

**С.С. Тищенко, В.О. Дубровін,
В.В. Теслюк, М.С. Волянський**

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ
ТЕОРІЯ І РОЗРАХУНОК
РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН
ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

Навчальний посібник

**Київ
ЦП «КОМПРІНТ»
2015**

С.С. Тищенко, В.О. Дубровін,
В.В. Теслюк, М.С. Волянський

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ
ТЕОРІЯ І РОЗРАХУНОК
РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН
ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ**

Навчальний посібник

«Рекомендовано

**Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за
напрямами підготовки «Процеси, машини та обладнання
агропромислового виробництва» та «Машинобудування»**

Київ

ЦП «КОМПРІНТ»

2015

УДК 631.3:631.517(62-408.6)

ББК 40.72:40я73

Гриф надано

Міністерством освіти і науки України

(лист №1/11-17378 від 13.11.2013)

С36

«Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямами підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» та «Машинобудування»

А в т о р и:

С.С. Тищенко, В.О. Дубровін, В.В. Теслюк, М.С. Волянський

Р е ц е н з е н т и:

А.С. Кушнар'юв – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН України, головний науковий співробітник УкрНДІПВТ ім. Леоніда Погорілого; **С.Ф. Пилипака** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України; **В.І. Пастухов** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри сільськогосподарських машин Харківського Національного університету сільського господарства ім. акад. Петра Василенка.

С36 Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту: Навчальний посібник / С.С. Тищенко, В.О. Дубровін, В.В. Теслюк, М.С. Волянський. – К.: ЦП «КОМПРІНТ», 2015. – 157 с.

У навчальному посібнику розглянуто способи проектування поверхонь робочих органів культиваторів типу «лапа», а саме широке застосування аналітичних, графічних і графоаналітичних способів проектування поверхонь робочих органів, що дозволяє всебічно підійти до проектування культиваторних лап. Наведені методики дозволяють практично здійснити проектування робочих органів культиваторів різних типів і призначень.

Навчальний посібник рекомендований для студентів аграрних вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації Міністерства аграрної політики України напрямів підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» і 6.050503 «Машинобудування».

© С.С. Тищенко, В.О. Дубровін,
В.В. Теслюк, М.С. Волянський, 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ВИМОГИ ДО КУЛЬТИВАЦІЇ І РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРІВ.....	7
1.1. Класифікація процесів культивуваціі.....	7
1.2. Класифікація робочих органів культиваторів.....	8
2. ПРОЕКТУВАННЯ СТІЛЧАСТИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ З ПРЯМОЛІНІЙНИМ ЛЕЗОМ.....	10
2.1. Технологічні основи.....	10
2.2. Геометрична модель поверхні і параметри універсальних лап культиваторів.....	17
2.3. Технологічні основи вибору параметрів.....	22
2.4. Графоаналітичний метод побудови універсальних лап.....	25
2.4.1. Вихідні дані для проектування.....	25
2.4.2. Побудова поверхні лапи культиватора без хвостовика.....	25
2.4.3. Побудова поверхні лапи культиватора з хвостовиком.....	31
2.5. Графічний метод проектування культиваторих лап.....	35
2.5.1. Завдання вихідних даних.....	35
2.5.2. Побудова проєкцій поверхні лапи.....	36
2.5.3. Побудова розгортки. поверхні лапи.....	42
3. ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОБІЧНИХ ЛАП (БРИТВ) КУЛЬТИВАТОРІВ.....	46
3.1. Технологічні основи.....	46
3.2. Вихідні дані для проектування.....	46

3.3. Методика проектування однобічної культиваторної лапи.....	47
3.3.1. Геометрична модель і зв'язок параметрів.....	47
3.3.2. Проектування проєкцій однобічної лапи.....	49

4. ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПУШУВАЛЬНИХ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП СПЕЦІАЛЬНИХ ФОРМ.....	57
4.1. Проектування культиваторних лап з випуклою поверхнею.....	57
4.1.1. Технологічні основи.....	57
4.1.2. Визначення вихідних параметрів.....	58
4.1.3. Визначення основних геометричних параметрів моделі поверхні лапи.....	59
4.1.4. Методика проектування розпушувальної лапи з випуклою поверхнею.....	62
4.2. Проектування розпушувальних лап із увігнутою поверхнею.....	66
4.2.1. Технологічні основи.....	66
4.2.2. Геометрична модель поверхні.....	67
4.2.3. Методика проектування лапи з увігнутою поверхнею.....	69

5. ПРОЕКТУВАННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП З КРИВОЛІНІЙНИМ ЛЕЗОМ.....	72
5.1. Технологічні основи.....	72
5.2. Геометрична модель поверхні культиваторної лапи з криволінійним лезом.....	82
5.3. Конструювання леза культиваторних лап на базі логарифмічної спіралі.....	86
5.4. Методика проектування культиваторних лап з криволінійним лезом.....	93

