Рис. 1 Розрахункова схема заглиблення вібраційного робочого органу вирізуючого типу.

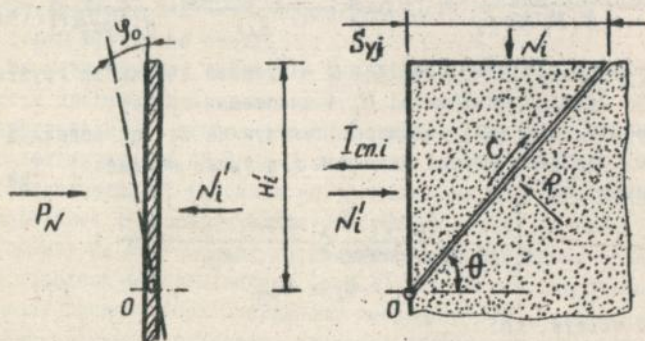


Рис. 2 Розрахункова схема до визначення впливу взаємодії ріжучих елементів ВГОВТ на параметри процесу вирізання.

а). збільшення величини зміщення ріжучих елементів відносно один одного - $V_{зм}$. Тоді у чисельник (6) достатньо підставити ($V_i - V_{зм}$);

б). зменшення геометричних параметрів V_i (L_i) ВГОВТ.

Третій складовий член виразу (I), котрий характеризує зусилля опору від затуплення ріжучих профілей, визначиться:

$$T_3 = \frac{CK_d}{V_k} \sum_{i=1}^2 \frac{H_i R_i}{K_{di}} (K_{di} - 1) = \frac{CK_d}{V_k} \left[\frac{H_1 R_1}{K_{d1}} (K_{d1} - 1) + \frac{H_2 R_2}{2K_{d2}} (K_{d2} - 1) \right] \quad (8)$$

де: R_i - радіуси затуплення ріжучих профілей вирізуючого периметра.

На основі аналізу результатів обчислень по формулі (I) була запропонована робоча гіпотеза про наявність ефекту взаємодії ріжучих профілей під час заглиблення ВГОВТ у ґрунтовий масив.

Записавши визначення енергоємності процесу вібровирізання через силові параметри, отримаємо:

$$\beta_B = \left[\frac{2(T_p + T_3)}{H_1 H_2} + \frac{T_{B3}}{2 \sum_{i=1}^2 S \gamma_i^2 \operatorname{tg} \theta} \right] \frac{V_k}{S(t_0 - 1)} \quad (9)$$

де: $S(t_0 - 1)$ - шлях, пройдений робочим органом в контакті з ґрунтом за одиницю часу:

$$S(t_0 - 1) = V_k \frac{M_2 - M_1}{2H} \quad (10)$$

M_1 ; M_2 - кути, при яких робочий орган втрачає контакт з ціликовим ґрунтом, і відповідно встановлює його;

Визначення $(M_2 - M_1) = f(V_{п.}, V_{кол.}^{-I})$ можливо тільки числовими методами, так як аналітична залежність представляється у вигляді трансцендентного рівняння. Розрахунок виконувався на ЕОМ, а коефіцієнти формульних залежностей визначалися за методом найменших квадратів. Отримано:

- для $V_{п.} V_{кол.}^{-I} \leq 0,22$ $M_2 - M_1 = 0,6 (V_{п.} V_{кол.}^{-I})^{0,53}$;
- для $0,22 < V_{п.} V_{кол.}^{-I} < 0,68$ $M_2 - M_1 = 4,2 V_{п.} V_{кол.}^{-I} + 0,9$;
- для $0,68 \leq V_{п.} V_{кол.}^{-I} < 0,84$ $M_2 - M_1 = 4,85 V_{п.} V_{кол.}^{-I} + 0,44$;
- для $0,84 \leq V_{п.} V_{кол.}^{-I} < 1$ $M_2 - M_1 = 0,76 (V_{п.} V_{кол.}^{-I})^{1,41}$ (II)

Враховуючи (9), після нескладних перетворень, енергоємність

процесу заглиблення ВГОВТ у ґрунтовий масив визначиться:

$$\rho_B = \left[\frac{2(T_p + T_3)}{H_1 H_2} + \frac{T_{B3}}{2 \sum_{i=1}^n S_{yi}^2 \operatorname{tg} \theta} \right] \frac{2A}{M_2 - M_1} \quad (12)$$

Згідно (1), енергоємність від ефекту взаємодії ріжучих елементів робочого органу становить:

$$\rho_{B3} = \frac{T_{B3}}{(M_2 - M_1) \sum_{i=1}^n S_{yi}^2 \operatorname{tg} \theta} \quad (13)$$

