

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра агроінженерії

02-07-63М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни
«Сільськогосподарські машини» для здобувачів вищої
освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-
професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності
Н7 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
Науково-методичною
радою з якості ННМІ
Протокол №3 від 18.11.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Сільськогосподарські машини» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності Н7 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Шимко А. В., Змієвська О. Г. – Рівне : НУВГП, 2025. – 38 с.

Укладачі:

Шимко А. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії;

Змієвська О. Г., старший викладач кафедри агроінженерії

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри агроінженерії.

Перевидання МВ 02-07-05М

Схвалено на засіданні кафедри агроінженерії протокол №4 від 05 листопада 2025 року.

Керівник групи
забезпечення спеціальності
208 «Агроінженерія»

Бундза О. З.

© А. В. Шимко,
О. Г. Змієвська, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

ВСТУП

1.	Практична робота №1.....	6
2.	Практична робота №2.....	15
3.	Практична робота №3.....	23
4.	Практична робота №4.....	29
Список використаних джерел		

ВСТУП

Землеробство - найдавніше заняття людства. Пов'язані з ним знаряддя праці розвивалися й удосконалювалися століттями. На основі результатів досліджень виникла система машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва, що враховує природно-кліматичні умови України.

У зв'язку з цим зростає роль і значення інженера сільськогосподарського виробництва. Для раціональної організації інженерно-технічної служби він має знати не тільки конструкцію сільськогосподарських машин, а й теорію робочих процесів - взаємодію робочих органів з оброблюваним матеріалом.

Зростає роль інженерів у розв'язанні практичних завдань щодо застосування сільськогосподарських машин і, зокрема, машин для додаткового обробітку ґрунту.

Міждисциплінарні зв'язки. Вивчення дисципліни базується на знаннях отриманих з таких навчальних дисциплін, як «Трактори та автомобілі», «Паливно-мастильні та експлуатаційні матеріали», «Теорія механізмів та машин та деталі машин», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання», а отримані знання будуть використовуватись у подальшому при виконанні бакалаврської роботи.

Вимоги до знань та умінь визначаються галузевими стандартами вищої освіти України.

Мета: Полягає у вивченні методів розрахунку ґрунтообробних знарядь.

Завданнями дисципліни є вивчення:

- методів розрахунку ґрунтообробних знарядь;
- параметрів, які визначаються для різних видів ґрунтообробних знарядь;

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент **повинен знати:**

- основні поняттями та визначення предмету «Сільськогосподарські машини»;

- основні параметри, які необхідні для розрахунку ґрунтообробних знарядь.

вміти:

- виконувати інженерні розрахунки ґрунтообробних знарядь;

- вміти вибрати потрібні параметри для робочих органів для ґрунтообробних знарядь.

володіти:

- методами розв'язування інженерно-технічних задач, які пов'язані із функціонуванням та підбором ґрунтообробної техніки.

Практична робота №1

Тема: Розрахунок зубової борони

Мета роботи: побудувати схему ланки зубової борони та визначити величину і напрямок сили тяги зубової борони.

1. Теоретична частина.

Зубова борона є знаряддям додаткового (поверхневого) обробітку ґрунту і повинна задовольняти таким вимогам:

- відстань між слідами зубів має бути однаковою по всій ширині захвату;
- кожен зуб має йти по одному сліду;
- простір між зубами не повинен забиватися бур'янами та великими грудками;
- ланка борони повинна мати стійкий хід у горизонтальній і вертикальній площині.

За розташування зубів на одній поперечній планці (рис. 1.1) на відстані **a** вимоги щодо однакової відстані між слідами та проходження кожного зуба по одному сліду виконуватимуться, проте простір між зубами може забиватися рослинними рештками та ґрунтом.

Для усунення цього недоліку зуби необхідно розмістити на кількох поперечних планках, зміщуючи їх на кожній наступній планці на відстань **a**, доки відстань **b** між зубами на одній планці не буде достатньою для виконання умови відсутності забивання простору між зубами.

Прямі АС і ВО нахилені під кутом α до поперечних планок і можуть розглядатися як розгортки гвинтових ліній. Виходячи з того, що кожен зуб повинен робити самостійну борозенку, приймаємо кількість поперечних планок рівною M .

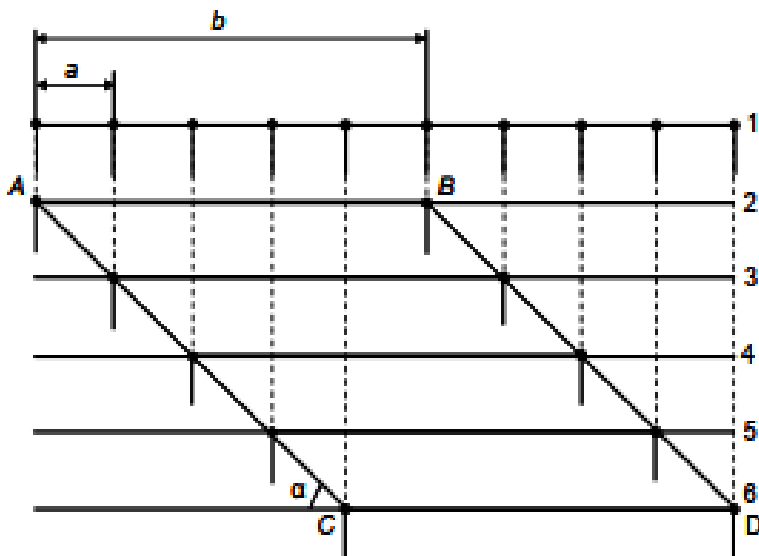


Рис. 1.1. Варіанти розташування зубів на одній або декількох поперечних планках ланки борони

Якщо прийняти форму ланки борони у вигляді трапеції (див. малюнок 1), то вимоги, що висуваються до якості її роботи (крім забезпечення стійкості ходу ланки в горизонтальній площині), будуть виконуватися.

З метою врівноваження ланки в горизонтальній площині використовується зигзагоподібна форма рами, що дає змогу врівноважити реакцію R_6' двома реакціями R_6'' (рис. 1.2).

Загини переднього і заднього кінців планок являють собою розгортку багатоходового гвинта зворотного обертання, тому зуби слід розташовувати на поєднаній розгортці обох гвинтів - основного (правого) і додаткового (лівого). При цьому перетини похилих ліній розгорток обох гвинтів повинні проходити через одні й ті самі точки на поперечних планках.