5.4.1. Завдання вихідних параметрів.....	93
5.4.2. Побудова напямної кривої поверхні лапи.....	94
5.4.3. Побудова поверхні і перерізів культиваторної лапи.....	98
5.4.4. Побудова розгортки поверхні лапи.....	102
5.4.5. Досвід проектування універсальних культиваторних з лап криволінійним лезом.....	105

6. ПРОЕКТУВАННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП НА ОСНОВІ

ТОРСОВИХ ПОВЕРХОНЬ.....109

6.1. Технологічні основи.....	109
-------------------------------	-----

6.2. Геометрична модель торсової поверхні на основі напямної кривої і руху твірної.....	109
--	-----

6.3. Обґрунтування основних параметрів геометричної моделі торсової поверхні культиваторної лапи.....	113
--	-----

6.4. Методика проектування культиваторної лапи для боротьби з бур'янами.....	120
---	-----

6.4.1. Завдання вихідних даних.....	120
-------------------------------------	-----

6.4.2. Побудова поверхні лапи для боротьби з бур'янами.....	121
---	-----

6.5. Методика проектування розпушувальних (універсальних) культиваторних лап.....	131
--	-----

6.5.1. Завдання вихідних даних.....	131
-------------------------------------	-----

6.5.2. Побудова поверхні універсальної культиваторної лапи.....	132
---	-----

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	143
--	------------

ВСТУП

Головним напрямом розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва в Україні є розроблення нових технологій. При цьому особлива увага приділяється їх ефективності на основі наукового прогресу і подальшого зміцнення його матеріальної бази.

Розробка нових технологій нерозривно пов'язана зі створенням робочих органів, які максимально відповідають поставленим вимогам. Особлива увага повинна приділятися ґрунтообробним робочим органам, так як стан ґрунту багато в чому визначає урожайність сільськогосподарських культур.

Обробіток ґрунту, в цілому, підрозділяється на основний і поверхневий, коли обробляється тільки неглибокий шар ґрунту. Якщо основний обробіток ґрунту проводиться раз у рік, то поверхневий - проводиться значно частіше. Він застосовується як передпосівний, коли виконують підготовку ґрунту до сівби, при боротьбі з бур'янами, коли на паровому полі виконують багато проходів, при поверхневому розпушуванні.

Поверхневий обробіток ґрунту виконують культиваторами. Різноманіття операцій виконуваних ними, призводить до великої кількості робочих органів різних типів і призначень.

У зв'язку з цим створення робочих органів культиваторів для поверхневого обробітку ґрунту з обґрунтованими їх параметрами є важливим завданням. Однак створення таких робочих органів неможливе без узагальнення існуючих методик проектування і розроблення нових, що дають можливість створювати більш досконалі робочі органи.

1. ВИМОГИ ДО КУЛЬТИВАЦІЇ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРІВ

1.1. Класифікація процесів культивуваці

Вивчення, розробка та удосконалення культиваторів та їх робочих органів здійснюється на основі агротехнічних вимог до процесів культивуваці. Природно, що характер, чередування і терміни проведення тих чи інших операцій повинні встановлюватися залежно від агротехніки стосовно ґрунтово-кліматичних особливостей та умов окремих районів і що вегетаційний період року, якщо він є відхиленням від властивої йому норми, може, у свою чергу, викликати додаткові поправки при проведенні польових операцій [58]. Зазначені обставини призводять до районування, як процесів культивуваці, так і робочих органів, з вказанням відповідних термінів проведення операцій [13, 85].

Численними дослідженнями і дослідним шляхом встановлена наступна класифікація процесів культивуваці за механічною ознакою:

1. Деформація ґрунту:

- дрібне поверхнєве розпушування - руйнування кірки, що утворилася на поверхні поля в результаті випадання опадів; глибина обробки 5 ± 2 см;
- середнє і глибоке розпушування ґрунту з метою приведення його у структурний стан для забезпечення сприятливих умов розвитку коріння культурних рослин; глибина обробки 10-20 см;
- підгортання культурних рослин; для різних культур і стадій розвитку рослин глибина борозни і розміри насипів можуть змінюватися в значних межах;

- нарізання поливних борозен; завдання до цієї операції, в залежності від умов роботи у різних районах, також змінюються в значних межах.

2. Знищення бур'янів:

- знищення бур'янів шляхом підрізання; глибина обробки коливається в межах від 3 до 10 см;

- знищення бур'янів шляхом викорчовування; глибина ходу лап 8-15 см, ця операція супроводжується інтенсивним, але хаотичним подрібненням ґрунту.

Перераховані елементарні процеси дещо схематизовані [70, 71], так як зазвичай деформація ґрунту супроводжується знищенням бур'янів, а операції по боротьбі з бур'янами - подрібненням ґрунту.

1.2. Класифікація робочих органів культиваторів

Основні види робочих органів культиваторів за технологічною ознакою можуть бути об'єднані в наступні групи:

1. Робочі органи для боротьби з бур'янами:

- стрілчасті полольні лапи;
- односторонні полольні лапи.

