

ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНСЬКОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК

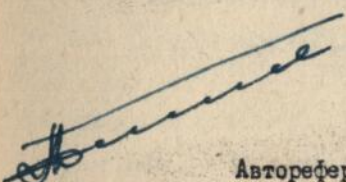
На правах рукопису

ПІОНТИК Людвіг Денисович

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ АЕРАЦІЙНОГО ОБРОБІТКУ ЛУК  
І ВНУТРІШНЬОҐРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ  
В ЗОНІ КАРПАТ

Спеціальність 05.20.01 -

"Механізація сільськогосподарського виробництва"



Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

смт. Глеваха - 1993

НВ 27.189

Робота виконана в Західному філіалі інституту механізації та електрифікації сільського господарства Української академії аграрних наук.

Науковий керівник: доктор технічних наук  
ПРОКОПЕНКО Д.Д.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, академік УААН  
НАГОРНИЙ М.Н.,  
кандидат технічних наук, доцент  
ГАВРИЛОК Г.Р.

Провідна установа: НВО Грунтопосівмаш "Лан" (м.Кіровоград)

Захист відбудеться "27" травня 1993 р. о 14 год.  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 020.30.01 по при-  
судженню вченого ступеня доктора технічних наук в Інституті меха-  
нізації та електрифікації сільського господарства УААН за адресою:  
255133, Київська область, Басильківський район, смт.Глеваха-І,  
вул. 40-річчя Перемоги, ІІ, ІМЕСГ УААН, кімната 613.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту меха-  
нізації та електрифікації сільського господарства УААН.

Автореферат розісланий "27" квітня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради,  
кандидат технічних наук

*Сурин* ГРИЦИШИН М.І.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00803166 (0)

Актуальність теми дослідження. У гірських районах сінокоси і пасовища є основним джерелом зелених і грубих кормів. Гірські кормові угіддя щорічно дають близько 4...5 млн. т кормових одиниць, тобто майже чверть кормів, одержуваних з природних сінокосів і пасовищ. Однак продуктивність цих угідь залишається низькою - 8...10 ц/га в перерахунку на сіно. Крім того, як правило, луки, розміщені на схилах, еродовані.

Культурні пасовища уже через два-три роки після їх залуження дуже ущільнюються. Це погіршує аерацію і підвищує випаровування вологи. В результаті цінні трави швидко випадають, з'являються дикоростучі з низькими кормовими цінностями.

Практиковане поверхнєве внесення добрив на схилах призводить до значних втрат їх за рахунок змиву та погіршення екологічного стану навколишнього середовища.

Однією з причин низької продуктивності природних кормових угідь є відсутність ефективних технологій догляду за луками, зокрема щодо аераційного обробітку в одночасним піддзерновим внесенням добрив, а також комплексу машин для реалізації цих технологій. Крім того, безсистемне використання природних кормових угідь призводить до повної деградації травостов.

У свою чергу, розробка спеціальних засобів механізації спримується відсутністю обґрунтованих технологічних процесів поліпшення лук, недостатнім вивченням властивостей дернини і відсутністю науково обґрунтованої методики розрахунку цілинорізів. У зв'язку з тим, розробка нових технологічних способів поліпшення природних кормових угідь, розміщених на схилах, підвищення ефективності їх роботи в одночасним зниженням енергозатрат є актуальним завданням, поставленим для вирішення в даній роботі.

Мета роботи. Підвищення продуктивності природних кормових угідь, зниження енергозатрат при цьому, поліпшення екологічного

стану, зменшення змиву добрив і ґрунту.

Об'єкт дослідження. Процес аераційного обробітку лук з одночасним внесенням мінеральних добрив на схилах, робочі органи і їх параметри.

Методи досліджень і устаткування. В основу теоретичних досліджень /взаємодія щільноріза з ґрунтом/ покладені фізико-механічні властивості ґрунту, основні положення землеробської механіки та математичний апарат механіки суцільних середовищ. Експериментальні дослідження проведені в лабораторних і польових умовах на спеціально виготовлених пристроях. При цьому використовувались методи тензометрування, математичної статистики, планування експерименту з подальшою оптимізацією. При обробці результатів вистосовувались ЕОМ.

Наукова новизна досліджень. Обґрунтована доцільність вастосування процесу аераційного обробітку і внутрішньогрунтового внесення добрив на луках.

Одержано аналітичні залежності для визначення параметрів робочих органів. Визначено аналітичні вирази, які характеризують напружено-деформований стан дернини /зв'язного ґрунту/, що дає змогу вирішити широке коло задач.

На захист вносяться: результати теоретичних і експериментальних досліджень процесів аераційного обробітку дернини і піддернинного внесення мінеральних добрив, параметри робочих органів і режими роботи.

Апробація роботи. Основні положення роботи розглядалися і були схвалені на республіканській науково-виробничій конференції "Енергозберігальні технології виробництва, заготівлі і зберігання кормів" /м.Вінниця, 1988/, республіканській нараді-семінарі "Інтенсивна технологія виробництва і заготівлі кормів" /м.Львів, 1990/.

Основні матеріали дисертації опубліковані в шести статтях і авторському свідостві.

Предмет і сфери впровадження. Результати досліджень використувуть в Кіровоградському НВО Грунтопосівмаш "Лан" при розробці комбінованого агрегату для догляду за луками. Дослідні зразки комбінованого агрегату проходили господарські випробування в радгоспі "Старосамбірський" Старосамбірського, у колгоспах ім. Мічуріна, "Заповіт Ілліча", ім. Галана, "Комунар" Перемишлянського, у дослідному господарстві Передкарпатської сільськогосподарської дослідної станції Дрогобицького району Львівської області, державні випробування - на Львівській МВС, в НВО "Арсільгоспмеханізація" і ІСКТБ по машинах для внесення органічних добрив /м. Бобринськ/.

