

УДК 631.311: 631.626

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СТУПЕНЕВОГО РІЗАННЯ ГРУНТІВ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ МЕЛІОРАТИВНИХ МАШИН

В.І. Петроченко, канд. техн. наук Інститут водних проблем і меліорації
НААН

Наведено результати досліджень та оптимізації параметрів процесу глибокого ступеневого різання ґрунтів робочими органами меліоративних машин — глибокорозпушувачів, безтраншейних укладачів дренажу та протифільтраційних завіс.

Ключові слова: *глибоке ступеневе різання ґрунту, меліоративні машини, меліоративне розпушування, безтраншейний дренаж, протифільтраційна завіса.*

Постановка проблеми. При виконанні робіт з меліоративного розпушування ґрунтів, а також укладанні безтраншейним способом кабелю, дренажу, протифільтраційних завіс, виникає потреба глибокого (понад 0,8 м) різання ґрунтів робочими органами пасивного типу, які, порівняно з землерийними робочими органами активного типу, є більш продуктивними, менш енергоємними та забезпечують зниження собівартості робіт [1-3]. Але, разом з тим, пасивні робочі органи глибокого різання ґрунтів мають два основні недоліки. Перший недолік пов'язаний з утворенням зони ущільненого ґрунту при переміщенні в ньому робочого органу. Внаслідок ущільнення ґрунту, у 2-3 рази знижується водоприймальна здатність дренажу, побудованого безтраншейним способом [4], а при укладанні безтраншейним способом протифільтраційної завіси, ущільнений ґрунт стискає з боків тонкий порожнистий кожух розгортання плівки, що призводить до порушення технологічного процесу. Другим недоліком пасивних робочих органів глибокого різання ґрунтів є велике тягове зусилля, яке необхідно прикладати для їхнього робочого пересування в ґрунті.

Гіпотеза досліджень полягає у припущенні можливості усунення основних недоліків глибокого пасивного різання ґрунтів при здійсненні меліоративних

заходів шляхом наукового обґрунтування та впровадження процесу глибокого ступеневого різання ґрунтів з застосуванням землерийних ступених робочих органів, виконаних у вигляді встановленого з тупим кутом різання вертикального ножа, на якому закріплено ряд доліт ступеневого (ярусного) різання ґрунтів.

Метою досліджень є наукове обґрунтування параметрів процесу глибокого ступеневого різання ґрунтів землерийними робочими органами меліоративних машин.

Результати досліджень. Основні схеми землерийних ступених робочих органів меліоративних машин наведені на рис. 1. Ступеневі робочі органи складаються з встановленого під тупим кутом різання вертикального ножа 1 з прикріпленими до нього долотами 2, а також з встановленого позаду ножа 1 технологічного обладнання 3, яке призначене для укладання трубчастого дренажу, або обладнання 5, яке призначене для укладання протифільтраційної завіси.

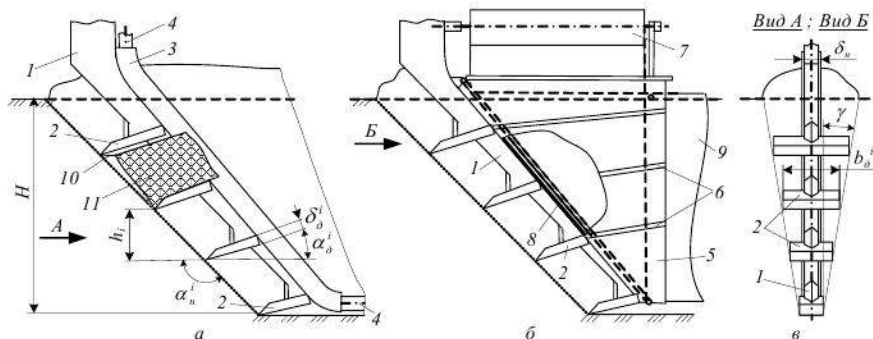


Рис. 1. Конструкції ступених робочих органів:

а — безтраншейного укладача трубчастого дренажу; б — безтраншейного укладача дренажних або протифільтраційних завіс з рулонного матеріалу; в — глибокорозпушувача; 1 — вертикальний ніж; 2 — долото; 3 — кожух подачі в ґрунт дренажної труби; 4 — дренажна труба, 5 — кожух розгортання та подачі в ґрунт рулонного матеріалу; 6 — ребро жорсткості; 7 — рулонний матеріал; 8 — пластина розгортання рулонного матеріалу; 9 — завіса в ґрунті; 10 — штучний горизонт відкритої поверхні ґрунту; 11 — стружка ґрунту