2. Послідовність виконання роботи

Визначити параметри ланки борони (вихідні дані наведено в табл. 1):

- відстань b (крок гвинтової лінії) між зубами на одній поперечній планці:

$$b = M \cdot a \quad (1.1)$$

де M - кількість поперечних планок;

a - відстань між сусідніми слідами зубів;

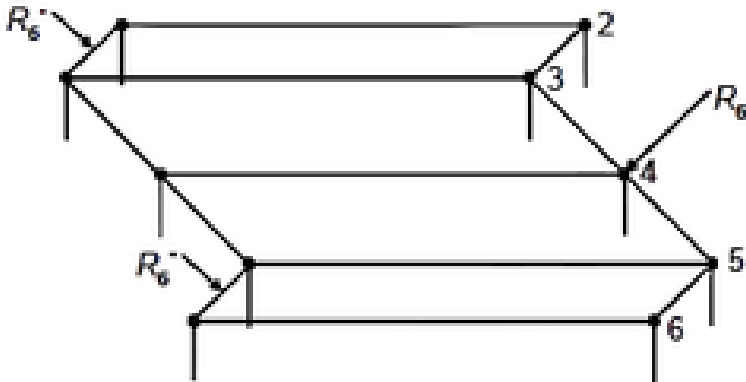


Рис.1.2. Сили, які діють на ланку борони зигзагоподібної форми в горизонтальній площині

- хід основного гвинта:

$$t = K \cdot b \quad (1.2)$$

де K - число ходів основного гвинта;

- число ходів додаткового гвинта:

$$K_1 = M - K \quad (1.3)$$

- хід додаткового гвинта:

$$t_1 = K_1 \cdot b \quad (1.4)$$

де K_1 - число ходів додаткового гвинта.

Відстані між слідами зубів ланки будуть однаковими (відсутні пропуски, за кожним слідом ітиме лише один зуб) за умови $M = K + K_1$ і M не повинно бути кратним K та K_1 .

Накреслити зубове поле ланки борони в такій послідовності:

- провести $M+1$ горизонтальних ліній (що утворюють циліндр) на відстані h в обраному масштабі (рис. 1.3);

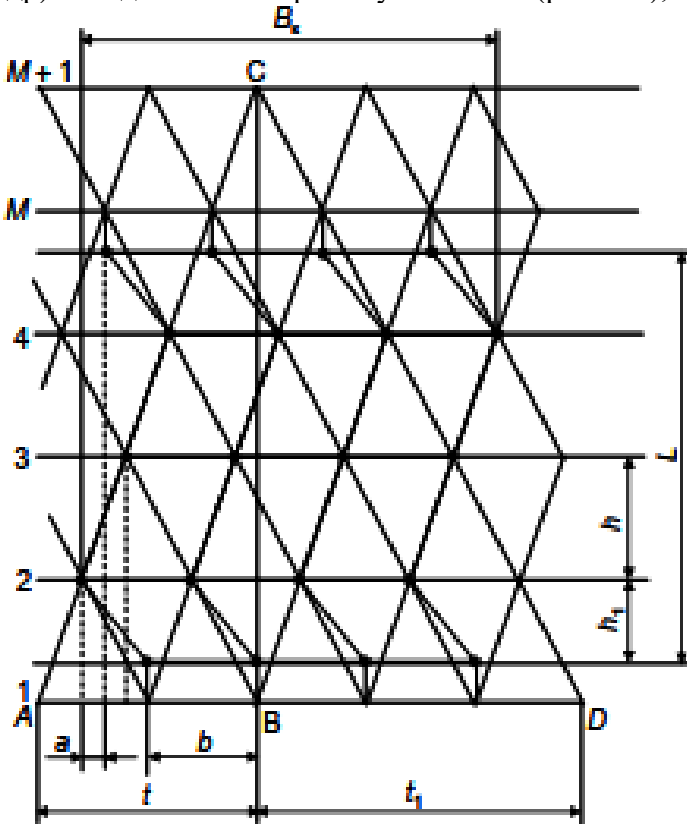


Рис.1.3. Схема ланки зубової борони

- на першій твірній вибрати точку А і відкласти відрізок АВ, рівний ходу гвинта t і розділити його на K відрізків, рівних кроку b ;

- з точки В провести пряму лінію перпендикулярну до твірної до перетину з твірною $M+1$ і позначити точкою С;

- провести пряму лінію АС, яка є розгорткою гвинтової лінії основного гвинта, і на відстані b провести ряд прямих ліній, паралельних АС;

- відкласти K_1 кроків гвинтової лінії від точки В і відмітити точку О. при цьому відстань ВО має дорівнювати ходу t_1 додаткового гвинта:

- провести похилу пряму ОС і потім з кроком b провести низку прямих ліній, паралельних ОС.

Умовою правильності побудови є перетин розгортки гвинтових ліній основного і додаткового гвинта на поперечних планках (твірних гвинта).

Обрати контур ланки борони і перевірити на відсутність пропусків між слідами зубів: намітити контур поздовжніх (зигзагоподібних) планок так, щоб точки їхнього перетину з поперечними планками проектувалися на першу твірну на відстані a одна від одної без пропусків. Для п'ятипланчастої ланки борони ця умова виконується, якщо середня частина зигзагоподібної планки буде проходити розгортками гвинтових ліній із меншим ходом (що складають із поперечними планками більший кут). Для семипланчастої ланки борони може бути кілька варіантів вигину поздовжніх планок: вигин на кожній поперечній планці або методом добору вибрати інші варіанти.

З метою зменшення ймовірності забивання рослинними рештками крайніх планок борони та зменшення габаритів борони їх необхідно розташовувати на відстані h_1 і для цього:

- провести на відстані h_1 від другої та передостанньої планок прямі лінії;

- спроекувати на ці прямі точки перетину гвинтових ліній з першої та з останньої планки;

- провести зигзагоподібні планки і. з'єднавши їх поперечними планками, закінчити побудову контуру ланки борони.

Точність побудови перевіряють, спроекувавши сліди зубів ланки на нижню поперечну планку - відстань a між проєкціями слідів зубів має бути однаковою.

Габаритні параметри ланки борони:

- число зубів:

$$z = M \cdot N \quad (1.5)$$

де N – кількість поперечних планок.

- робоча ширина захвату:

$$B_k = a(z - 1) \quad (1.6)$$

- конструктивна ширина захвату:

$$B_p = z \cdot a \quad (1.7)$$

- довжина ланки:

п'ятипланчастої:

$$L = 2(h + h_1) \quad (1.8)$$

семипланчастої:

$$L = 4h + 2h_2 \quad (1.9)$$

Ланка борони врівноважена в поздовжньо-вертикальній площині, якщо сила тяги P , прикладена в точці C , розташованій на половині глибини обробітку, збігається з напрямком сумарної сили опору R від сил R_x і G , що проходить через край борони (рис. 1.4).

Кут напрямку лінії тяги α забезпечує стійкість ланки в поздовжньо-вертикальній площині:

$$\alpha = \arctg(2l - a)/l \quad (1.10)$$

де l – довжина зуба.

Вага ланки борони визначиться за формулою:

$$G = q \cdot z \quad (1.11)$$

де q - величина зусилля, що передається на ґрунт одним зубом (для легких борін 6...10, для середніх - 12...15, для важких - 16...20 Н/зуб).

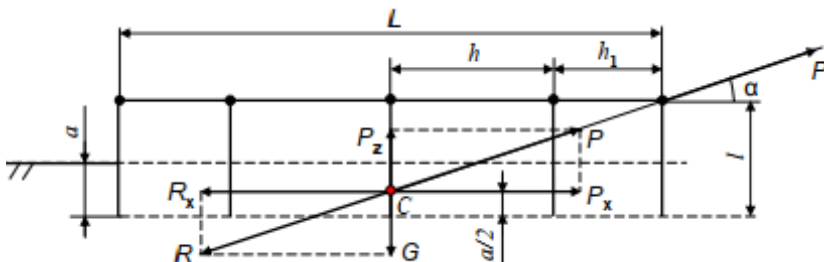


Рис.1.4. Сили, які діють на ланку борони в поперечно-вертикальній площині

Тяговий опір ланки (горизонтальна складова сили P)

$$P_x = k \cdot z \quad (1.12)$$

де k - величина тягового опору, що передається на ґрунт одним зубом (для легких борін - 10... 15, для середніх - 20... 25, важких - 40... 50 Н/зуб).