Сфера використання і ефективність впровадження. Результати досліджень рекомендується використовувати при розробці комбінованого агрегату для догляду за луками. Впровадження комбінованого агрегату дає змогу знизити витрати праці на 39,6%, одержати економічний ефект 1696,4 крб. з розрахунку на одну машину /ціни 1989 року/.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу і чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Її обсяг - 168 сторінок, з них 151 сторінка текстовий матеріал, містить 40 рисунків, 13 таблиць, 17 сторінок додатків і 105 найменувань використаної літератури, з них 9 іноземною мовою.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі "Стан питання і завдання досліджень" доведено що основна причина виродження природних кормових угідь - відсутність системного догляду за сінокосами і пасовищами. Це призводить до їх переуцільнення і, як наслідок, до випадання цінних трав і заболочення лук. Найнеобхіднішою умовою підвищення житте-

діяльності рослин є забезпечення кореневої системи ксеном. При цьому ущільненні ґрунту, викликане рухом тракторів і сільськогосподарських машин при поверхневому полішенні і збиранні, повинно бути зведене до мінімуму. При неправильній експлуатації пасовищ тварини значно ущільнюють ґрунт, внаслідок чого погіршується аерація. За даними ВІК, на ділянках, де випасали тварин, показник аерації був на 17...18% нижчий, ніж на поруч розміщеній сінокосній ділянці.

Відсутність даних для порівняльної оцінки різних типів робочих органів і найперспективніших способів аераційного обробітку ґрунту на глибину залягання основної кореневої маси /6...10 см/ викликало потребу в проведенні в Західному філіалі ІМЕСГ відповідних досліджень. Експериментували чотири способи аераційного обробітку ґрунту:

- утворення суцільних ніш фрезеруванням;
- утворення суцільних ніш дводисковим робочим органом;
- утворення лунок пустотілими зубами;
- утворення лунок секторними робочими органами.

Найбільша врожайність лук і водонепроникливість була при обробітку дводисковим і секторним робочими органами. Одним із суттєвих недоліків таких робочих органів є те, що вони не працездатні на глибині обробітку понад 10 см.

Одним з найефективніших агротехнічних способів поліпшення водо-повітряного режиму природних кормових угідь у різних зонах є щільвання. Н.А.Дімо вказує, що обробіток ґрунту щільванням змінило його стан, поліпшує аерацію і підвищує біологічну активність, збільшує кореневу систему рослин.

Ефективність щільвання кормових угідь і ріллі доведена Тараріко О.Г., Башмановим Г.Н., Гуковим Я.С., Джуманізовим В.А., Дімо В.А., Лястопадом Г.С., Фомінієм П.С. і іншими. Крім того, аналогічні результати одержані в Англії, США, Голландії.

Найефективніші технологічні операції поліпшення кормових угідь не знайшли у нашій країні широкого впровадження через відсутність спеціальних засобів механізації. Існуючі серійні машини не задовольняють агрономічних вимог, які ставляться до машин по догляду за луками і пасовищами. Розробка нових засобів механізації в значній мірі стримується через відсутність методики розрахунку і проектування робочих органів, що взаємодіють з деревним покривом з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів /дернини/. Це і визначило напрямок даної роботи.

У другому розділі "Програма і методика досліджень" у відповідності з напрямом роботи сформульовані наступні завдання досліджень:

1. Обґрунтування процесу аераційного обробітку дернини і підґрунтового внесення добрив.
2. Вивчення впливу різних способів аераційного обробітку з одночасним внесенням добрив на продуктивність лук, розміщених на схилах.
3. Вивчення впливу способів обробітку дернини на змів добрив і ґрунту.
4. Дослідження особливостей фізико-механічних властивостей задернілих ґрунтів.
5. Теоретичні дослідження взаємодії циліндріза-розпушувача із задернілим ґрунтом.
6. Експериментально-теоретичне обґрунтування параметрів циліндріза з прямолінійним і криволінійним лезом.
7. Розробка і випробування універсального комбінованого агрегату та його економічна ефективність.

Вплив різних способів аераційного обробітку лук з одночасним внесенням добрив вивчали в два етапи. Спочатку досліджували підрізання кусків дернини з моноліта паралельними ножами і плоским ножем, кльвання, підрізання дернини з підґрунтовим внесенням

добрив, підрізання і щільвання дернини з підгрунтогим внесенням добрив.

Після вибору найефективнішого способу аераційного обробітку проводили обґрунтування його технологічних параметрів. При дослідженні різних способів аераційного обробітку з одночасним внесенням добрив вивчали вплив способу обробітку на урожайність, ботанічний склад травостой, змив ґрунту і добрив. У всіх варіантах дослідів, крім останнього, глибина обробітку дернини - 8 см. Ширина щілини і лунок - 20 мм. Ширина підрізного пласта - 20 см. В усіх варіантах дослідів /крім вивчення на змив/ і на контролі /без обробітку/ вносили однакову дозу добрив / $N_{60}P_{40}K_{60}$ /, а при вивченні змиву - підвищену дозу азотних добрив / $N_{200}$ /.

У варіантах з щілинами і лунками, а також на контролі добрива вносили поверхнево, у решті - підгрунтово. Досліди закладали на луках із злаковим травостоем, розміденим на схилах крутизою  $3...15^{\circ}$ . Твердість ґрунту 6,3 МПа, задернілість 7%. Урожайність, ботанічний склад ґрунту, вологість, твердість і інші показники визначали за загальноприйнятими методами.

З метою вивчення залежності впливу способу обробітку дернини на змив ґрунту / $\Pi$ / і добрив / $D'$ / ставили повнофакторний експеримент  $2^3$  з наступними факторами варіювання: крутизна схилу / $\alpha$ / 3,  $15^{\circ}$ , ширина між смугами / $B$ / 35, 140 см, глибина підрізання пласта / $H$ / 8,22 см. Адекватність прийнятих моделей перевіряли по  $F$ -критерію /Фішера/ і  $t$ -критерію /Стьюдента/.