Для забезпечення можливості здійснення процесу глибокого ступеневого різання ґрунтів та достатньої надійності цього процесу, конструктивні параметри ступеневих робочих органів повинні відповідати двом основним критеріям. За першим критерієм забезпечується можливість ступеневого зрізання стружок ґрунту 11 долотами 2. Для цього необхідно, щоб кожне вище розташоване долото зрізало стружку ґрунту з випередженням відносно нижче розташованого, а під кожним долотом 2 утворювався штучний горизонт 10 відкритою поверхні ґрунту. Можливість здійснення процесу глибокого ступеневого різання за першим критерієм визначається величиною тупого кута різання α_n на ножі 1, яка повинна складати не менше $125-135^\circ$.

За другим критерієм оцінюється можливість та надійність вільного проходження стружок 11 між двома суміжними долотами 2 без їх стиснення та заклинювання. Згідно досліджень [5], це відбувається за таких умов:

$$\alpha_d^{i+1} \geq \alpha_d^i, \quad (1)$$

$$\frac{\sin(\alpha_n^i - \alpha_\delta^i)}{\sin \alpha_n^i} \left(1 - \frac{2\delta_n^i}{b_\delta^i + b_\delta^{i+1}}\right) - \frac{2\delta_\delta^i (b_\delta^i - \delta_\delta^i)}{(b_\delta^i + b_\delta^{i+1})h_i} > K_p, \quad (2)$$

де α_n^i — кут різання на ножі на i -й ступені, град; α_δ^{i+1} і α_δ^i — кут різання на нижчому i -му та вищому $(i+1)$ -му суміжних долотах, град; b_δ^i і b_δ^{i+1} — ширина нижчого i -го та вищого $(i+1)$ -го суміжних доліт, см; δ_n^i — товщина ножа на i -й ступені, см; δ_δ^i — товщина i -го долота, см; K_p — коефіцієнт розпушування (приймається для глини $K_p=1,35$).

Цілком очевидно, що при здійсненні глибокого меліоративного розпушування ґрунтів, ділення загальної глибини розпушування на окремі ступені (яруси) сприяє усуненню небажаного ефекту щільовання ґрунтів та їхньому об'ємному розпушуванню.

В порівнянні з дренажем, побудованим робочим органом традиційної конструкції, застосування ступеневого робочого органу (рис. 1а) забезпечує зменшення величини бокового ущільнення материкового ґрунту на межі з зоною його різання, що підвищує водоприймальну властивість дренажу та якість його безтраншейного укладання.

При безтраншейному спорудженні протифільтраційної або дренажної зависи з рулонного матеріалу виникає проблема забезпечення жорсткості порожнистого кожуха, тонкі стінки якого деформуються під дією сили бокового тиску ґрунтового масиву. Застосування ступеневого робочого органу (рис. 1б) забезпечує можливість вирішення цієї проблеми шляхом встановлення позаду доліт 2 ребер жорсткості 6 кожуха 5 [6].

Таким чином, з застосуванням землерийних ступеневих робочих органів у значній мірі усувається перший недолік глибокого різання ґрунтів, а саме, зменшується величина бокового ущільнення ґрунтів при здійсненні меліоративних заходів.

В основу гіпотези досліджень, яка полягає в припущенні можливості зниження сили глибокого різання ґрунтів з застосуванням землерийних ступеневих робочих органів, покладена, встановлена А. Н. Зеленіним [7], функціональна залежність сили різання P_a вертикальним різальним профілем від глибини різання H :

$$P_a = \Phi(H^{1,35}). \quad (3)$$

Оскільки сила P_a є зростаючою функцією H (показник ступеня $1,35 > 1$), то, поділивши загальну глибину різання H на окремі ступені висотою h_i , слід очікувати можливість зниження сили ступеневого різання P_{cm} відносно сили різання P_a :

$$P_{cm} = \sum_{i=1}^m \Phi(h_i^{1,35}) < \Phi(H^{1,35}) = P_a, \quad (4)$$

де m — кількість ступенів різання ґрунту на глибині H .