Сила тяги:

$$P \approx P_x / \cos \alpha \quad (1.13)$$

Таблиця 1.1

Вихідні дані для виконання розрахунку

№ варіанту	Параметри ланки зубової борони									
	Тип борони	М, шт	К, шт	Н, шт	а, мм	h, мм	h ₁ , мм	q, Н/зуб	k, Н/зуб	l, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Легка	5	3	4	30	150	100	6.0	10.0	120
9	Середня	5	2	5	40	220	120	12.0	21.5	100
3	Важка	5	3	6	50	250	150	16.5	40.0	150
4	Середня	5	3	4	45	250	150	13.0	22.5	140

Продовження табл. 1.1

5	Легка	5	2	5	35	180	100	7.0	11.0	130
6	Середня	5	2	4	50	250	160	14.0	23.5	175
7	Важка	5	3	5	60	350	200	18.5	42.0	230
8	Легка	5	2	6	30	200	120	8.0	12.0	129
9	Важка	5	3	4	65	400	250	19.5	43.0	225
10	Середня	5	2	5	50	220	120	15.0	24.5	170
11	Важка	5	3	4	70	350	220	20,0	44.0	250
12	Середня	5	2	5	45	250	160	14,5	24,0	190
13	Легка	5	2	4	35	200	100	10.0	13,0	110
14	Середня	5	3	5	40	250	150	13,5	23.0	200
15	Важка	5	2	6	80	250	160	10.0	46.0	180
16	Легка	5	3	5	30	180	180	9.0	14.0	125
17	Середня	5	2	6	50	250	170	12,8	21,0	210
18	Важка	5	3	4	75	300	150	17.0	47,0	200
19	Легка	5	3	6	35	160	90	7.5	15,0	130
20	Середня	5	3	4	45	250	160	14,2	23,6	150

Продовження табл. 1.1

21	Важка	5	2	5	70	350	220	16.0	48,0	170
22	Легка	5	2	6	30	160	100	8.5	14.0	150
23	Важка	5	2	4	65	400	260	16.4	49.0	200
24	Середня	5	3	5	40	250	170	12.6	22,8	475
25	Важка	7	3	6	60	350	220	17.2	45,0	150
26	Легка	5	2	6	35	160	110	6.5	13,0	135
27	Важка	7	2	6	55	300	150	17,5	41.0	200
28	Середня	7	2	4	45	220	140	12,5	22.0	190
29	Важка	7	3	6	75	300	150	19.0	45.0	150
30	Середня	7	4	5	50	250	150	13.5	22.4	140

Практична робота №2

Тема: Обробка ґрунту дисковими знаряддями

Мета роботи: визначити вплив кута атаки на агротехнічні показники обробітку ґрунту та тяговий опір дискового знаряддя.

1. Теоретична частина

Дискові лушпильники застосовуються для лушення стерні на глибину до 10 см.

Дискові борони використовують для оброблення задернелих пластів і брил після основного обробітку ґрунту на глибину до 15 см.

Батарей дискових лушпильників установлюють в один ряд (рис 2.1), а батареї дискових борін - у 2 ряди зі зсувом на половину відстані між дисками.

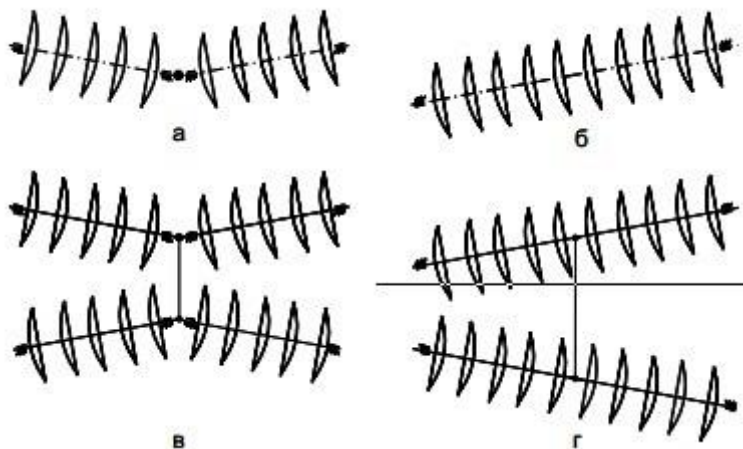


Рис. 2.1. Схеми розміщення батарей на дискових знаряддях: а, б - лушпильники; в, г - дискові борони

Кут між напрямком руху знаряддя і площиною розташування лез дисків α називається кутом атаки (рис. 2.2).

Для лушпильників $\alpha = 20...35^\circ$, для дискових борін $\alpha = 8...24^\circ$. Від величини цього кута залежить глибина а і якість

обробітку, яка за агротехнічними вимогами оцінюється висотою h гребенів, утворених між проходами двох сусідніх дисків. Для лушильників $h \leq 0.5a$, для борін $h \leq 0.4a$.

Висота h гребенів - залежить від діаметра D диска, відстані b між дисками і кута α атаки. Діаметр диска та відстань між дисками постійні. Кут α атаки - змінний, його значення впливає на висоту гребенів h .

2. Послідовність виконання роботи

Визначити параметри розміщення дисків при однорядному їх розташуванні в батареї (рис.2.2):

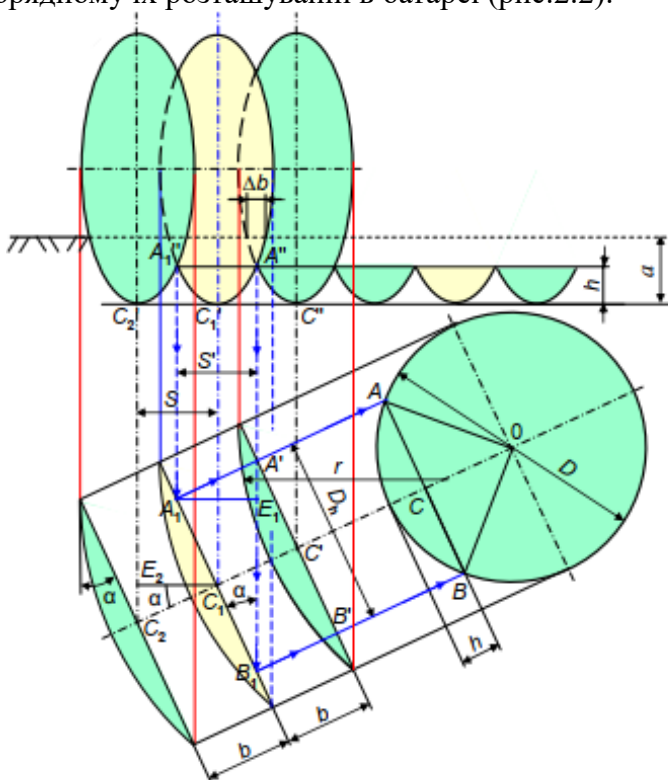


Рис.2.2. Схема розміщення дисків у батареї лушильника

- визначити відстань S між проекціями осей симетрії сусідніх дисків (з $\Delta E_2 C_1 C_2$):