Змив добрив визначали так. Вибрану ділянку розміром  $2 \times 3$  м, де проводили підгрунтове внесення добрив, з усіх сторін обмежували дошками висотою 200 мм. Дошки забивали в ґрунт ребром на глибину 8...10 см. У нижній частині ділянки розміщали лоток для забору води. Над ділянку встановлювали штани, розширювачі яких повернуті уверх. Дослідження проводили інтенсивністю  $1,5$  мм/хв, що

відповідає проливному дощеві. Час досування в усіх дослідах становив 40 хв. Кількість змитих добрив і ґрунту визначали за спеціальною методикою.

Теоретичні та експериментальні дослідження по оптимізації параметрів щільноріза включали вивчення фізико-механічних властивостей ґрунту і вибір математичної моделі, що описує напружено-деформований стан ґрунту у функції найвпливовіших факторів - таких, як вологість, задернілість і щільність.

Задачу взаємодії щільноріза з ґрунтом розглядали з позиції механіки суцільного середовища. При цьому встановлювався функціональний зв'язок між геометричними, технологічними і кінематичними параметрами щільноріза і фізико-механічними параметрами ґрунту. Одержані рівняння обчислювали на ЕОМ *Protach IBMPC/AT-286*. На основі інтерпретації одержаних залежностей визначали найраціональніші геометричні і конструктивні параметри робочого органу, призначеного для роботи в екстремальних умовах.

Для підтвердження достовірності одержаних параметрів була виготовлена серія робочих органів із незначним відхиленням від розрахункових параметрів вліво і вправо.

Лабораторно-польові дослідження таких робочих органів проводили для тих же умов, при яких оптимізувались параметри розрахунковим шляхом. Експериментально встановлювали залежність складових опор робочого органу від ширини  $l$  і товщини  $2\delta$  щільноріза, форми леза, глибини  $H$ , швидкості обробітку  $V$ , кута між щоклами  $2\alpha$ , кута постановки  $\delta$ . При цьому визначали ступінь розпушування ґрунту і форму щільни.

Складові опору, глибину ходу, мікрорельєф і тяговий опір агрегату фіксували за допомогою осцилографа НО4ІУ4.2. Площу спущення ґрунту фотографували через координатне скло з використанням спеціального штатива і визначали планіметром.

Твердість ґрунту визначали на глибині 5, 15, 25 см твердоміром Рев'якіна. Обробку діаграм проводили по ГОСТ 20915-75. Щільність і твердість ґрунту, абсолютну і відносну вологість визначали за загальноприйнятою методикою, ступінь задернілості - у процентах за формулою

$$\text{З} = \frac{V_k^*}{V_0} \cdot 100 \quad (1)$$

де  $V_0$  - об'єм ґрунту не порушеної структури;  $V_k^*$  - об'єм коріння.

Умови проведення дослідів. Досліди проводили в екстремальних умовах. Травостій злакобобовий, ґрунт лукокарбонатний важкосуглинистий /твердість 4,5 МПа,  $W_{hd} = 75\%$ , щільність 1,44 г/см<sup>3</sup>/, а також дерновопідзолистий огієсний суглинистий /твердість 3,7 МПа,  $W_{hd} = 68\%$ , щільність 1,35 г/см<sup>3</sup>/ . Повторність дослідів п'ятикратно.

У третьому розділі "Результати досліджень" подані результати лабораторних, теоретичних і польових досліджень.

У процесі досліджень різних способів аераційного обробітку дернини з одночасним поверхневим внесенням добрив одержано дані, які свідчать про те, що найсуттєвіше збільшення врожаю зеленої маси, у порівнянні з контролем, спостерігається при обробітку дернини секторними робочими органами - 27,5 т/га НІР 3,4 і щількорізами 28,7 т/га НІР 3,5. Аераційний обробіток дернини без внесення добрив не дає збільшення врожаю як при лункуванні, так і при щільованні.

Як показали результати, застосування піддержного внесення добрив і різних способів аераційного обробітку /піддержанне розпушення, вертикальне щільвання з двостороннім підрізанням дернини на рівні дна щілини і вище його рівня/ значно підвищує врожайність. Так, при внесенні *N<sub>60</sub> P<sub>20</sub> K<sub>60</sub>* діючої речовини на поверхню старосіяного сіножаттєвого урожайність порівняно з контролем зростає в 2,1 рази. Внесення такої ж кількості добрив піддержкино з вертикальним щільванням і двостороннім підрізанням дернини на рівні

дна щільни /віддеринне розпушення/ забезпечує ріст урожайності сінокошу в 2,3 раза, а глибине внесення добрив при щільванні нижче рівня підрізання дернини - в 2,7 раза.

Результати дослідів по вивченню впливу кута схилу поверхні луки, відстані між щільнями, глибини щільвання і способу внесення добрив на урожайність старосіяного сінокошу наведені в таблиці. З таблиці видно, що в рік внесення добрив урожайність луки, розміщеної на схилі 3°, підвищилась у порівнянні з контролем № 1 на 79,2%, а на ділянці, розташованій на схилі 15°, - на 71%. При внесенні тієї ж дози добрив піддеринно з одночасним щільванням /ширина між щільнями 70 см, глибина щільвання 8 см нижче рівня внесення добрив/ урожайність у порівнянні з контролем № 2 зросла в 2,3 і 2,4 раза.