Дослідження виконувались для ступеневого робочого органу, схема якого наведена на рис. 1. Сила ступеневого різання P_{cm} представлена функцією таких параметрів:

$$P_{cm} = \Phi(C_y, H, \delta_n, b_\delta^i, \delta_\delta, \alpha_n, \alpha_\delta, h, \gamma), \quad (5)$$

де C_y — опірність ґрунту руйнуванню по динамічному щільноміру; δ_n — товщина ножа, см; b_δ^i — ширина долота на i -й ступені різання, см; δ_δ — товщина долота, см; α_n — кут різання на ножі, град; α_δ — кут різання на долоті, град; h — товщина стружки ґрунту, см; γ — кут бічного розширення робочого органу по висоті забою, град.

Приймаються такі вихідні умови. Вертикальний ніж 1 встановлений у вертикальній площині з тупим кутом різання α_n . До ножа 1 жорстко прикріплені долота 2 з горизонтально розташованими різальними кромками. Для усіх доліт кути різання α_d і їх товщини δ_d однакові. Робочий орган має симетричну форму відносно вертикальної площини та виконаний з постійним по всій його висоті кутом бічного розширення γ . Відстані по вертикалі між різальними кромками доліт однакові і рівні h . Товщина вертикального ножа δ_n відповідає товщині встановленого за ним технологічного обладнання 3 або 5 (рис. 1). Сила опору переміщенню вертикального ножа і технологічного обладнання в зоні розпушеного долотами ґрунту не враховується. Для визначення кількісних залежностей сили ступеневого різання та обґрунтування оптимальних параметрів різальних елементів використовуються основні положення існуючих теорій різання ґрунтів та результати експериментальних досліджень.

Для оцінки впливу кожного параметра на величину сили P_{cm} та забезпечення раціональної стратегії пошуку оптимального режиму різання застосовується ранговий підхід, за яким усі параметри діляться на такі три групи.

- C_y, H, δ_n — параметри, значення яких задаються вихідними умовами виконання технологічного процесу.
- $b_i, \delta_d, \alpha_n, \alpha_d, h$ — параметри, вибір оптимальних величин яких здійснюється на основі існуючих теорій різання ґрунту, спеціальних досліджень і розрахунків.
- γ — параметр, що оптимізується математичними методами.

Оскільки під самим нижнім (першим) долотом ступеневе різання закінчується, більш низької ступені немає і немає необхідності створювати штучний горизонт ґрунту над нею, то доцільно прийняти $b_i = \delta_n$. Тоді:

$$b_i = \delta_n + 2(i-1)h \operatorname{tg} \gamma. \quad (6)$$

Залежно від величини кута γ бічного розширення робочого органу по висоті забою, утворюються різні зони порушеної структури ґрунту 1 (рис. 2), за якими можна виділити три якісно відмінні схеми глибокого різання: ступеневе докритичне різання; ступеневе закритичне різання; щільове різання вертикальним профілем.

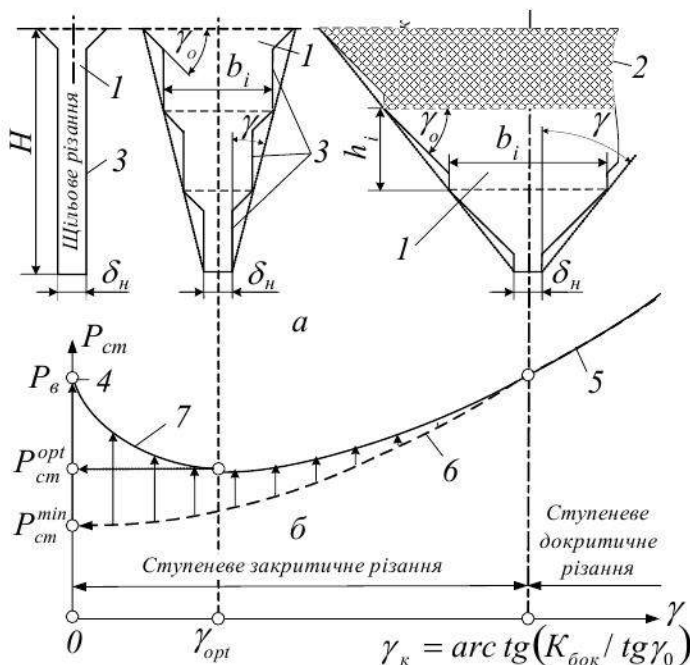


Рис. 2. До визначення сили глибокого ступеневого різання ґрунтів:

а — характерні схеми глибокого різання ґрунтів; б — зведений графік залежності сили глибокого різання від кута гбчного розширення робочого органу; 1 — зона порушеної структури ґрунту; 2 — стружка блокованого різання ґрунту долотом; 3 — ділянка закритичного різання; 4 — значення сили різання на вертикальному профілі; 5 — розрахункова залежність сили ступеневого докритического різання; 6 — умовно прийнята розрахункова залежність сили ступеневого закритичного різання; 7 — фактична (за гіпотезою) залежність сили ступеневого закритичного різання

Ступеневе докритичне різання відбувається за умовою, що кожне встановлене на ножі 1 долота 2 ступеневого робочого органу (рис. 1) здійснює блоковане різання. При цьому стружка ґрунту, що зрізується долотом 2 (рис. 1), визначається як стружка (прорізь) 2 блокованого різання (рис. 2) і характеризується параметрами: h (товщина стружки); γ_0 (кут бокового розширювання

прорізі 2); $K_{бок}$ (коефіцієнт розширення прорізі). Дослідженнями Ю. О. Ветрова [8] встановлені такі значення параметрів прорізі 2 (рис. 2): $\gamma_0 \approx 420$; $K_{бок} = 0,8-0,95$. Прорізь 2 утворюється за умовою $0 < \gamma < \gamma_k$, де γ_k — граничний кут, за яким визначається межа між до критичним і за критичним ступеневим різанням. Шляхом нескладних розрахунків кут γ_k визначається:

$$\gamma_k = \arctg (K_{бок} / \operatorname{tg} \gamma_0) \approx 45^0. \quad (7)$$

Таким чином, ступеневе до критичне різання характеризується параметром $\gamma \geq \gamma_k$. На кожній ступені відбувається блоковане різання ґрунту долотом силою, значення якої може бути визначено у ньютонах за наступною формулою [7]:

$$P_i = 10 C_y h^{1,35} (1+2,6b_i)(1 - 0,0075a_d). \quad (8)$$

Якщо прийняти згідно [7] $a_d = 20^0$, отримаємо мінімальне значення сили P_i :

$$P_i = 10 C_y h^{1,35} (1+2,6b_i). \quad (9)$$

Сила ступеневого до критичного різання P_{cm}^d , яка на рис. 2 показана графіком 5, розраховується на основі (9) за формулою:

$$P_{cm}^d = 10 C_y h^{1,35} \sum_{i=1}^m (1+2,6b_i), \quad (10)$$

де $m=H/h$ — кількість ступенів на робочому органі.

Щільове різання вертикальним профілем здійснюється з застосуванням робочих органів традиційної конструкції і характеризується параметром $\gamma = 0$. Сила різання P_a вертикальним профілем позначена позицією 4 на рис.2 і може бути визначена в ньютонах за формулою А. Н. Зеленіна [7]:

$$P_a = 10 C_y H^{1,35} (1+0,1\delta_n) \left(1 - \frac{90^0 - \alpha_n}{180^0}\right). \quad (11)$$

Якщо застосувати вертикальний профіль з суцільною або ламаною різальною кромкою, що має $\alpha_n = 90^0$, то силу різання P_a можна зменшити до величини:

$$P_a = 10 C_y H^{1,35} (1+0,1\delta_n). \quad (12)$$

Ступеневе закритичне різання відбувається у такому діапазоні значень кута γ бічного розширення робочого органу: $0 < \gamma < \gamma_k$. Якщо силу закритичного

ступеневого різання P_{cm} розрахувати за формулою (10), то на рис. 2 її величина визначиться графіком 6, який буде продовженням графіка 5 та мати мінімальне значенням P_{cm}^{min} в точці $\gamma = 0$. Проте в точці $\gamma = 0$ має місце щільове різання, сила якого P_a представлена поз. 4 на рис. 2 і розраховується за формулою (12). За гіпотезою в діапазоні значень $0 < \gamma < \gamma_k$ графік 6 сили ступеневого різання P_{cm} повинен плавно видозмінитися до вигляду графіка 7. Це пояснюється тим, що при зменшенні кута γ , починаючи з точки γ_k , збільшуються ділянки 3 (рис. 2) закритичного різання, що призводить до збільшення енергоємності процесу ступеневого різання.