$$S = b \cos \alpha \quad (2.1)$$

- відстань між вершинами гребенів (з $\Delta A_1 B_1 E_1$):

$$S' = D_h \sin \alpha \quad (2.2)$$

Враховуючи, що $S=S'$ відстань між дисками

$$b = D_h \operatorname{tg} \alpha \quad (2.3)$$

де D_h - довжина хорди диска на рівні вершин гребенів,

$$D_h = 2\sqrt{R^2 - (R - h)^2} = 2\sqrt{2Rh - h^2}$$

Тому, при однорядному розташуванні дисків:

$$b = 2\sqrt{2Rh - h^2} \operatorname{tg} \alpha \quad (2.4)$$

а кут атаки

$$\alpha = \arctg\left(\frac{b}{2\sqrt{R^2 - (R - h)^2}}\right) \quad (2.5)$$

Параметри розміщення дисків при дворядному їх розташуванні в батареї (рис. 2.3):

- допустима відстань b між дисками (удвічі більша)

$$b = 4\sqrt{2Rh - h^2} \operatorname{tg} \alpha \quad (2.6)$$

- кут атаки (менший) і визначиться виразом

$$\alpha = \arctg\left(\frac{b}{2\sqrt{R^2 - (R - h)^2}}\right) \quad (2.7)$$

Оскільки $D_h = 2\sqrt{2Rh - h^2}$ і з огляду на вираз (3), теоретична висота гребенів складе:

$$h = 0.5(D - \sqrt{D^2 - b^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}) \quad (2.8)$$

Відстань між дисками в батареї за умови відсутності заклинювання пласта ґрунту має бути $b > 1,5a$.

За виразами (5) або (7) визначити кут атаки знаряддя, обравши значення висоти гребенів залежно від типу знаряддя, глибини обробітку ґрунту та відповідно до агротехнічних вимог.

Побудувати в масштабі горизонтальну та поперечно-вертикальну проекції дискового знаряддя (луцильник – рис. 2.2 або борони – рис. 2.3).

Для побудови горизонтальної проєкції:

- відповідно до схеми (рис 2.2 або рис. 2.3) провести окружність діаметром D і вісь симетрії окружності під кутом α , розрахованим за виразом (7);

- на осі симетрії відкласти значення h , відмітити точки A і B на колі і провести лінії паралельно осі симетрії;

- побудувати горизонтальну проєкцію трьох (рис. 2.2) або двох (рис. 2.3) сферичних дисків з радіусом R_c сфери на відстані b між ними.

Побудувати поперечно-вертикальну проєкцію дисків:

- розділити ділянку кола AC (сектор) на рівні відрізки (через 15° або 30°);

- відмітити точки A , 1 , 2 , 3 та їхні висоти a_1 , a_2 , a_3 відносно центру диска;

- на поперечно-вертикальній проєкції провести вісь дисків, відкласти від неї висоти a_1 , a_2 , a_3 і провести прямі;

- перенести точки 1 , 2 , 3 із сектора кола на горизонтальну, потім на поперечно-вертикальну проєкції (послідовність перенесення показано стрілками) і отримати точки $1'$, $2'$, $3'$;

- з'єднати точки $1'$, $2'$, $3'$ плавною кривою та побудувати поперечно-вертикальні проєкції дисків (рис. 2.2 і 2.3).

Якщо у варіанті дискового знаряддя - борона, то між дисками, позначеними на поперечно-вертикальній проєкції суцільними лініями, наносять контури дисків другого ряду (штрихові лінії) (рис.2.3).

Провести на поперечно-вертикальній проєкції лінію поверхні поля (рис. 2.2 і 2.3), відклавши від дна борозни глибину a обробітку. Визначити теоретичну величину перекриття Δb дисків, висоту h гребенів та їхню відповідність агротехнічним вимогам, уточнити значення кута α атаки відповідно до конструкції знаряддя (для

дискових борін - $8^\circ, 12^\circ, 16^\circ, 20^\circ, 24^\circ$; для луцильників - $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$).

Визначити тяговий опір одного диска і загальний тяговий опір дискового знаряддя, для чого:

- на поперечно-вертикальній проекції (рис. 2.4) відмітити ділянку поперечного перерізу пласта, що обробляється одним диском, і перенести на міліметровий папір;

- визначити площу F і тяговий опір R_x одного диска.

$$R_x = kF \quad (2.8)$$

де k - питомий опір ґрунту, $(2...4)10^2$ МПа за роботи на староорних ґрунтах (легкі умови) та $(4...8)10^2$ МПа за роботи на важких задернілих ґрунтах (більші значення коефіцієнта k відповідають більшим кутам атаки α);

- сили, що діють на диск:

- поперечно-горизонтальну

$$R_y = R_x / \operatorname{tg} \delta \quad (2.9)$$

- поперечно-вертикальну

$$R_z = R_y \operatorname{tg} \psi = \frac{R_x \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \delta} \quad (2.10)$$

де n, m - експериментальні коефіцієнти ($n = 1,2...0.7$ і $m = 1,4...1.9$ для борін; $n = 0,8...0,2$ і $m = 0.2...0.8$ для луцильників);

- визначити загальний тяговий опір робочих органів дискового знаряддя

$$R_{\text{заг}} = (zZ)R_x = (zZ)kF \quad (2.11)$$

де z і Z - відповідно число дисків у кожній батареї і число батарей у дисковому знарядді.

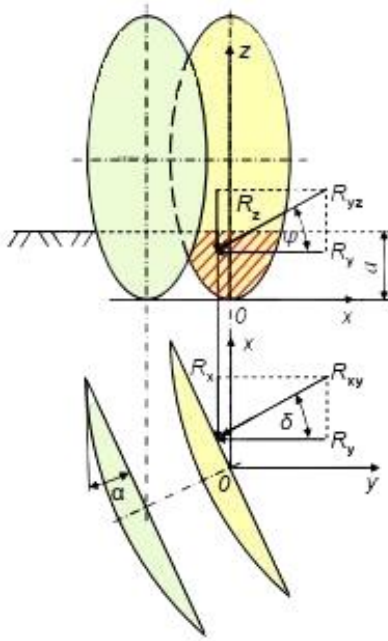


Рис.2.4. Схема дії сил на сферичний диск

Таблиця 2.1.