У результаті вивчення впливу кута схилу, глибини щільвання та ширини міжряддя на змів добрив і ґрунту одержано рівняння регресій:

$$D = 498,27 + 12,13\alpha_n + 0,929B - 12,163H \quad (2)$$

$$H = 43,36 + 1,178\alpha_n + 0,063B - 0,58H \quad (3)$$

Теоретичні дослідження. Ґрунт луки і пасовища, осушених боліт і торфовищ, полів з-під багаторічних трав пролягнуті членим корінням рослин. Грубе коріння концентрується у верхній частині пласта в шарі від 6...8 до 16...18 см, нижче розміщуються, як правило, лише тонкі й дрібні корінці. Ґрунтовий пласт у таких випадках розділяють на два шари, які різко відрізняються своїми технологічними властивостями. Так, наприклад, верхній задернілий шар часто веде себе як пружне тіло, у той час як нижній в більшості пластичний, а інколи може розглядатись як силіційний матеріал. Встановлено, що межа міцності на зсув задернілого ґрунту біля як вдвоє перевищує межу міцності староорного. Верхній задернілий шар неоднорідний по глибині. Із збільшенням глибини задернілість

Результати дослідів по вивченню впливу кута схилу поверхні луки, відстані між щільнями, глибини ділювання і способу внесення добрив на урожайність і ботанічний склад травостою

Варіант дослідів	Кут схилу, град.	Віддаль між щільнями, см	Глибина ділювання, см	Норма внесення добрив на га, кг д.р.	Урожайність, т/га	Вміст у травостої, %	середня: NIP <sub>0,95</sub>	бобових: вих	злако-: різно-: трав'я
	3	70	8,2	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	24,3	-	13,8	79,1	7,1
	10	70	8,1	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	23,1	1,40	12,4	79,4	8,2
	15	70	8,3	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	22,0	1,17	11,9	77,4	10,7
		35	8,2	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	25,0	-	12,8	79,2	7,4
	10	105	8,1	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	19,7	2,90	13,2	77,6	9,2
			14,0	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	22,6	-	10,4	78,0	11,6
	10	70	20,0	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	23,9	1,10	12,2	79,1	8,7
Контроль	3	-	-	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	19,0	-	5,3	90,0	4,7
№ 1 без обробітку	10	-	-	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	18,8	0,81	6,4	87,8	5,8
	15	-	-	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	15,8	3,01	5,9	90,4	3,7
Контроль	3	-	-	-	10,6	-	7,7	91,0	1,3
№ 2 без обробітку	10	-	-	-	10,1	-	6,9	90,2	2,9
	15	-	-	-	9,2	-	6,7	91,3	2,0

\* Глибина внесення добрив в усіх варіантах обробітку 6 см



верхня - прямолінійна і нижня - криволінійна. Прямолінійна ділянка леза утворює з вертикаллю кут  $\delta$ . Усі перетини щілиноріза перпендикулярні до прямолінійного відрізка леза TO та на криволінійній ділянці, ідентичні і мають вид перетину ABC.

Кут загострення  $/2\alpha/$  утворює лобову поверхню щілиноріза, а паралельні частини CB і  $C_1B_1$  - бокову поверхню.

Сили, що діють на щілиноріз розглядаються як сили, прикладені до леза, лобової та бокової поверхонь щілиноріза. Спочатку розглядаємо взаємодію з ґрунтом лобової поверхні щілиноріза з кутом між гранями  $2\alpha$ . Розглядаємо як ідеально гладкий клин з кутом між гранями  $2\beta = 2(\alpha + \varphi)$ , де  $\varphi$  - кут тертя. У цьому випадку частинки ґрунту пересуваються нормально до граней.

Розглянемо заглиблення клина у відкриту стінку /рис. 2/ до повного входження граней клина в ґрунт.

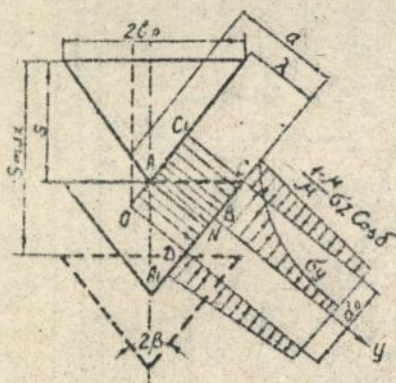


Рис. 2. Схема взаємодії лобової поверхні щілиноріза-розпушувача з ґрунтом

При усталеному русі /повне заглиблення клина в ґрунт/ маємо  $S = S_{max} = 2b_0 / \sin 2\beta$  (4) де  $b_0$  - половина товщини ідеального клина, яка

визначається /рис. 1/ як  $b_0 = l_1 \cdot \tan \beta$ ,  $l_1 = b_0 \tan \alpha$ , (5) де  $b$  - половина товщини реального клина /щілиноріза/.

Еквівалентна напруженість у цьому випадку має вигляд трикутника з максимальною ординатою

$$\lambda_{max} = \frac{b_0}{\cos \beta}$$

Переміщення клина викликає зсув об'єму ґрунту  $AA_1CC_1$ . Реактивний

тиск, що виникає при цьому, є функцією переміщення  $\lambda$ , фізико-механічних властивостей ґрунту і параметрів клина. Для визначення його виділимо об'єм ґрунту, обмежений верхньою  $CC_1$  і нижньою  $AN$  граничними поверхнями максимальних зсувів. Віддаль  $d_0$  між цими поверхнями знаходимо шляхом заміни епюри переміщень  $AA_1CC_1$  прямокутною епюрою  $ODCC_1$

$$d_0 = \frac{2a}{\operatorname{tg}\beta} - 2S \cdot \operatorname{Cos}\beta \quad (6)$$

де 
$$a = \frac{\theta_0}{2\operatorname{Cos}\beta} + \frac{3}{4} S \cdot \operatorname{Sin}\beta$$

Таким чином, наведена епюра переміщень є епюрою фіктивного клина, заглибленого в ґрунт на величину  $S$ , вісь якого проходить через точку  $O$ .