Таким чином, графік 7 в його кінцевих точках має значення сили P_{cm} , які можуть бути розраховані за формулами (10) і (11) з використанням відомих теорій різання ґрунтів [7, 8], а для визначення проміжних на графіку 7 величин P_{cm} , одна з яких за гіпотезою є оптимальною P_{cm}^{opt} , постає необхідність проведення експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження сили ступеневого різання P_{cm} виконувались в польових умовах з використанням тензовимірjuвальних засобів (рис. 3).

Для різних комбінацій параметрів ступеневого різання, наведених у таблиці 1., був отриманий комплекс розрахункових (за формулами (10) і (11)) і експериментальних (рис. 3) значень сили ступеневої різання при $0 < \gamma < 90^0$. Сила ступеневого різання була представлена наступною довірчою функцією:

$$P_{cm} / C_y = x_1 h \left\{ x_2 \sum_{i=1}^m [\delta_n + 2(i-1)h tg \gamma] + 0,23H x_4^2 x_3 + 26H / h(1-x_4) \right\} + x_5 H^x 6 (1+x_7 \delta_n) e^{x_8 \gamma}, \quad (13)$$

де e — основа натуральних логарифмів.

Після обробки методом найменших квадратів комплексу розрахункових і експериментальних значень сили P_{cm} з подальшою оптимізацією функції нев'язки одним з методів нелінійного програмування, відомого в літературі під назвою методу Нелдера-Міда [9], визначився вектор x_j ($\bar{j}=1,8$) невідомих коефіцієнтів функції (13). Після чого сила глибокого ступеневого різання ґрунтів була представлена формулою:

$$P_{cm} = C_y H \left\{ 0,737 [\delta_n + (H-h)tg \gamma] + 0,1h + 12,01 \right\} + 10,13 C_y H^{1,26} (1 + 0,126 \delta_n) e^{-0,052 \gamma}. \quad (14)$$