Вихідні дані

№ варіанту	Параметри дискового знаряддя							
	Тип знаряд дя	Умов и робот и	D, мм	b, мм	a, см	R _c , мм	z, шт	Z, шт
1	2	3	4	6	7	8	9	10
1	Луцил ьник	Легкі	45 0	150	5,0	600	10	4
2	Луцил ьник	Легкі	51 0	160	6,0	600	10	8

Продовження табл. 2.1

3	Борона	Важкі	51 0	180	5,0	600	8	8
4	Борона	Важкі	56 0	220	6,0	600	7	4
5	Борона	Важкі	61 0	230	7,0	600	8	4
6	Борона	Легкі	51 0	220	9,0	640	5	4
7	Борона	Важкі	51 0	240	10,0	660	7	4
8	Борона	Важкі	66 0	210	12,0	660	7	4
9	Луцил ьник	Легкі	51 0	180	7,0	630	10	4
10	Борона	Важкі	60 0	190	9,0	630	8	4
11	Борона	Важкі	71 0	230	10	630	7	4
12	Борона	Важкі	61 0	220	7,0	630	8	4
13	Борона	Важкі	56 0	220	12,0	630	8	4
14	Борона	Важкі	61 0	240	14,0	610	8	8
15	Борона	Важкі	66 0	230	15,0	620	7	8
16	Борона	Важкі	51 0	200	10,0	630	7	4
17	Борона	Важкі	62 0	220	6,0	650	7	4
18	Борона	Важкі	63 0	220	3,0	650	7	8

Продовження табл. 2.1

19	Борона	Легкі	45 0	200	3,0	620	5	4
20	Луцил ьник	Важкі	56 0	140	7,5	660	10	4
21	Луцил ьник	Важкі	45 0	180	6,5	630	10	8
22	Луцил ьник	Легкі	51 0	180	6,0	600	10	4
23	Борона	Важкі	66 0	195	9,0	610	8	4
24	Борона	Важкі	67 0	220	10,0	600	7	4
25	Борона	Легкі	51 0	195	3,0	630	5	4
26	Борона	Важкі	60 0	195	5,0	610	8	4
27	Луцил ьник	Легкі	61 0	200	5,5	620	10	8
28	Борона	Легкі	45 0	200	3,0	620	8	4
29	Борона	Важкі	60 0	195	6,0	630	10	4
30	Борона	Важкі	61 0	195	4,0	610	8	4

Практична робота №3

Тема: Розрахунок лап культиватора.

Мета роботи: визначити зону деформації ґрунту лапою культиватора та провести розміщення лап на рамі культиватора.

1. Теоретична частина

Зона деформації ґрунту, що має властивості пластичності, не обмежується зоною контакту з ним робочого органу, а поширюється вперед і в сторони на значну відстань. На ґрунтовий пласт, що рухається робочою поверхнею лапи, діє нормальна сила N (рис. 3.1) і сила тертя $F_{\max}$, які в сумі дають рівнодіючу, відхилену від нормалі на кут тертя φ ґрунту об лапу.

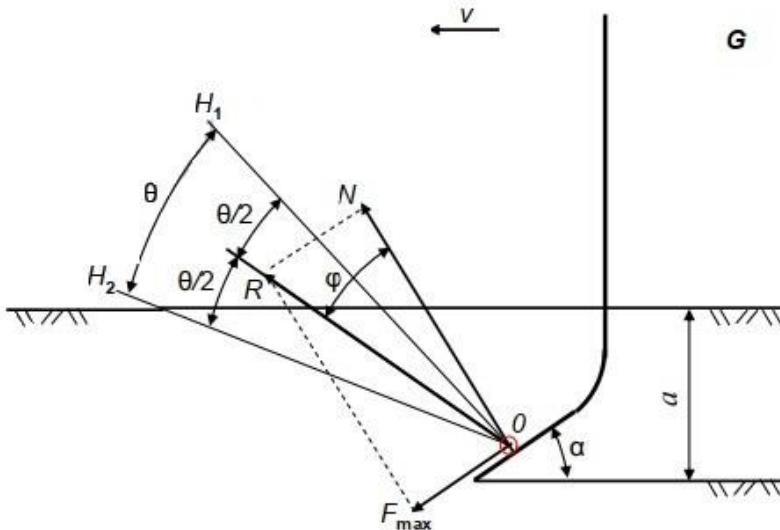


Рис. 3.1. Схема для визначення напрямків площин H_1 і H_2 сколювання ґрунтового пласта в поздовжній площині G

Згідно з теорією найбільших дотичних напружень напрямки H_1 і H_2 , за якими може руйнуватися пласт

унаслідок сколювання (утворюються тріщини), розташовуються симетрично щодо рівнодіючої сили R під кутом деформації θ . Значення кута θ залежить від властивостей ґрунту та його стану. Зона деформації ґрунту поширюється вперед від дна борозни до поверхні поля.

2. Послідовність виконання роботи

Визначити параметри зони деформації ґрунту (рис. 3.2):

- визначити зону деформації l від дна борозни вперед до поверхні поля:

$$l = a \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (3.1)$$

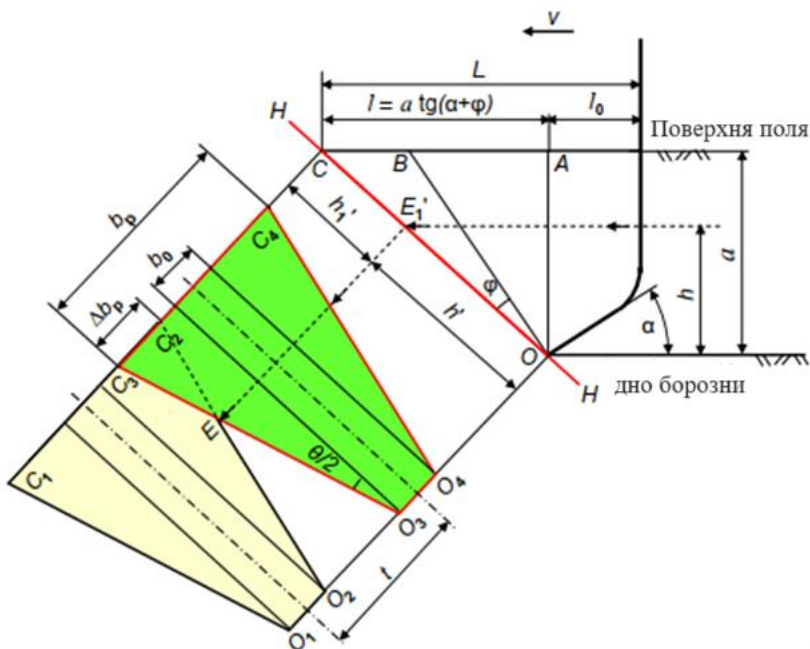


Рис. 3.2. Зони деформації ґрунту розпушувальними лапами культиватора в площині Н-Н

- ширина зони деформації ґрунту b_p площини сколювання:

$$b_p = b_0 + 2a \operatorname{tg}(\theta/2) / \cos(\alpha + \varphi) \quad (3.2)$$

θ - кут напрямку розширення зони деформації ґрунту, град;

α - кут входження лапи в ґрунт.

Ширина b_p зони деформації ґрунту в площині сколювання вважається шириною захвату розпушувальної лапи, значення може бути визначено і графічно.