При зміщенні виділеного об'єму ґрунту на граничних поверхнях виникають дотичні напруження. Довжина активної зони, у межах якої спостерігаються деформації ущільнення, визначається з умови рівноваги сил, що передаються гранями клина, і дотичних сил на граничних поверхнях зсуву. Форма епюри напружень на граничних поверхнях невідома. Згідно з теорією пружності вона може змінюватись від трикутної до прямокутної. Ми приймаємо проміжний вид епюри. Тоді умову рівноваги запишемо як

$$P_0 \cdot d_0 = T_{гр} \cdot L(2-k) \quad (7)$$

де  $P_0$  - середній тиск ґрунту на грань клина;  $T_{гр}$  - граничне дотичне напруження на граничних поверхнях

$$T_{гр} = \frac{\mu}{2(1-\mu)} g \cdot \rho \cdot h \operatorname{Cos}\varphi_1 \operatorname{tg}\varphi_0 + \eta \cdot v \operatorname{Cos}\varphi_2 + C_0, \quad (8)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона для ґрунту;  $g$  - прискорення земного падіння;  $\rho$  - щільність ґрунту;  $h$  - глибина, на якій визначається  $T_{гр}$ ;  $\varphi_1$  - кут нахилу площини дії  $T_{гр}$  до горизонту;  $\varphi_0$  - кут внутрішнього тертя ґрунту;  $\eta$  - еластична в'язкість ґрунту;  $\varphi_2$  - кут між напрямком швидкості і напрямком дії  $T_{гр}$ ;  $C_0$  - зорстка

щеплення ґрунту;  $k$  - коефіцієнт форми епюри напружень, який визначається експериментально;  $V$  - швидкість прикладення навантаження.

Розв'язуючи ці рівняння, одержимо  $\beta_0 = 2\sqrt{\frac{1}{3}E_1 \operatorname{tg} \beta (2-k) \varepsilon_{rp}}$ , (9)  
а для довжини активної зони ущільнення знаходимо

$$L = \beta_0 \sqrt{\frac{2E_1}{3 \sin 2\beta (2-k) \varepsilon_{rp}}} \quad (10)$$

Майчи величини  $\beta_0$  і  $L$  для поперечного перетину, можна визначити лобовий опір циліндріза.

Слід відмітити, що щільвання підлягає тільки піддерижний шар ґрунту нижче площини підрізання. Внаслідок цього у верхній частині робочої ділянки циліндріза відбувається зсув і сколювання ґрунту вверх. Таким чином, на лобовій поверхні циліндріза є дві зони: /сколювання і ущільнення/, і лобовий опір циліндріза складається з опору сколювання і ущільнення. Щоб знайти ці зони і опір, потрібно знати рівняння лобової поверхні циліндріза.

Запишемо рівняння дуга  $TOO_1$

$$w = \varphi_1(u) = \begin{cases} 0 & \text{при } u \leq 0 \\ \Delta \left(\frac{u}{d}\right)^n & \text{при } u > 0 \end{cases} \quad (11)$$

де  $\Delta$  - максимальний "виліт" криволінійної частини циліндріза по відношенню до прямолінійної /віддаль  $qO_2$  /,  $\Delta \geq 0$ ;  $n$  - порядок параболі,  $n \geq 1$ ;  $d$  - довжина криволінійної частини /віддаль  $OO_2$  /  $d > 0$ .

Сколювання ґрунту циліндрізом і відносне розміщення підрізаної діли та циліндріза-розпушувача показано на рис. 3.

Визначимо сили, які діють на бокові поверхні циліндріза-розпушувача. При глибинах, менших глибини сколювання  $h_c$ , з боковою поверхнею взаємодіє розпушений ґрунт. На глибинах, більших  $h_c$ , бокова поверхня оприймає тиск зі сторони моноліта ґрунту, внаслідок чого на ній виникають сили тертя.

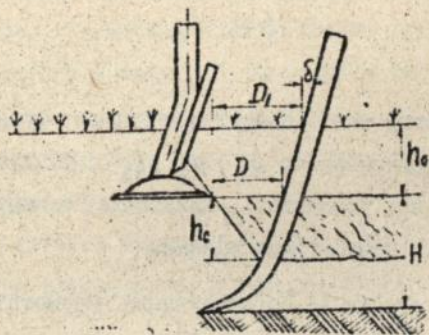


Рис. 3. Взаємне розміщення підрізаного робочого органу і ділянки горизонтально-розпушувача

На основі рівняння напружено-деформованого стану вадернілого ґрунту для тиску ґрунту  $q(u, w)$  в точці  $K(u, w)$  можна записати

$$q(u, w) = q_0 - \int_0^t B_2 e^{-(z-t)\delta_3} (q_0 - \sigma_0) dt = q_0 - \frac{B_2}{\delta_3} (q_0 - \sigma_0) (1 - e^{-t\delta_3}), \quad (12)$$

де  $q_0$  - складова тиску на лобовій поверхні в точці  $K_0$ , перпендикулярна боковій поверхні;  $B_2, \delta_3$  - параметри резольвенти, які характеризують реологічні властивості ґрунту;  $t$  - час переміщення ґрунту з точки  $K_0$  в точку  $K$ ;  $\sigma_0$  - умовна тривала границя міцності ґрунту;  $u_0, w_0, \chi_0$  - координати точки  $K_0$ , які знаходяться з умов перетину горизонтальної прямої  $KK_0$  з лінією розмежування  $T_1 O_1 O_0$ .

Інтегруючи  $q(u, w)$  по області  $M_0 M O_0 O_1$  /рис. I/, визначаємо нормальну силу  $N$ , що діє на одну сторону бокової поверхні

$$N = \iint_{(M_0 M O_0 O_1)} q(u, w) du dw \quad (13)$$

З урахуванням симетрії циліндріза результуючий опір, прикладений до бокової поверхні в цілому, складається тільки з сил тертя:  $F_x = -2fN$  ;  $F_z = F_y = 0$ , де  $f$  - коефіцієнт тертя ґрунту по боковій поверхні циліндріза.

Таким чином, залишається визначити опір різаних на ділянці леза  $O_2 O O_1$  /рис. I/. Складові  $R_x$  і  $R_z$  цього опору можуть бути знайдені за методикою, описаною раніше. Тоді для повного опору циліндріза-розпушувача одержимо:

$$\begin{cases} R_x = S_x + P_x + F_x + Q_x, \\ R_z = S_z + P_z + Q_z, \\ R_y = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Внаслідок розв'язування такої задачі встановлено функціональний зв'язок між складовими опору  $R_x, R_y, R_z$ . Фізико-механічними властивостями ґрунту /вологість, щільність, задернілість/, технологічною швидкістю та параметрами щільниці.