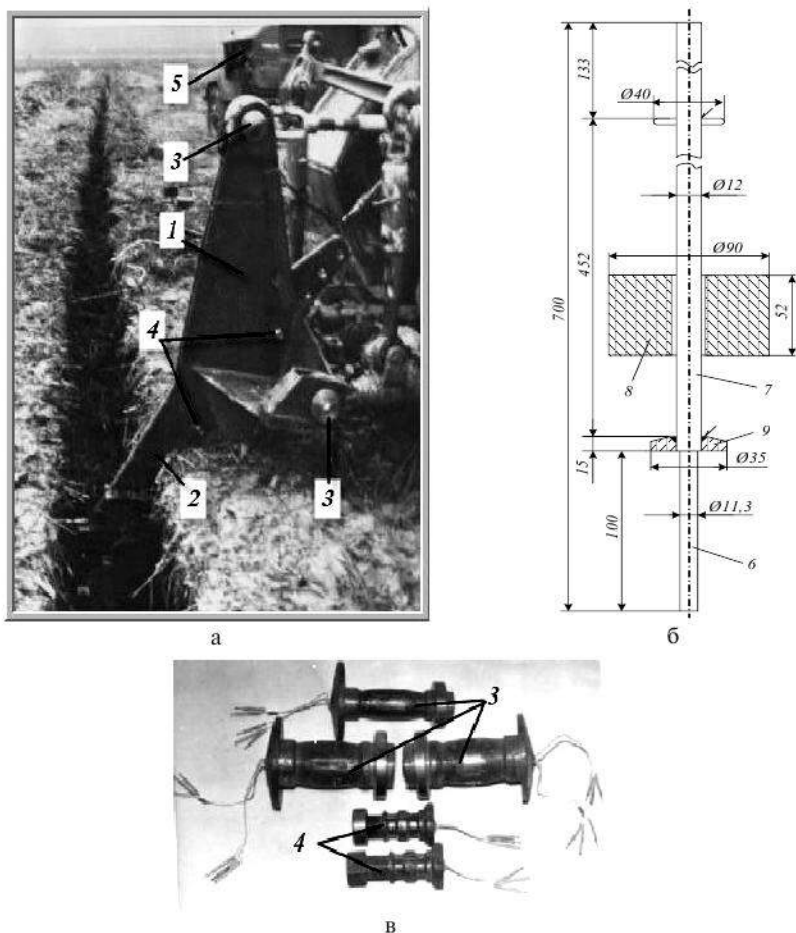


Рис. 3. Експериментальні дослідження сили ступеневого різання ґрунтів: а — вимірювання сили ступеневого різання у польових умовах; б — схема динамічного щільноміра; в — комплект тензовимірювальних пальців; 1 — експериментальна рама, навішена на трактор К-700; 2 — ніж зі змінними долотами; 3 — тензовимірювальні пальці з'єднання експериментальної рами 1 з трактором; 4 — тензовимірювальні пальці з'єднання ножа 2 з рамою 1; 5 — тензовимірювальна станція з осцилографом магнітоелектричним К-5-22, підсилювачем тензометричним 8 — АНЧ-7м та блоком його живлення; 6 — наконечник; 7 — направляючий стрижень; 8 — гиря; 9 — буртик

Таблиця 1. Базові параметри експериментального визначення сили різання P_{cm}

Параметр	C_y		H , см			$\delta_{из}$, см		h , см		γ , град		
	4	9	40	100	140	2	5	10	20	10	20	30

Мінімальне значення сили $P_{cm} = P_{cm}^{opt}$, досягається за умовою $\frac{\partial P_{cm}}{\partial \gamma} = 0$,

що відповідає такому рішенню:

$$\gamma_{opt} = \frac{483}{H - h} + 1,48\delta_{из} + 2,3. \quad (15)$$

За результатами досліджень пропонується така методика визначення основних параметрів землерийних ступеневих робочих органів меліоративних машин.

За вихідними параметрами C_y , H , δ виконання технологічного процесу розроблюють принципову конструктивну схему робочого органу. Параметри робочого органу визначають з урахуванням забезпечення умов (1) і (2), віддаючи при цьому перевагу наступним значенням параметрів $\alpha_n \rightarrow 135^0$, $\alpha_n \rightarrow 20^0$, $h \approx 20$ см. Потім визначають γ_{opt} за формулою (15) і P_{cm} за формулою (14). За величиною P_{cm} визначають необхідне тягове зусилля базового трактора.

При виконанні теоретичних і експериментальних досліджень була висунута ще одна гіпотеза щодо можливості додаткового зниження сили P_{cm} шляхом упорядкування зрізаних долотами стружок ґрунту таким чином, щоб на кожному долоті забезпечити різання, яке буде максимально наближене до найменш енергоємного блокованого різання. Було запропоновано зменшити довжину ділянок 3 (рис. 2), де відбувається найбільш енергоємне різання. Для цього запропоновано дві нові схеми ступеневого різання — симетрична [10] та асиметрична [11] (рис. 4). За цими схемами долота 2 встановлюються з боковим нахилом до центра загальної зони різання.

Експериментальні дослідження трьох якісно відмінних схем ступеневого різання проводилися на одному експериментальному робочому органі з використанням тензовимірювальної апаратури (рис. 3). При цьому до експериментального вертикального ножа на початку випробувань приварювались, а потім зрізались долота.

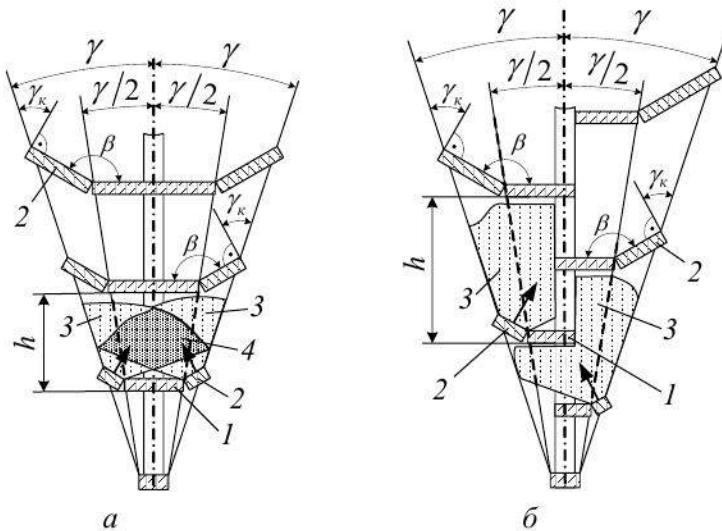


Рис. 4. Схеми ступеневого різання з боковим нахилом стружок:

а — симетрична схема, б — асиметрична схема: 1 — горизонтальні ділянки доліт; 2 — похилі ділянки доліт; 3 — стружки ґрунту; 4 — зона перетину стружок ґрунту

В дослідженнях ступеневого різання ґрунту з боковим нахилом стружок за схемами (рис. 4) використовувалися комбіновані долота з горизонтальними і похилими ділянками. Межа між цими ділянками встановлювалась по бісектрисі кута γ (рис. 4), а кут β нахилу доліт розраховувався за формулою:

$$\beta = 180^{\circ} - \gamma_k + \gamma, \quad (16)$$

де γ_k визначався за формулою (7). У дослідженнях приймалось: $\gamma_k = 45^{\circ}$; $\beta = 135^{\circ} + \gamma$.