Виявлені особливості процесу заглиблення ВГОВТ потребують свого підтвердження експериментом. Він був проведений на трьох типах ґрунтових сумішей, які достатньо коректно моделюють ґрунти у інтервалі "супісок - середній суглинок", по програмі:
- дослідження процесу вібраційного розрізання ґрунту групою із двох одиночних вертикальних ножів з поздовжньою траєкторією коливань (один має симетричні кути загострення, а другий - з кутом різання в плані та асиметричною заточкою) з метою визначення:

$$(T_p, \rho_p) = f(V_{\text{кол.}}; V_{\text{п.}}; C_0);$$

- дослідження процесу вібровирізання ґрунтового цилінка моделями ВГОВТ з поздовжньою траєкторією коливань для визначення:

$$(T_B, \rho_B) = f(V_{\text{кол.}}; V_{\text{п.}}; V_{\text{зм.}}; C_0).$$

На основі рекомендацій, викладених у працях проф. Зелініна А.М., Федорова Д.І. та Недорезова І.А., визначені геометричні параметри експериментальних моделей досліджуваних органів.

Експерименти виконувалися відповідно некомпозиційному плану 2-ого порядку V_4 (симетричний на кубі) при чотирьох варіюваних факторах: швидкості коливань робочого органу - X_1 ; поступальної швидкості вирізання (розрізання) - X_2 ; зчеплення ґрунту - X_3 ; значення величини зміщення ріжучих профілей відносно один одного (горизонтального ріжучого елемента відносно вертикальних) - X_4 .

Для проведення експериментальних досліджень був спроектований і виготовлений стенд фізичного моделювання робочих процесів вібраційних виконавчих органів, який дозволяє вимірювати: зусилля опору вирізання (розрізання), частоту та амплітуду коливань, а також потужність, що витрачається в процесі заглиблення моделей робочих органів (при вирізанні - $\sqrt{N_B}$; при розрізанні - $\sqrt{N_p}$). Величина енергоємності процесу встановлювалась, як (при $T_{B3} \neq 0$):

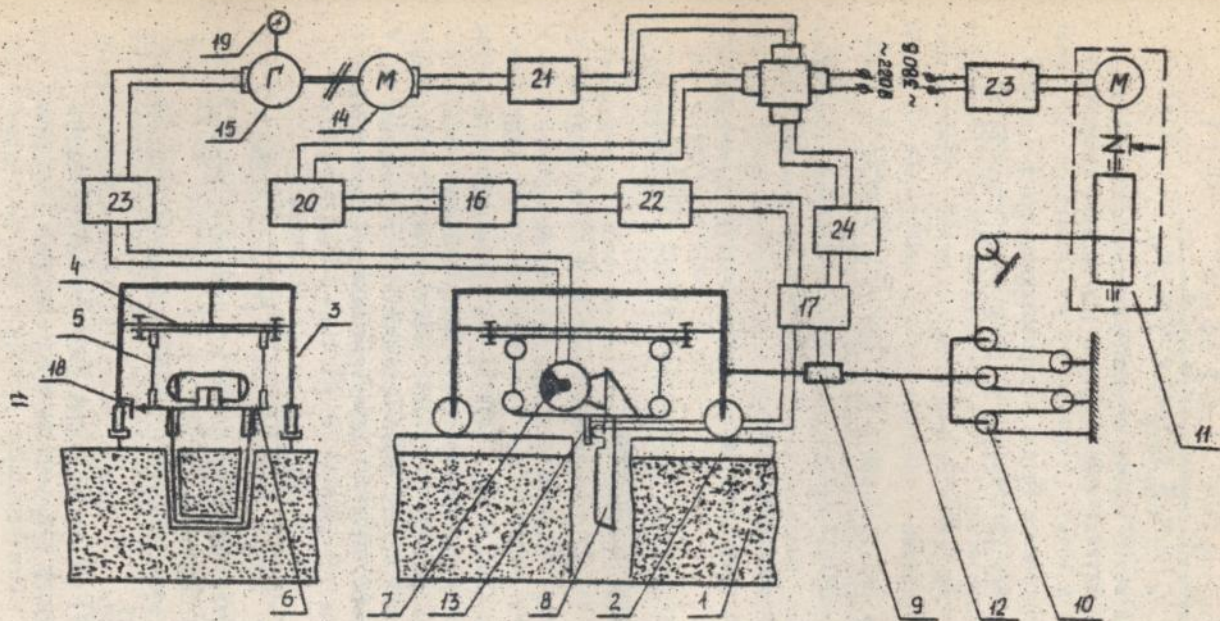


Рис. 3 Схема стендового обладнання для дослідження вібраційних робочих органів.