### Експериментально-теоретичне обґрунтування параметрів щільноріза

Результати теоретичних і експериментальних досліджень прямолінійного щільноріза наведені на графіках /рис. 4...8/.

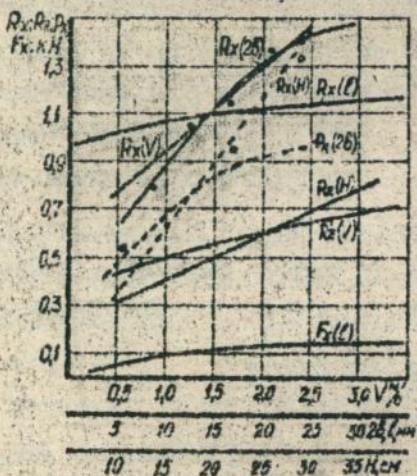


Рис. 4. Залежність складових опорів  $R_x, R_z, P_x, F_x$  від товщини щільноріза  $z$ , ширини  $l$ , глибини  $H$  і швидкості щільвання  $V$ .  
o -  $R_x(H)$ , • -  $R_x(V)$

Одержані залежності встановлюють функціональний зв'язок між складовими тягового опору, геометричними

та технологічними параметрами робочого органу.

На рис. 4. наведена теоретична залежність складових сумарного опору  $R_x, R_z$ , лобового  $P_x$  - бокового  $F_x$  опорів від товщини щільноріза  $z$ , ширини бокових площей  $l$ , глибини  $H$  і швидкості щільвання  $V$ .

З рис. 4 видно, що щільвання пов'язане з великими енерговитратами. Опір щільноріза зростає пропорційно до глибини щіль-

вання, а також інтенсивно збільшується із підвищенням швидкості.

Процес щільноутворення проходить нижче критичної глибини сколювання ґрунту в основному за рахунок його ущільнення, де переважає напруження всестороннього стиску. Оскільки зона щільноутворення із збільшенням глибини зростає, а зона сколювання /спушення/, як впливає з графіка рис. 5, залишається постійною, то складові лобового  $R_x(H)$  і бокового  $F_x(H)$  опорів інтенсивно зростають, а відповідно збільшується і сумарна складова  $R_x(H)$ .

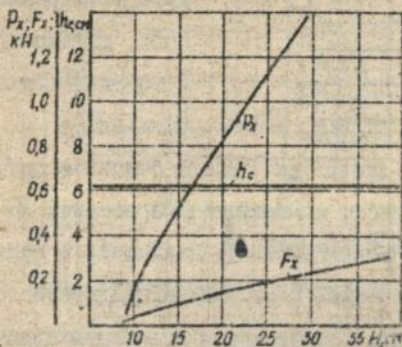


Рис. 5. Залежність горизонтальної складової лобового опору  $R_x$ , бокового  $F_x$  і критичної глибини сколювання  $h_c$  від глибини щільноутворення  $H$

Горизонтальна складова  $R_x(\delta)$  із збільшенням товщини щільвача  $2\delta$  спочатку

зростає /рис. 4/, а потім при  $2\delta > 15$  мм інтенсивність її зростання дещо зменшується. Така залежність пояснюється тим, що критична зона сколювання  $h_c$  /рис. 6/ при постійній глибині із збільшенням товщини щільноутворення зростає, тому відбувається перерозподіл по глибині зон сколювання і щільноутворення.

Аналогічна залежність спостерігається і для лобового опору в зоні щільноутворення  $R_x(2\delta)$  /рис. 4/, який спочатку із збільшенням  $2\delta$  інтенсивно зростає і при  $2\delta = 18...20$  мм спостерігається спад інтенсивності.

Оскільки із збільшенням товщини щільноутворення /  $2\delta$  / при  $H = \text{const}$  зменшується глибина щільноутворення, то і знижується опір на бокових площинах  $F_x$  /рис. 7/.

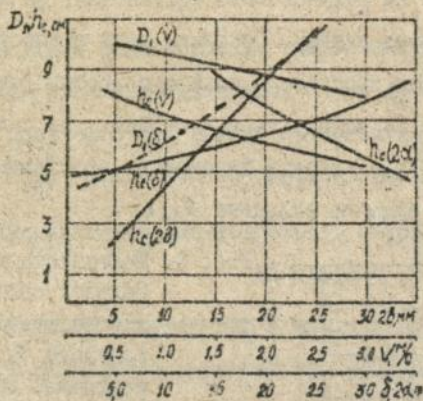


Рис. 6. Залежність відстані між циліндрізом по поверхні деревини і задньою кромкою робочого органу  $D_c$ , критичною глибиною сколювання  $h_c$  від кута між гранями  $2\alpha$ , швидкості  $V$  і товщини циліндріза  $2\delta$

Це є основною причиною зменшення зростання  $R_x(\delta)$

при  $2\delta > 20\text{mm}$ . З вищеведеного виходить, що циліндріз з прямиолінійним лезом, призначений для верзгії /спушення піддернового шару/, повинен мати товщину понад 20 мм, а для утворення щільн, з метою відведення стокових вод, товщина повинна бути  $2\delta < 20\text{mm}$ .

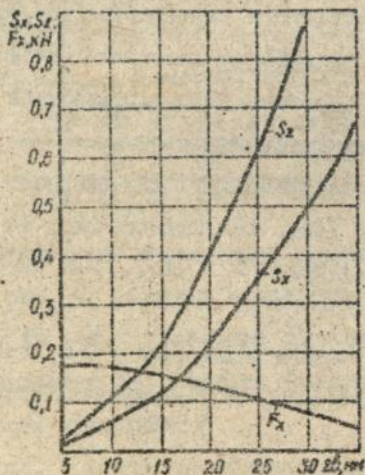


Рис. 7. Залежність складових опор сколювання  $S_x, S_z$  опору тьрти бокових площин  $F_x$  від товщини циліндріза

Сильний ріст тягового опору із підвищенням швидкості відбувається внаслідок того, що критична глибина  $h_c(V)$  з ростом швидкості зменшується /рис.6/ за рахунок збільшення глибини зони щільноутворення.