У орієнтовних розрахунках силу ступеневого різання P_{cm} для трьох схем різання (рис. 1, рис.4а, рис. 4б) можна визначати через силу P_e , розраховану за формулою (12) А. Н. Зелініна, використовуючи осереднені показники η , η_1 , η_2 , наведені у таблиці 2.

Схема з прямими долотами:

$$P_{cm} = \eta P_e = 0,83 P_e; \quad (17)$$

Схема з похилими симетричними долотами:

$$P_{cm}^1 = \eta_1 \dot{\eta}_1 P_e = 0,83 \cdot 0,87 P_e = 0,72 P_e; \quad (18)$$

Схема з похилими асиметричними долотами –

$$P_{cm}^2 = \eta_2 \dot{\eta}_2 P_e = 0,83 \cdot 0,79 P_e = 0,66 P_e. \quad (19)$$

Схема ступеневого різання, наведена на рис. 4, була закладена в конструкцію експериментального робочого органу до базової машини МД-4 (рис. 5), який використовувався при спорудженні дренажу на Каховській зрошувальній системі.

Таблиця 2. Результати експериментального визначення сили ступеневого різання P_{cm} та її порівняння з силою щільового різання P_e

Вихідні базові параметри			Значення сили глибокого різання, кН								
			щільового, $\alpha_n=90^\circ$	ступеневого, $h=20\text{см}; \alpha_n=140^\circ; \delta_j=2\text{ см}; \alpha_j=25^\circ$							
				P_{cm} (розрахунок)		P_{cm} (експеримент)					
H, см	C _y	δ_p , см	P_e за ф-лою (12)	$\gamma_{фл}$, град за ф-лою (15)	P_{cm} за ф-лою (14)	Прямі долота	$\eta = P_{cm} / P_e$	долота с боковим нахилом			
								симетричні		асиметричні	
								P_{cm}^1	η_1	P_{cm}^2	η_2
100	4	2	24,1	11,3	20,2	21,7	0,90	19,75	0,91	17,79	0,82
100	4	5	30,2	15,7	23,3	22,9	0,76	19,69	0,86	17,63	0,77
100	9	5	68,1	15,7	52,5	53,4	0,78	43,79	0,82	38,98	0,73
140	4	5	47,6	13,7	38,2	39,7	0,83	36,92	0,93	34,14	0,86
140	9	5	107,0	13,7	86,0	85,8	0,80	74,65	0,87	67,78	0,79
140	9	10	129,1	21,1	104,9	117,4	0,91	98,62	0,84	90,40	0,77
Середнє значення							$\dot{\eta} = 0,83$	$\dot{\eta}_1 = 0,87$	$\dot{\eta}_2 = 0,79$		

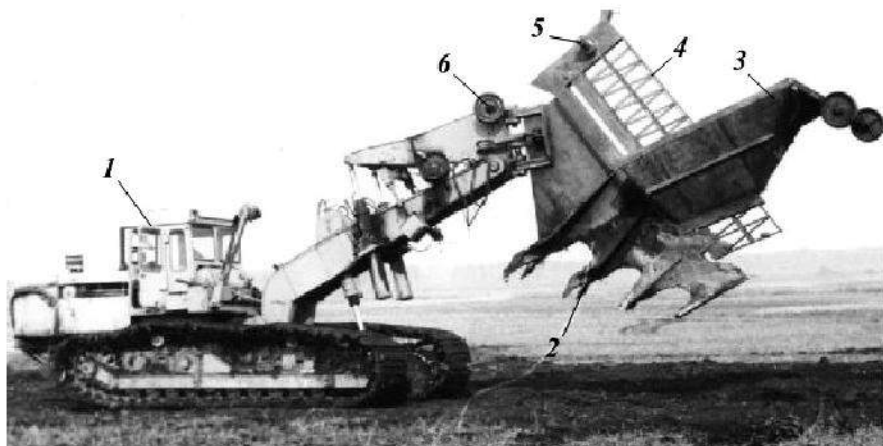


Рис. 5. Безтраншейний дрепоукладач з експериментальним ступеневим робочим органом:

1 — базова машина МД-4; 2 — ступеневий робочий орган [10]; 3 — бункер з піщаним фільтром, встановлений на робочому органі 2 за допомогою роликів; 4 — активатор відсіпки піщаного фільтра; 5 — вібратор з приводом від гідромотора НПА-64; 6 — цапфа для встановлення барабана з пластмасовою дренажною трубою

Висновки.

1. За техніко-економічними показниками землерийні робочі органи меліоративних машин пасивного типу вигідно відрізняються від робочих органів активного типу, проте в процесі глибокого обробітку ґрунтів пасивні робочі органи їх ущільнюють, а для свого робочого переміщення в ґрунті вони потребують великих тягових зусиль, що негативно впливає на ефективність здійснення меліоративних заходів.
2. Для усунення зазначених недоліків землерийних робочих органів пасивного типу запропоновані науково обґрунтовані та впроваджені у практику меліоративних робіт нові схеми ступеневого різання ґрунтів та конструкції ступеневих робочих органів для глибокого меліоративного розпушування, безтраншейного укладання дренажу та протифільтраційних завіс.

3. Результати теоретичних та експериментальних досліджень свідчать про можливість зниження сили глибокого ступеневого різання ґрунту, порівняно з традиційним щільовим різанням, у середньому на 17 % при ступеневому (ярусному) встановленні на вертикальному ножі прямих доліт, на 28 % із застосуванням похилих симетричних доліт і на 34 % із застосуванням похилих асиметричних доліт.

Бібліографія

1. *Хайзерук Е. М.* Кабелеукладчики. — М.: «Машиностроение», 1974. — 200 с.
2. *Казаков В. С.* Бестраншейные дренажукладчики. — М.: Россельхозиздат, 1974. — 60 с.
3. *Петроченко В. И.* Бестраншейная укладка пленочных завес на рисовых системах // Гидротехника и мелиорация. — 1986. — № 2. — С. 27-29.
4. *Петроченко В.И.* Основні напрямки вдосконалення технології і засобів механізованого укладання горизонтального дренажу // Меліорація і водне господарство. — 2004. — Вип. № 91. — С. 253-264.
5. *Петроченко В. И.* Робочі органи глибокого ступеневого різання ґрунту / Механізація та електрофікація сільського господарства. — 2006. — Вип. № 90. — С. 211-218.
6. *Петроченко В. И.* Устройство для бестраншейной укладки пленочной завесы. — А. с. № 1821513 (СССР). Опубл. в Б. И. 1993. — № 22.
7. *Зеленин А. Н.* Основы разрушения грунтов механическими способами. — М.: Машиностроение, 1968. — 371 с.
8. *Ветров Ю. А.* Резание грунтов землеройными машинами. — М.: Машиностроение, 1971. — 360 с.
9. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование.— М.: Мир, 1973. — 534 с.
10. *Петроченко В. И.* Способ глубокого рыхления почвы. — А.с. № 1412608 (СССР). Опубл. в Б. И. 1988, № 28.
11. *Петроченко В. И.* Способ глубокого рыхления почвогрунтов. — А.с. № 1482560 (СССР). Опубл. в Б. И. 1989, № 2 0.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТУПЕНЧАТОГО РЕЗАНИЯ ГРУНТОВ РАБОЧИМ ОРГАНАМИ МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

Приведены результаты исследований и оптимизации параметров процесса глубокого ступенчатого резания грунта рабочими органами мелиоративных машин –глубокорыхлителей, бестраншейных укладчиков дренажа и противофильтрационных завес.

Ключевые слова: *глубокое ступенчатое резание грунтов, мелиоративные машины, мелиоративное рыхление, бестраншейный дренаж, противофильтрационная завеса.*

RESEARCH PROCESS STEP CUTTING SOIL RECLAMATION MACHINES WORKING BODIES

The results of research and parameter optimization step digging deep working bodies reclamation machines — subsoiler, compilers trenchless drainage and impervious curtains.

Key words: *deep digging step, reclamation machines, reclamation loosening, trenchless drainage, grout curtain.*