I-грунтовий канал; 2-рейки; 3-візок; 4-несучі балки; 5-паралелограмна підвіска; 6-мала рама; 7-вібратор; 8-модель ВГОВТ; 9-тензотяга; 10-поліспаст; 11-тягова ледіжка; 12-трос; 13-тензобалка; 14-двигун постійного струму; 15-генератор; 16-осцилограф; 17-підсилувач; 18-амплітудний датчик; 19-тахометр; 20-випрямляч; 21-блок управління БУ-3709; 22-реостат; 23-кіловатметр; 24-блок живлення.

$$\rho_B = \frac{(\sqrt{B} - N_p) H_1 H_2 + 4 N_p \sum_{i=1}^2 S \gamma_i^2 \operatorname{tg} \theta}{V_k (H_1 H_2 \sum_{i=1}^2 S \gamma_i^2 \operatorname{tg} \theta) \cdot r^{-1} (M_2 - M_1)} \quad (14)$$

Запропонований метод обробітку експериментальних даних дозволив отримати математичні моделі процесів у вигляді регресійних залежностей:

- зусилля опору розрізанню (після перерозрахунку для 3-х ножів)

$$T_{e.p.} = 861,16 - 521,58 X_1 + 596,27 X_3 - 282,61 X_1 X_3 + 251,45 X_1^2, \quad (H) \quad (15)$$

- зусилля опору вирізання

$$T_{e.v.} = 961,53 - 580,0 X_1 + 628,79 X_3 - 87,62 X_4 - 281,88 X_1 X_3 + 49,92 X_1 X_4 + 227,47 X_1^2, \quad (H) \quad (16)$$

- енергоємності процесу розрізання

$$\rho_{e.p.} = 40,85 - 8,97 X_1 - 5,77 X_2 + 24,11 X_3 + 2,58 X_1 X_2 - 5,2 X_1 X_3 - 3,08 X_2 X_3, \quad (\text{кН} \cdot \text{м}^{-2}) \quad (17)$$

- енергоємності процесу вирізання

$$\rho_{e.v.} = 44,905 - 10,55 X_1 - 6,24 X_2 + 25,66 X_3 - 3,36 X_4 - 4,86 X_1 X_3 - 3,25 X_2 X_3, \quad (\text{кН} \cdot \text{м}^{-2}) \quad (18)$$

Аналіз рівнянь (15-18) засвідчує те, що просторова орієнтація ріжучих профілей (єдина відмінність між підпрограмами експериментальних досліджень) впливає на силові і енергетичні характеристики процесу руйнування ґрунту через кінематичні і геометричні параметри моделей ВГОВТ, міцнісні характеристики робочого середовища. Тоді:

$$T_{e.v.} - T_{e.p.} = T_{e.vz.}; \quad \rho_{e.v.} - \rho_{e.p.} = \rho_{e.vz.}$$

Будуть характеризувати величину впливу від взаємодії ріжучих елементів ВГОВТ на параметри процесу.

Таким чином, ефект взаємодії ріжучих елементів визначиться:

- для зусилля опору

$$T_{e.vz.} = 100,37 - 58,47 X_1 + 32,52 X_3 - 88,63 X_4 + 51,23 X_1 X_4 - 27,69 X_3 X_4 - 23,98 X_1^2, \quad (H) \quad (19)$$

- для величини енергоємності

$$\rho_{e.вз.} = 4,05 - 1,58 X_1 + 1,54 X_3 - 3,36 X_4 + 1,505 X_1 X_4 - 1,33 X_3 X_4 - 1,86 X_1^2, \quad (\text{кН} \cdot \text{м}^{-2})$$

(20)

Порівняння експериментальних даних (19) і (20) з даними, отриманими із аналітичних залежностей (6) і (13), вказує на їх задовільну збіжність, та в свою чергу, повній відповідності умові (7).

Виявлені закономірності процесу заглиблення ВГОВТ дозволяють встановити області оптимальних його кінематичних і геометричних характеристик. Для цього, за параметри оптимізації приймаємо такі силові та енергетичні фізичні величини - енергоємність процесу

$$\rho_{в.} \text{ і } \text{питоме зусилля вирізання } T_{п.в.}$$

Для пошуку області оптимальних значень факторів використовували комбінований метод Нелдера-Міда. Всі обчислення виконувалися на ЕОМ "Електроніка МС-0585". Область значень факторів, при котрих має місце оптимум для досліджуваних параметрів одночасно знаходиться між отриманими координатами стаціонарних точок для $T_{п.в.}$ і $\rho_{в.}$ відповідно (рис.6).