Розставляння розпушувальних лап на рамі культиватора проводиться з урахуванням перекриття зон деформації ґрунту по ширині так, щоб висота h необроблених гребенів була не більшою за $2/3a$ (рис. 3.2)

$$t = b_0 + \frac{2htg(\frac{\theta}{2})}{\cos(\alpha+\varphi)} \quad (3.3)$$

- при $h=2/3a$:

$$t = b_0 + \frac{\frac{4}{3}ah tg(\frac{\theta}{2})}{\cos(\alpha+\varphi)} \quad (3.4)$$

- перекриття зон деформації

$$\Delta b_p = \frac{\frac{2}{3}atg(\frac{\theta}{2})}{\cos(\alpha+\varphi)} \quad (3.5)$$

У разі розставляння лап у 2 ряди і більше зменшується ступінь їхнього забивання рослинними рештками та ґрунтом;

- відстань L між рядами розпушувальних лап складається із зони поздовжньої деформації l та виносу l_0 носка лапи відносно стійки:

$$L \geq l_0 + l = l_0 + atg(\alpha + \varphi) \quad (3.6)$$

- кількість лап

$$z = B/t \quad (3.7)$$

де B - ширина захвату культиватора.

Під час установа лап у два ряди їхнє загальне число має бути непарним. У другому ряду встановлюється на одну лапу більше, ніж у першому.

Визначити графічно ширину b_p зони деформації ґрунту розпушувальною лапою, крок розставляння лап t у

поперечному напрямку та величину перекриття Δb_p зон деформації сусідніми лапами.

Викреслити поздовжньо-вертикальну проєкцію деформації ґрунту лапою, для чого:

- побудувати схему розпушувальних лап, установлених на глибину обробітку ґрунту a в обраному масштабі (див. рис. 3.2);

- побудувати зону $O_3C_3C_4O_4$ поперечної деформації ґрунту лапою в площині Н-Н;

- визначити крок розміщення t розпушувальних лап на рамі;

- побудувати зону $O_1C_1C_2O_2$ деформації ґрунту сусідньої лапи за аналогією з попередньою побудовою.

Уточнити необхідну кількість розпушувальних лап:

- при розстановці в один ряд - округливши отримане розрахункове значення z до більшого цілого числа;

- при розстановці в два ряди - округливши отримане розрахункове значення z до більшого цілого непарного числа;

- в обох випадках уточнити крок розстановки t і перекриття Δb_p виходячи з прийнятого числа лап.

Накреслити в горизонтальній площині схему розміщення розпушувальних лап в один ряд (рис. 3.3, а).

У разі встановлення лап у два ряди і більше, у першому ряду встановлюється менша кількість лап, а в другому - більша (рис. 3.3,б); розташувати другий ряд лап на відстані L від першого ряду.

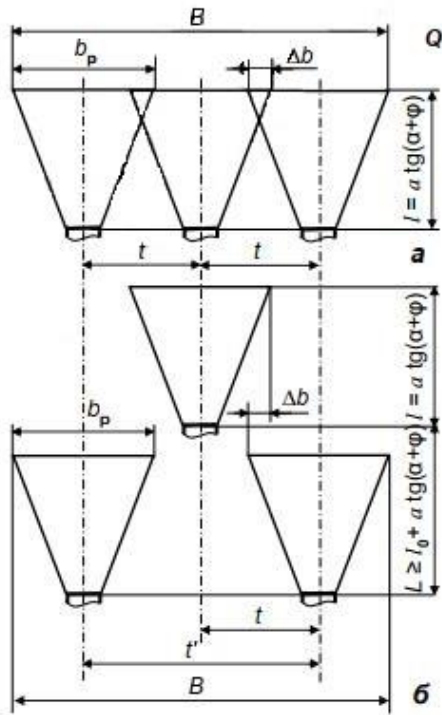


Рис. 3.3. Розміщення розпушувальних лап та їхніх зон деформації в горизонтальній площині під час суцільного обробітку ґрунту: а - в один ряд; б - у два ряди.

Таблиця 3.1.

Вихідні дані для розрахунку

№ варіанту	Вихідні параметри						
	B , м	a , см	b_0 , мм	α , град	θ , град	l_0 , мм	φ , град
1	4	10	20	35	40	155	30
2	3	11	45	30	45	125	29
3	3	12	50	25	50	155	28
4	4	13	60	25	50	140	27

Продовження табл. 3.1

5	3	14	63	30	45	155	26
6	4	15	20	45	42	140	25
7	3	16	45	40	40	205	30
8	4	10	56	25	50	140	24
9	3	12	60	30	44	125	23
10	4	13	63	30	46	125	22
11	4	14	20	40	48	150	21
12	4	15	45	40	50	160	22
13	3	16	50	35	48	145	23
14	4	18	60	35	46	150	24
15	3	14	63	40	44	205	30
16	4	18	20	30	42	155	25
17	3	12	45	25	45	125	26
18	4	14	50	40	40	150	27
19	3	10	60	25	50	125	28
20	4	12	20	30	50	145	29
21	3	14	45	40	48	150	30
22	4	12	50	25	46	140	30
23	3	10	60	30	44	100	21
24	4	16	20	40	42	145	22
25	3	14	45	25	40	155	23
26	4	12	50	30	40	125	24
27	3	10	60	40	45	150	25
28	4	14	63	30	50	155	26

Практична робота №4

Тема: Взаємодія фрези із ґрунтом

Мета роботи: визначити вплив кутової швидкості фрезерного барабану та поступальної швидкості руху машини на якість обробки ґрунту

1. Теоретична частина

Фрезерні ґрунтообробні машини дають змогу за один прохід по полі виконати кілька технологічних операцій. Вони якнайповніше задовольняють основні агротехнічні вимоги, що висуваються до машин за інтенсивних технологій обробітку сільськогосподарських культур, забезпечуючи ретельне розпушування ґрунту на глибину загортання насіння та вирівнювання поверхні поля. Фрезерні робочі органи порівняно з пасивними краще розпушують ґрунт, повніше підрізають бур'яни, рівномірніше зашпаровують у ґрунт і перемішують органічні добрива та рослинні рештки.

Поліпшення фізико-механічних показників стану ґрунту, підвищення його біологічної та біохімічної активності забезпечують збільшення врожайності сільськогосподарських культур, вирощуваних на фрезерованих ґрунтах. Тому фрезерні машини за агротехнічними показниками виконання деяких операцій мають низку переваг перед іншими ґрунтообробними знаряддями.

Основні показники якості роботи (ступінь подрібнення ґрунту, подрібнення дернини та гребенистість дна борозни) і технічні дані (енерговитрати та стійкість режимів роботи) фрезерних машин залежать від кінематичних і конструктивних параметрів, а саме від співвідношення кутової швидкості обертання робочих органів та швидкості поступального руху, від діаметра барабана, кількості робочих органів і швидкості різання.

У процесі роботи ножі ґрунтових фрез здійснюють обертальний і поступальний рух. Траєкторія руху кожної точки ножа фрези залежить від величин окружної та поступальної швидкостей. У фрез із горизонтальною віссю обертання траєкторія руху ножів являє собою витягнуту циклоїду (трохоїду). Траєкторією руху двох ножів, що послідовно працюють, і напрямком обертання фрези визначаються розміри і форма ґрунтової стружки, що зрізається (рис. 4.1). Під час відрізання стружки згори донизу (рис. 4.1,а) переріз її зменшується: від максимуму до нуля, а під час зворотного обертання (рис. 4.1,б), навпаки, збільшується від нуля до максимуму.