Це призводить до різкого збільшення лобового опору  $R_x(V)$  /рис.8/

і напруження на бокових площинах  $F_x$ . Спір бокових площин щілиноріза з підвищенням швидкості зростає, оскільки з однієї сторони збільшується глибина щілини, а з другої - напруження на бокових площинах внаслідок зниження релаксації.

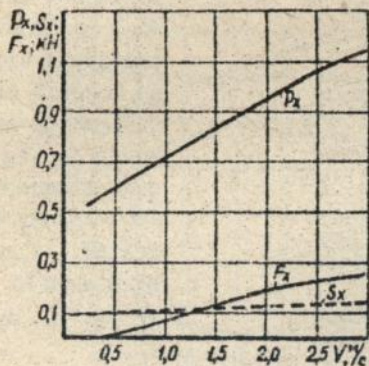


Рис. 8. Залежність горизонтально-складової лобового опору  $P_x$ , сили тертя опору сколювання  $S_x$  і опору тертя на бокових площинах  $F_x$  від швидкості щілювання  $V$

#### Обґрунтування параметрів щілиноріза з криволінійним лезом

При обґрунтуванні параметрів щілиноріза розрахунки виконували за тією ж методикою, враховуючи при цьому, що  $\Delta > 0$  і  $n > 1$

Результати теоретичних і експериментальних досліджень криволінійного щілиноріза наведені на графіках /рис. 9...II/.

Залежність складових сумарного опору  $R_x$ ,  $R_z$ , горизонтальних складових  $F_x$  бокових площин опору сколювання  $S_x$  від товщини щілиноріза  $2\delta$ , ширини бокових площин  $l$  і глибини щілювання  $H$  показано на рис. 9.

З графіка видно, що збільшення товщини щілиноріза при  $H = \text{const}$  тяговий опір спочатку зростає, а потім, після досягнення критичної товщини  $2\delta = 15$  мм, інтенсивність починає зменшуватись. Із збільшенням товщини  $2\delta$  при  $H = \text{const}$  зростає вона сколювання, і, відповідно, опір сколювання. При збільшенні товщини до 10 мм глибина сколювання /рис. 10/ зростає незначно, а лобовий опір інтенсивно. При  $2\delta > 15$  мм глибина сколювання досягає

майже глибини обробітку /рис. 10/, при цьому щільноутворення відсутнє і лобовий опір, як і опір бокових площин, зменшується.

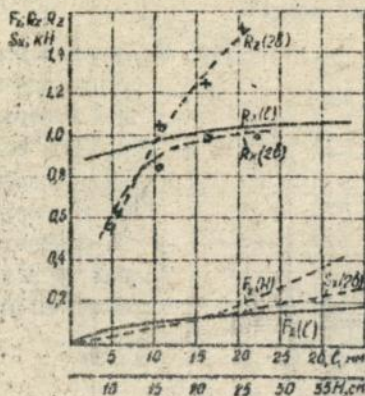


Рис. 9. Залежність складових сумарного опору  $R_x, R_z$ , горизонтальних складових сил тертя на боковій площині  $F_x$ , опору сколювання  $S_x$  від товщини щільноріза  $2\beta$ , ширини бокових площин і глибини щільювання  $H$   
 $\circ - R_x(2\beta), + - R_z(2\beta)$ .

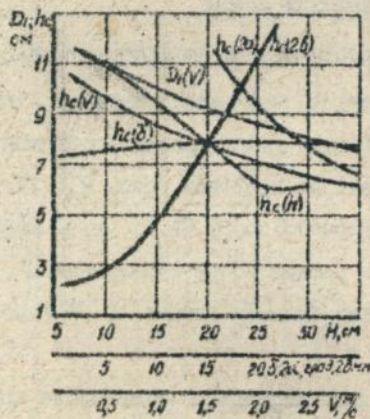


Рис. 10. Залежність  $D_c$  і критичної глибини сколювання  $h_c$  від  $2\alpha, \delta, 2\alpha, H, V$

При збільшенні кута між гранями  $2\alpha$  тяговий опір  $R_x$  зростає /рис. 11/. Найінтенсивніший ріст  $R_x$  спостерігається при збільшенні  $2\alpha$  до  $25^\circ$ . Інтенсивне збільшення  $R_x$  при

зміні  $2\alpha$  від  $10$  до  $25^\circ$  пояснюється тим, що в цих межах спостерігається зменшення сколювання  $h_c$  /рис. 10/.

При зміні  $\delta$  у межах  $0 \dots 20^\circ$  тяговий опір зменшується лише на  $8 \dots 9\%$ . Тому, виходячи з конструктивних мотивів, доцільно криволинійний щільноріз встановлювати так, щоб його прямолинійна частина співпадала з вертикаллю, тобто  $\delta = 0$ . На основі аналізу теоретичних і експериментальних досліджень визначені такі кон-

структивні параметри криволінійного щілиноріза: виліт кривої повинен бути в межах 15...20 см, довжина криволінійної частини  $d = 20$  см, порядок параболи  $n = 2$ ,  $2\delta = 15...25$  мм,  $l = 25$  мм,  $2\alpha = 25...30^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ .

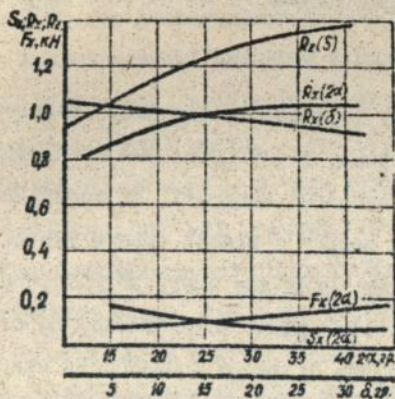


Рис. II. Залежність складових сумарного опору  $R_x$ ,  $R_z$ , бокового  $F_x$  і опору сколювання  $S_x$  від  $2\alpha$  і  $\delta$

Як показали експериментальні дослідження, прямолінійний щілиноріз утворює щільну з ущільненими стінками, тому його доцільно використовувати для відведення стічних вод і накопичення

вологи. Щілиноріз з криволінійним лезом забезпечує більш глибоку зону сколювання та інтенсивне розпушення ґрунту, а тому його краще застосовувати для аераційного обробітку. Крім того, тяговий опір його на 13...16% менший, ніж прямолінійного.