В результаті дослідження взаємодії з ґрунтовим середовищем ВГОВТ:

- аналітично і експериментально підтвержена гіпотеза про наявність ефекту взаємодії його ріжучих профілей;
- запропонована залежність для визначення енергоємності процесу;
- визначена область оптимальних значень кінематичних та геометричних параметрів робочого органу.

Процес транспортування ґрунтового цілика (вирізаного ВГОВТ), що завантажується на пересувний похилий конвейер, у випадку $V_{т.} > V_{п.}$, може бути представлений схемою на рис.4 та описуватись нерівністю:

$$G_T (\sin \alpha_0 + f_{к.с.} \cos \alpha_0) < P \leq G_T (\sin \alpha_0 + f_{к.с.} \cos \alpha_0) + [P' + P'' - (G_T + G_{к.}) f_{к.к.} \cos^{-1} \alpha_0] \quad (21)$$

де: P' - реакція ґрунту на ривленнях стрічки; P'' - сила тертя ґрунту по стрічці; G_T - вага ґрунту на транспортуючому органі; $G_{к.}$ - вага конвейера; $f_{к.с.}$ - коефіцієнт тертя кочення вантажно-несучого полотна по роликоопорах конвейера; $f_{к.к.}$ - коефіцієнт тертя кочення опорної бази конвейера по поверхні; $V_{т.}$ - швидкість транспортування ґрунтового цілика; P - зусилля тяги.

Аналіз нерівності (21) вказує на те, що її доданок, виділений квадратними дужками, визначає значення зусилля, котре сприяє пересуванню конвейера у процесі транспортування ґрунтового цілика. Його проекція на площину дії вектора швидкості подачі цілика

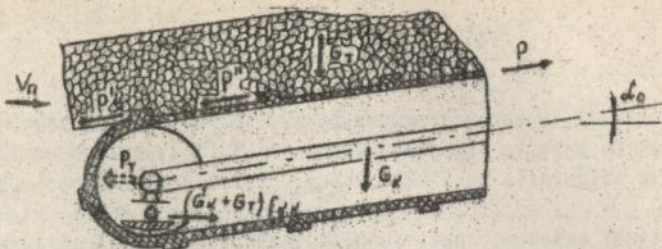


Рис. 4 Схема до визначення умови наявності зусилля на переміщення транспортуючого виконавчого органу (похилий короткий стрічковий конвейер).

(напрямок, протилежний поступальному руху ВГОВТ) визначає зусилля напору конвейера - P_T .

Як зазначалося вище, процес "грунтовий цілик - транспортуючий виконавчий орган", необхідно представляти фізичною моделлю. З цією метою була спеціально запроєктована і виготовлена лабораторна установка (рис.5), на котрій в якості вантажонесучого органу використовувалась транспортерна стрічка, що застосовується у серійних конвейерах моделі КЛП-400.

Досліджуваними параметрами в програмі ставлення дослідів являлися - зусилля напору конвейера P_T , і енергоємність процесу транспортування \mathcal{E}_T , а варійованими факторами - швидкість руху транспортуючої стрічки - X_1 ; кут нахилу конвейера (стрічки) - X_2 ; висота ґрунтового цілика - X_3 ; зчеплення ґрунту - X_4 ; швидкість подачі ґрунтового цілика - X_5 . Досліди проводилися відповідно програмі багатофакторного експерименту по плану Хартлі - $Н_{45}$ з накладенням обмеження $X_1 \geq X_5$ (у випадку, коли згідно матриці плану $X_1 < X_5$ P_T та \mathcal{E}_T приймалися рівними нулю).

Обробка експериментальних даних дала змогу отримати математичні моделі визначення параметрів оптимізації у вигляді регресійних залежностей:

- для зусилля напору конвейера

$$P_T = 10,2 + 18,18 X_1 - 2,13 X_2 - 14,97 X_5 - 2,15 X_1 X_2 - 13,63 X_1 X_5 + 22,44 X_1^2 - 7,52 X_5^2, \text{ (Н)} \quad (22)$$

- для енергоємності процесу транспортування

$$\mathcal{E}_T = 0,01255 + 0,00365 X_1 + 0,00155 X_2 - 0,00195 X_3 - 0,0048 X_5 + 0,00355 X_1 X_5 - 0,00095 X_2 X_4 - 0,0034 X_5^2, \text{ (кВт \cdot год.} \cdot \text{м}^{-3}) \quad (23)$$