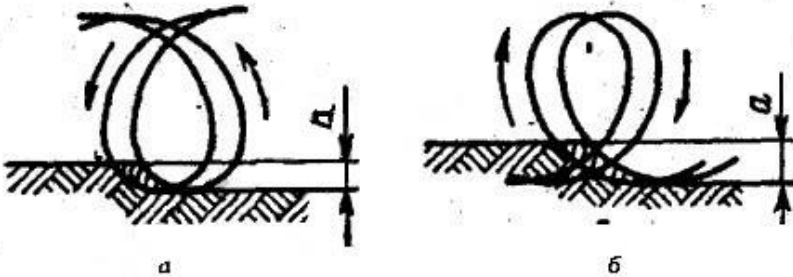


Рис. 4.1. Схема утворення стружки: а - відрізання зверху вниз; б - відрізання знизу вгору

Стружка ґрунту знімається ножом фрези протягом повороту на 180° , а її перетин збільшується від нуля до максимуму, що дорівнює величині подачі на один ніж фрези, і потім знову зменшується до нуля.

Під час роботи фрезерної машини кожна точка ріжучих елементів барабана переміщається разом із машиною зі швидкістю V_m і одночасно обертається відносно осі барабана з кутовою швидкістю $V_{\text{кут}}$.

Швидкість будь-якої точки ножа фрези є геометричною сумою окружної і поступальної швидкостей цієї точки (рис. 4.2, а).

Проекції швидкостей точки на осі координат можуть бути виражені параметричними рівняннями:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \pm V_{\text{кут}} \cos \alpha + V_{\text{п}} \\ \frac{dy}{dt} &= V_{\text{кут}} \sin \alpha\end{aligned}\quad (4.1)$$

де α - кут повороту точки, що дорівнює південь;

ω - кутова швидкість точки;

$V_{\text{п}}$ - швидкість переміщення;

t - час повороту точки на кут.

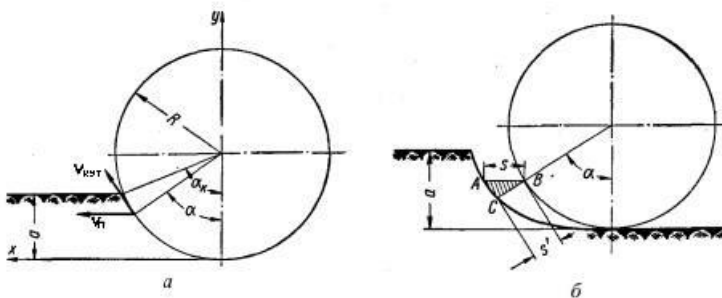


Рисунок 2. Схема для визначення перерізу стружки

Окружна швидкість $V_{\text{кут}} = \omega t$. Знак плюс приймається в разі врізання робочого органа в ґрунт згори вниз, знак мінус - у разі зворотного обертання.

Після підстановки і перетворення рівняння (1) набудуть вигляду:

$$x = V_{\text{м}} t + R \cos \omega t \quad (4.2)$$

$$y = R \sin \omega t \quad (4.3)$$

де R - радіус барабана (відстань від геометричної осі до кінця робочого органу);

ωt - кут повороту ножа за проміжок часу t .

Переріз стружки, що зрізається одним ножом фрези (рис 4.2, б)

$$F = b s' \quad (4.4)$$

де b - ширина захвату одного ножа, або відстань між сусідніми ножами вздовж вала фрези;

s'-товщина стружки в досліджуваному положенні ножа.

Товщину стружки з достатньою точністю можна визначити з трикутника ABC (рис. 4.2, б):

$$S' = S \sin \alpha \quad (4.5)$$

де s - величина подачі на один ніж фрези.

Тоді

$$F = b s i \sum_1^i \sin \alpha_i \quad (4.6)$$

де i - кількість одночасно працюючих ножів.

У середньому за цикл кількість одночасно працюючих ножів

$$i = a_k \cdot z / 360 \quad (4.7)$$

де a_k - кут контакту фрези з ґрунтом (рис. 4.2, а):

z - число ножів фрези на одному диску (правих і лівих).

Кут контакту фрези з ґрунтом

$$a_k = \arccos \left(1 - \frac{a}{R} \right) \quad (4.8)$$

де a - глибина фрезерування.

Під час обробітку ґрунту фрезерними органами з горизонтальною віссю обертання на дні борозни між траєкторіями двох сусідніх ножів утворюються гребені заввишки c (рис. 4.3), що за агротехнічними вимогами не має перевищувати 0,2a (a - глибина обробітку ґрунту).

Теоретичну висоту гребенів p можна визначити за виразом

$$h = R \left(1 - \cos \left(\frac{s}{2R \left(\frac{V_n}{V_{\text{кут}}} \pm 1 \right)} \right) \right) \quad (4.9)$$

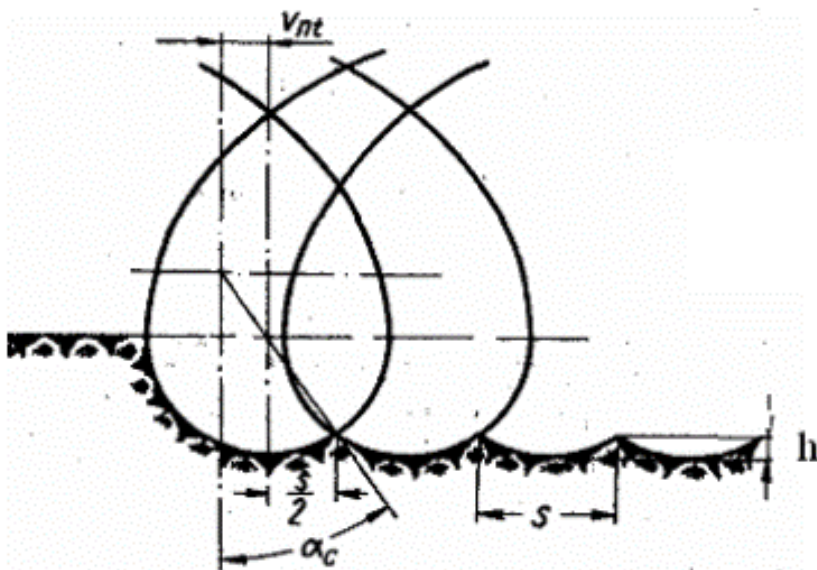


Рис. 4.3. Схема для визначення параметрів траєкторії руху ножів фрези

Показники процесу фрезерування ґрунту

Під час роботи ґрунтової фрези з горизонтальною віссю обертання потрібна сумарна потужність на фрезерування

$$N = N_{\phi} + N_o + N_{\pi} \quad (4.10)$$

де N_{ϕ} - потужність, що витрачається на фрезерування;

N_o - потужність, що витрачається на відкидання ґрунту;

N_{π} - потужність, що витрачається на пересування фрези.

Потужність, що витрачається на фрезерування (Вт)

$$N_{\phi} = \frac{kbsanz(V_{\text{кут}} + V_{\pi})}{V_{\pi} \cdot 60 \cdot 75} \quad (4.11)$$

де k - середній питомий опір ґрунту різанню, $k=1.5 \cdot 2,5$ МПа;

b - ширина стружки;

s - подача на один ніж;
 a - глибина обробітку ґрунту, м;
 n - частота обертання фрези, об/хв;
 z - число ножів фрези.