У комплексну роботу по розробці технології поверхневого поліпшення лук і засобів механізації для її реалізації /луковий універсальний комбінований агрегат/ звійшли результати теоретичних і експериментальних досліджень по обґрунтування параметрів щілиноріза і робочих органів для піддернового внесення добрив.

Розроблений і виготовлений луковий універсальний комбінований агрегат пройшов господарські випробування в радгоспі "Старосамбірський" Львівської області і державні випробування на Львівській МВС.

У четвертому розділі "Економічна ефективність" представлений розрахунок економічної ефективності застосування лукового універсального комбінованого агрегату в порівнянні з базовим варіантом. Встановлено, що його використання дає річний економічний ефект 1696,4 крб. з розрахунку на одну машину /у цінах 1989 року/.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. У результаті виконаних досліджень розроблено енергоресурсозберігаючий технологічний процес і універсальний комбінований агрегат, що суміщає такі технологічні операції, як аераційний обробіток, піддержичне внесення добрив і підсів трав в умовах передгірської та гірської зон Карпат, який дає змогу збільшити продуктивність лук і пасовищ в 1,4...1,7 раза. Встановлено, що піддержичне внесення мінеральних добрив підвищує урожайність природних сінокосів на 5,3...6,2 т/га і скорочує злив добрив у порівнянні з поверхневим внесенням у 2,1...2,6 раза.

2. Обґрунтовано технологічну і конструктивні схеми комбінованого агрегату, параметри його робочих органів. Встановлено, що найефективнішим є поєднання ярусно розміщених дискового ножа, лани, щілиноріза. При цьому лемішна поверхня лани виконана у вигляді гіперболоїда обертаючі; віддаль між задньою ріжучою кромкою лани і щілиноріза  $D = 230$  мм; глибина ходу в дернині  $h_0 = 60...80$  мм; глибина ходу щілиноріза -  $H = 80...200$  мм /глибина щільовання 170...250 мм/.

3. Розроблена математична модель взаємодії щілиноріза-розпушувача із задернілим ґрунтом, яка встановлює функціональну залежність між окладовим опором робочому органу, його геометричними /кривизна леза або кут виставлення, кут загострення леза, товщина щілиноріза, довжина бокових площин, радіус леза/, кінематичними і технологічними /глибина і ширинна щілини/ параметрами та фізико-механічними властивостями ґрунту /вологість, щільність, задернілість/.

4. Встановлено, що для зони Карпат оптимальними конструктивними параметрами щілинорізів є:

- прямолінійних: товщина щілиноріза  $2\delta = 20$  мм; ширина бокових паралельних площин  $l = 25 \dots 30$  мм; кут між гранями  $2\alpha = 25 \dots 30^\circ$ ; кут встановлення щілиноріза до вертикалі  $\delta = 20 \dots 23^\circ$ ;

- криволінійних: показник кривизни  $\rho = 2$ ; кут встановлення частини щілиноріза, розміщеного вище точки спряження криволінійної і прямолінійної частин  $\delta = 0^\circ$ ; виліт кривої  $\Delta = 20$  см; довжина кривої  $d = 25 \dots 30$  см; ширина бокових паралельних площин  $l = 25$  мм; кут між гранями  $2\alpha = 25 \dots 30^\circ$ .

Для аераційного обробітку необхідно застосувати щілиноріз з криволінійним лезом, для щілиноутворення - з прямолінійним. Тяговий опір щілиноріза з криволінійним лезом на 13...18% менший.

5. Універсальний агрегат ЛУКА-2,8Г пройшов державні випробування на Львівській МБС, рекомендовано виготовити дослідну партію таких агрегатів.

Розрахунковий економічний ефект від впровадження агрегата ЛУКА-2,8Г становить 1696,4 крб. /у цінах 1989 р./.

Основні положення дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Усовершенствование технологии и средств механизации внесения удобрений на сенокосах и пастбищах. - Механизация и электрификация сельского хозяйства. - М., 1989. - № 7. - С. 24...25 /в соавторстве Прокопенко Д.Д., Ясников Г.К., Корзун В.И./.

2. Аераційний обробіток природних угідь. - Земля і люди України. - Київ, 1992. - № 12. - С. 13.

3. А.С. № 1535394 СССР. Орудие для рыхления почвы. /Я.С.Луков, А.С.Шквиря, Н.П.Могилевский. Бюллетень "Открытия, изобретения и товарные знаки". - 1990. - № 2. - С. 5.

4. Усовершенствование технологии ухода за естественными кормовыми угодьями. /Тезисы докладов на республиканской научно-технической конференции. - Энергосберегающие технологии производства, заготовки и хранения кормов. - Винница, 1988. - С. 9 /в соавторстве В.И.Корзун/.

5. Ефективність поєднання аераційного обробітку дернини в підкарпінним внесенням добрив. /Тези доповідей на республіканській нараді-семінарі. Інтенсивна технологія виробництва і заготівлі кормів/. - Львів, 1990 /у співавторстві Прокопенко Д.Д., Корзун В.І./.

6. Комбінований агрегат для поліпшення лук. /Тези доповідей на республіканській нараді-семінарі. Інтенсивна технологія виробництва і заготівлі кормів/. - Львів, 1990 /у співавторстві Прокопенко Д.Д., Корзун В.І./.

7. Операционная технология производства кормов. - М., Рос-сельхозиздат, 1981, с.4...32, 68...132 /в соавторстве Орманцки К.С., Барабаш Г.И., Карпенко Е.Д. и другие.

Ротапринт Львівської Замовлення 20 Тираж 100

AB 27.189