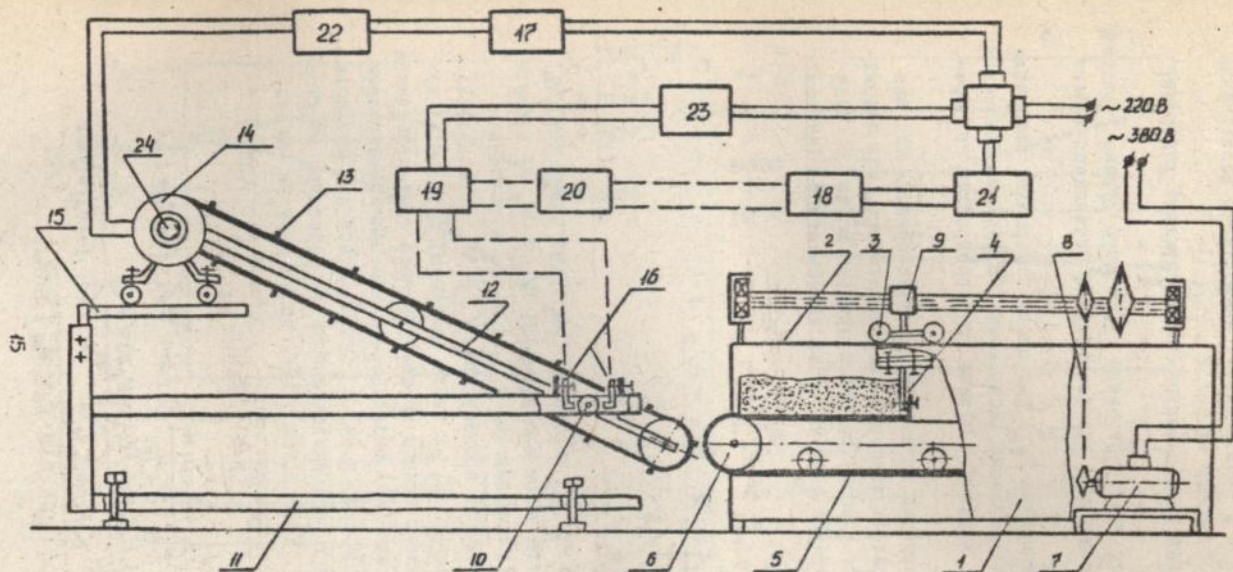


Рис. 5. Схема експериментальної установки для дослідження транспортуючого органу БМТ :
 I - живильник; 2 - направляючі кутники; 3 - візок; 4 - штовхач; 5 - несуча стрічка; 6 - барабан;
 7 - асинхронний двигун; 8 - ланцюгова передача; 9 - гвинтова передача; 10 - опори кочення;
 II - рама; 12 - конвейер; 13 - тягова стрічка; 14 - двигун постійного струму; 15 - рама;
 16 - тензобалка; 17 - блок управління (БУ-3709); 18 - осцилограф; 19 - підсилювач; 20 - реостат;
 21 - випрямляч; 22 - кіловатметр; 23 - блок живлення; 24 - тахометр.

Встановлення області оптимальних значень параметрів ($P_{T, \max}$ та $\vartheta_{T, \min}$) відбувалося у послідовності, аналогічній дослідженню ВГОВТ і представлена графічно на рис.7.

Аналіз результатів експериментальних досліджень дає змогу зробити висновки:

- використання процесу транспортування ґрунтового цїлика коротким стрічковим конвейєром можливе для переміщення останнього (ефект самонапору);
- виявлений ефект (отримання $P_{T, \max}$) дає змогу створювати додаткове зусилля напору у механізованому інструменті (БМІ), яке може бути реалізоване в процесі вирізання цїлика ґрунторозроблюючим органом (ВГОВТ).

Встановлення сполучень параметрів робочих органів БМІ має за мету отримання таких їх взаємоузгоджених значень, при котрих величина енергоемності процесу розробки профіля забюю ϑ буде означена областю найменших значень. Воно визначається рішенням системи нерівностей:

$$\begin{cases} \rho_{в.1} + \vartheta_{T, \min} > \rho_{в.2} + \vartheta_{T, 2} \\ T_{в.1} - P_{T, 1} > T_{в.2} - P_{T, 2} ; \\ P_{T, \max} > T_{в.1} - T_{в.2} > 0 ; \\ V_{зм.1} \leq V_{зм.2} \end{cases} \quad (24)$$