Потужність, що витрачається на відкидання ґрунту.

$$N_o = \frac{k_o B s a \gamma V_{\text{кут}}^2}{2 \cdot 75 g} \quad (4.12)$$

де k_o - коефіцієнт, що залежить від форми робочих органів ($k_o = 0.85 \dots 1.0$ (менше значення приймають для прямих ножів, більше - для Г-подібних ножів):

B - ширина захвату фрези, м;
 γ - об'ємна вага ґрунту, кг/м³;
 g - прискорення вільного падіння.

Потужність, що витрачається на пересування фрези

$$N_{\text{п}} = \frac{736 f_k G V_{\text{п}}}{75} \quad (4.13)$$

де f_k - коефіцієнт опору перекочуванню, $f_k = 0.03 \dots 0.06$ - заглиблені ґрунти, $f_k = 0.06 \dots 0.08$ - стерня, $f_k = 0.10 \dots 0.12$ - рілля;

G - вага машини.

2. Послідовність виконання роботи

Відповідно до вихідних даних визначити кінематичні та технологічні параметри:

- кутову швидкість фрезерного барабана:

$$V_{\text{кут}} = \lambda V_{\text{м}}; \quad (4.14)$$

- кутову частоту обертання барабана

$$\omega = V_{\text{кут}} / R; \quad (4.15)$$

- частоту обертання барабана

$$n = (30 \omega) / \pi; \quad (4.16)$$

- шлях, пройдений агрегатом за один оберт барабана

$$S_o = (2 \pi R) / \lambda; \quad (4.17)$$

- шлях, пройдений агрегатом за час повороту барабана на кут, що дорівнює куту між сусідніми ножами (подачу на ніж фрези)

- побудувати траєкторії переміщення крайніх точок двох сусідніх ножів фрезерного барабана (рис. 4.4):

у координатах хоз накреслити коло радіуса R (М 1:10 або М 1:5):

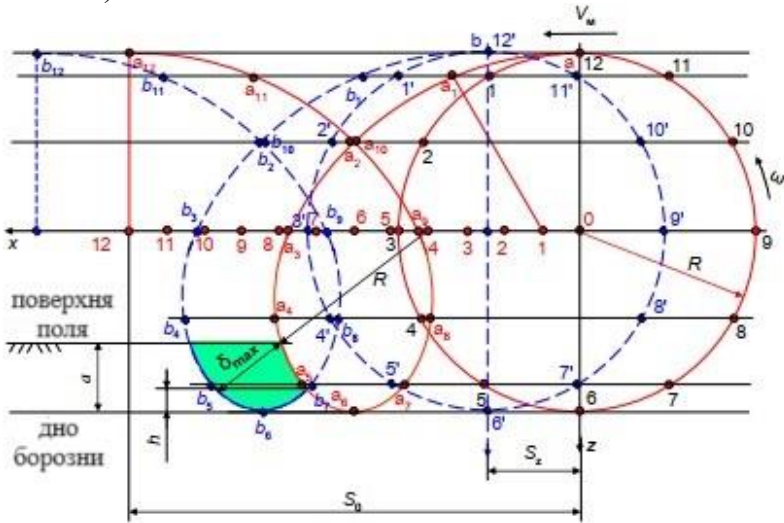


Рис. 4.4. Схема для визначення товщини стружки на осі Ox відкласти шлях S_0 , пройдений агрегатом за один оберт барабана;

розділити коло і відрізок S_0 на 12 рівних частин;

через точки 12; 1-11; 2-10; 3-9; 4-8: 5-7 і 6 провести лінії, паралельні осі Ox ;

з точки 1 на осі Ox радіусом r на прямій, що проходить через точки 1-11, відмітити точку a_1 ; аналогічно з точки 2 – a_2 ; з точки 3 – a_3 тощо;

з'єднати точки $a, a_1, a_2, a_3 \dots a_{12}$ кривою - вийде циклоїда, якою переміщається крайня точка першого ножа;

аналогічно побудувати циклоїду переміщення другого (сусіднього) ножа;

з урахуванням заданої глибини обробітку ґрунту показати на схемі поверхню поля і дно борозни;

виділити частину ґрунту ("стружку"), що вирізається між двома циклоїдами;

показати радіус R фрези і як його продовження - позначити товщину $S_{\max}$ вирізаної сусідніми ножами "стружки";

показати висоту h гребінців.

Траєкторії переміщення крайніх точок ножів фрезерного барабана побудувати за рівняннями (2) і (3) прийняти $\Delta t = 0.03 \dots 0.05 \text{с}$. Результати занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри траєкторії руху точки ножа

Параметри	$t_1 = \Delta t$	$t_2 = 2\Delta t$	$t_3 = 3\Delta t$	$t_4 = 4\Delta t$	$t_5 = 5\Delta t$	$t_6 = 6\Delta t$	$t_7 = 7\Delta t$	$t_8 = 8\Delta t$	$t_9 = 9\Delta t$	$t_{10} = 10\Delta t$
	сек									
	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30
V_{mi}										
$R_{cos \omega t_i}$										
x										
$y = R \sin \omega t_i$										
$\varphi_i = \omega t_i$										

Розрахувати енергетичні показники процесу фрезерування за формулами (10)-(13).

Таблиця 4.2.

Вихідні дані

№ варіанту	R, м	V _м , м/с	λ	a, см	z
1	0.35	5,5	3.9	10	4
2	0.45	5.2	5.0	15	3
3	0.40	7.5	7.0	20	6
4	0.50	4.4	3.0	15	4
5	0.30	5.2	4.2	10	3
6	0.55	5.4	2.5	25	5
7	0.50	5.6	4.5	22	4
8	0.65	5.8	4.4	20	6
9	0.40	6.0	4.6	18	3
10	0.35	6.2	3.2	16	4
11	0.40	6.4	8.0	14	4
12	0.35	6.6	7.0	12	4
13	0.30	6.8	4.8	10	6
14	0.40	7.0	3.0	12	4
15	0.45	7.2	5.0	14	3

Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Мартишко В. М., Гуменюк Ю. О., Волянський М. С., Сівак І. М., Курка В. П. Практикум з теорії та розрахунку сільськогосподарських машин : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2024. 203 с.

2. Сільськогосподарські машини. URL: <https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/agroinjenerija/Agricultural%20machinery/Zmist/Zmist.htm>

3. Bulgakov V., Pascuzzi S., Adamchuk V., Kuvachov V., Nozdrovicky, L. Theoretical study of transverse offsets of wide span tractor working implements and their influence on damage to row crops. *Agriculture (Switzerland)*, 9(7), article number 144, 2019. DOI: [10.3390/agriculture9070144](https://doi.org/10.3390/agriculture9070144).

4. Zhu Y., Zhang Y., Piao H. Does agricultural mechanization improve the green total factor productivity of China's planting industry? *Energies*, 15(3), article number 940, 2022. DOI: [10.3390/en15030940](https://doi.org/10.3390/en15030940).