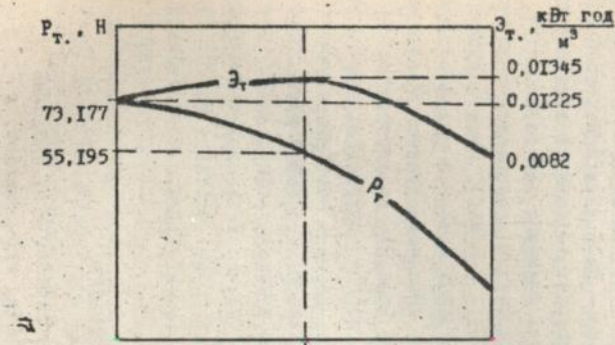
Складова $\rho_{в.1} + \vartheta_{T, \min}$ нерівності визначає енергоемність процесу розробки профіля забюю при рівності $V_{п.} = V_{T.}$ і відсутність взаємозв'язку між параметрами $T_{в.1}$ і $P_{T, 1}$, а складова $\rho_{в.2} + \vartheta_{T, 2}$ - енергоемність процесу при $V_{п.} \neq V_{T.}$ і наявність взаємозалежності між $T_{в.2}$ і $P_{T, 2}$, тобто часткової реалізації зусилля вирізання ґрунтового цїлика за рахунок його транспортування.

При рішенні системи (24) розглядалися два можливі варіанти отримання результату. Перший, коли ϑ визначається для процесів розробки профіля забюю у разі накладення на їх параметри обмеження, що визначене у (7). Тоді рішення (24) запишеться як умова:

$$\rho_{в.2} > \vartheta_{T, 2} - \vartheta_{T, \min}. \quad (25)$$

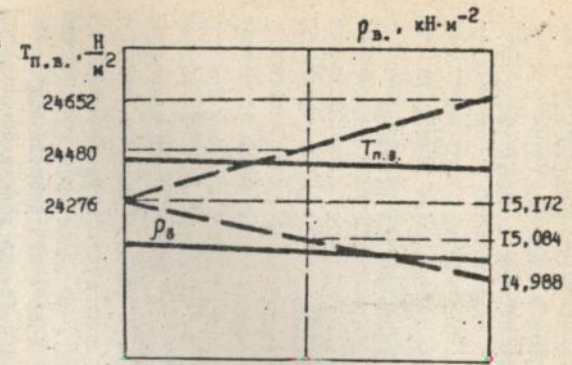
а саме:

$$V_{зм.2} \geq \sum_{i=1}^2 \frac{B_i}{2} - \left[T_{в.1} - \sum_{i=1}^2 \frac{U K_A B_i H_i}{V_K K_{d1}} (2f \sin^{-1} 2\delta_i - f \tan \delta_i + 1) + \frac{(\vartheta_{T, \min} - \vartheta_{T, 2}) H_1 H_2 (M_2 - M_1)}{4N B_j H_j \cos \delta_j K_{d1}} \right] \frac{K_A \cos^2 \theta}{V_K} \sum_{i=1}^2 \frac{m_j K_{d1} \cot \delta_i}{[U K_A (\cos \delta_i - f \sin \delta_i) \sin \theta \cos \theta - C_0 V_K K_{d1}] \sin^2 \delta_j} \quad (26)$$



V_T	0,05	0,05	0,05 м/с
L_0	28	26,5	25 град.
B	0,226	0,230	0,25 м.
C_0	41,5	32,76	24 кН/м ²
V_d	0,03	0,04	0,05 м/с

Рис. 7 Зміна зусилля напору конвейєра P_T і енергоємності процесу Z_T , при транспортуванні ґрунтового щілика, в області оптимальних значень параметрів.



$B_{эм.}$	0,04	0,04027	0,0406 м.
C_0	24,039	24,022	24кПа
$V_{п.}$	0,03	0,035	0,04м/с.
$V_{кол.}$	0,622	0,629	0,636м/с.

Рис. 6 Зміна питомого зусилля заглиблення $T_{п.в.}$ та енергоємності ρ_v процесу вирізання ґрунтового щілика в області оптимальних значень параметрів (— — теоретич., - - - експерим.).

ДНБ ім. В. Стефанишина
 АН України

Для даного випадку, енергоємність процесу буде приймати найменші значення коли зміщення ріжучих профілей відповідає (26), а силові параметри транспортування ґрунтового цїлика частково реалізуються при його вирівнанні, тобто:

$$\vartheta = \rho_{в.2} + \vartheta_{т.2} \quad (27)$$

Другий варіант, що підлягає розгляду, визначається рішенням системи нерівностей (24), при умові

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{c_0 V_H}{u k_A \cos \theta \sin \theta} > \frac{\cos \alpha_i - f \sin \alpha_i}{k_{\Delta i}} ; \\ B_{ж} \leq B_i . \end{array} \right. \quad (28)$$

Аналіз залежностей (18) і (23) свідчить про те, що система рішення не має. Тобто, область найменших значень енергоємності процесу розробки профіля забюю буде визначатися при $V_{п.} = V_{т.}$:

$$\vartheta = \rho_{в.1} + \vartheta_{т.мін.} \quad (29)$$

Розрахункові дані, отримані на основі викладених аналітичних та експериментальних досліджень, свідчать про те, що величина енергоємності процесу розробки забюю ($\vartheta = 84 - 95,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^{-2}$ без врахування втрат на шкідливий опір у структурних зв'язках) механізованим інструментом, котрий реалізує нові принципи роботи, менша у 4 - 5 рази в порівнянні з кращими зразками землерийних засобів малої механізації (для ЗТМІ-2А КІБІ - $\vartheta = 450,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^{-2}$).

Виконані дослідження є основою для розробки методики розрахунку параметрів і режимів роботи БМІ. Вона використовувалася при проектуванні і створенні зразка інструмента (рис.8). Результати дослідно-промислового впровадження БМІ підтвердили справедливості запропонованих принципів роботи інструмента, методів його розрахунку. При масі самоходного БМІ 105кг. та потужності двигуна 3 кВт. досягалася максимальна продуктивність риття траншей та їх зворотньої засипки (переріз траншеї згідно технологічних вимог прокладання ліній зв'язку, трубо- і газопроводів місцевої мережі - до 0,75 x 0,4 м.) 18...21 м³/год. у ґрунтах I...II групи.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

В роботі науково обґрунтовані і запропоновані нові принципи роботи землерийного механізованого інструмента, які полягають в тому, що руйнування ґрунтових зв'язків масива здійснюється тільки

по встановленому периметру активізованим робочим органом, при цьому керована орієнтація його ріжучих елементів забезпечує мінімальні силові та енергетичні параметри процесу і зусилля розробки профіля забюю реалізується транспортуючим виконавчим органом як додаткова тяга інструмента. Результати їх дослідження визначаються наступними загальними висновками:

- сполучення параметрів вібровирізання ґрунтового цілика просторово-орієнтованими ріжучими елементами і його транспортування дозволяє зменшити енергоємність процесу розробки профіля забюю землерийними засобами малої механізації у 4 - 5 рази;
- сформульована умова наявності впливу ефекту взаємодії ріжучих елементів на силові і енергетичні характеристики процесу заглиблення у масив вібраційного виконавчого органу вирізючого типу, і нехтування якою призведе до отримання помилкових результатів прогнозування опору ґрунта розробці (вирізання ґрунтового цілика);
- процес транспортування ґрунтового цілика похилим стрічковим конвейером може реалізовуватись для пересування останнього (ефект самонапору) при умові, що кінематичні і технологічні параметри конвейера знаходяться у встановленій області раціональних значень. Це дозволяє використовувати процес переміщення ґрунтового цілика транспортуючим виконавчим органом для створення додаткового зусилля напору землерийним механізованим інструментом (машиню);
- встановлені нові залежності, що визначають силові і енергетичні характеристики віброактивізованого ґрунторозроблюючого органу вирізючого типу, а також закономірності впливу параметрів похилого короткого стрічкового конвейера на зусилля його переміщення і енергоємність процесу транспортування ґрунтового цілика;
- розроблена методика розрахунку параметрів біфункціонального механізованого інструменту для утворення і засипання траншей. Впровадження в практику будівництва, створеного за нею БМІ, дає змогу механізувати найбільш масові види земляних робіт, що виконуються вручну. Економічний ефект отриманий від застосування одного інструмента складає 17,6 тис.крб. (у нормах та розцінках на І.ОІ.9Ір.);
- результати дослідження являються основою для створення причіпного і навісного робочого обладнання базових землерийних машин, що мають працювати по найменш енергоємній технологічній схемі - блочної розробки ґрунтового масиву шляхом вирізання забюю по периметру необхідної геометрії.

1. Баладинский В.Л., Русан И.В. Совершенствование разработки грунтов механизированным инструментом. -Республиканский семинар молодых ученых по проблемам механизации и автоматизации земляных работ в строительстве : Тезисы докладов / Киевск. инженерно-строит. ин-т. -К., 1988. -с.7-8.

2. Баладинский В.Л., Русан И.В. Активизация рабочих процессов землеройных машин. -Научно-техническая конференция по интенсификации рабочих процессов землеройных машин в строительстве : Тезисы докладов / Общество "Знание" Украины. -К., 1989. -с.1.

3. Баладинский В.Л., Русан И.В. Моделирование процессов разработки грунтов вибрационными рабочими органами // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. Респуб. межвед. науч.-техн. сборник. -К.: Техніка, 1991, -вып.44. -с.16-19.

4. Баладинский В.Л., Русан И.В., Глушко Е.А. Перспективы создания малогабаритных машин для земляных работ. -52-я научно-практическая конференция КИСИ : Тезисы докладов / Киевск. инж.-строит. ин-т. -К., 1991. -с.128-129.

5. Баладинский В.Л., Русан И.В. Основные положения теории динамического разрушения грунтов и горных пород // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. Респуб. межвед. науч.-техн. сборник. -К.: Техніка, 1991, - вып.45. -с.76-83.

6. Русан И.В. Определение параметров процесса разработки грунтов вибрационными рабочими органами вырезающего типа // В сб.: Повышение эффективности рабочих процессов строительных машин. -К.: УМК МВО, 1991. -с.92-98.

7. Русан И.В., Пасека С.И., Москаленко С.В. К исследованию транспортирующего исполнительного органа механизированного инструмента. -53-я научно-практическая конференция КИСИ : Тезисы докладов / Киевск. инженерно-строит. ин-т. -К., 1992. -с.127.

8. Русан И.В. Особенности определения параметров процесса разработки грунта вибрационным органом вырезающего типа. -53-я научно-практическая конференция КИСИ : Тезисы докладов / Киевск. инженерно-строит. ин-т. -К., 1992. -с.128.

9. Баладинский В.Л., Русан И.В., Зухба А.Г. Устройство для блочной разработки связанных грунтов. Авторское свидетельство СССР №1740569. Б.И. №22, 1992.

10. Решение о выдаче патента Российской Федерации №4954976.
Эксплуатационный механизированный инструмент / КИСИ., Баладинский В.Л.,
Русан И.В., Зухба А.Г., Глушко Е.А.

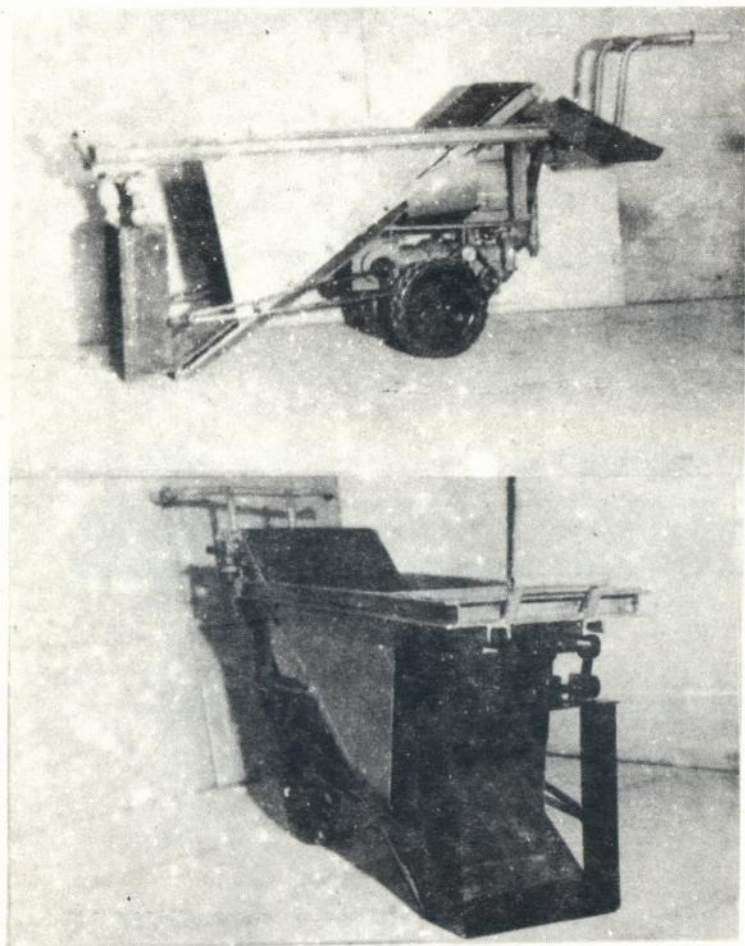


Рис.8 Механізований інструмент для утворення і засипання траншей (екскаваційний механізований інструмент).

АВ 29.755

АВ 29.755

Подл. к печ. 28.10.93 Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага тип. № 3 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 1,16
Услови. кр.-отт. 1,33 . Уч.-изд. л. 1,0 .
Тираж 100 . Зак. № 6237 . Бесплатно.

Фирма «ВИПОЛ»
252151, г. Киев, ул. Волынская, 60.