2. Робочі органи для розпушування ґрунту:

- для дрібного розпушування;
- для середнього і глибокого розпушування.

3. Робочі органи спеціального призначення:

- підгортачі;
- борозники.

У багатьох випадках доцільно поєднувати дві або більше елементарних операцій в одну [19]. Тому існує ряд універсальних робочих органів. Найбільш поширеними є універсальні лапи культиваторів, що забезпечують розпушування ґрунту і знищення бур'янів.

Виконання знаряддями складних операцій за один прохід можливо також за рахунок застосування комбінованого набору вузькоспеціалізованих робочих органів, спільна робота яких забезпечує їх виконання; цей спосіб дає хороші результати, але пов'язаний із застосуванням значної кількості робочих органів і стояків в одному міжрядді, що не завжди є можливим [69].

2. ПРОЕКТУВАННЯ СТІЛЧАСТИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ З ПРЯМОЛІНІЙНИМ ЛЕЗОМ

2.1. Технологічні основи

Відповідно вимог до культивації, робочий орган повинен забезпечувати якісне розпушування ґрунту і знищення бур'янів. При розпушуванні ґрунт не повинен скупчуватися перед робочим органом [69, 30, 71].

Ґрунтообробні робочі органи, в загальному вигляді, являють собою клин різного ступеня складності, тому поверхня лапи культиватора з прямолінійним лезом утворюється двома симетричними косими клинами. Розглянемо взаємодію ґрунту з лапою культиватора, яка відбувається по нормалі до леза [69].

Характер деформації ґрунту під впливом клина визначається величиною кута різання (розпушування) і властивостями ґрунту.

Деформація ґрунту попереду клина при обробітку піщаних ґрунтів, що мають малу зв'язність і середні значення кута кришіння $\beta = 20 \div 60^\circ$, складається із двох фаз, що періодично повторюються (рис.2.1):

- 1) ущільнення ґрунту клином і вдавлювання його часток у ще не деформовану масу при переміщенні леза клина з точки O в точку O_1 ;
- 2) миттєвого виникнення в ґрунті, попереду леза клина, площинного зсуву O_1A_1 , що утворює з дном борозни кут ψ_τ .

Кінцевим результатом описаного процесу є утворення призмovidної брили, що має у поперечному перерізі форму трапеції O_1A_1AB . Далі, незважаючи на нові деформації, ця брила починає рухатися по поверхні клина із швидкістю V_r і одночасно ковзати по площині зсуву O_1A_1 зі швидкістю V_a .

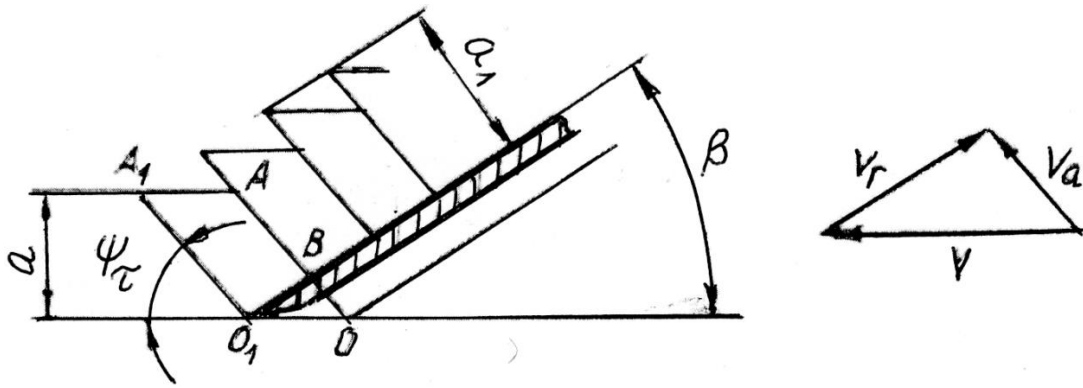


Рис.2.1. Схема деформації піщаного ґрунту під час роботи двогранного
клина

З трикутника швидкостей знаходимо

$$V_a = V \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \psi_\tau)}; \quad (2.1)$$

$$V_r = V \frac{\sin \psi_\tau}{\sin(\beta + \psi_\tau)}, \quad (2.2)$$

де V - швидкість поступального руху клина.

Таким чином, під час деформації ґрунту шляхом зсуву, відносна швидкість руху шару по поверхні клина $V_r < V$, а товщина a_1 більше глибини ходу клина a .

Відношення $a : a_1$, що характеризує «усадку стружки», дорівнює:

$$\frac{a}{a_1} = \frac{\sin \psi_\tau}{\sin(\beta + \psi_\tau)}. \quad (2.3)$$

З цієї залежності випливає, що зі збільшенням кута кришіння β зростає відносний зсув брил або збільшується усадка пласта, як показано на рис. 2.2.

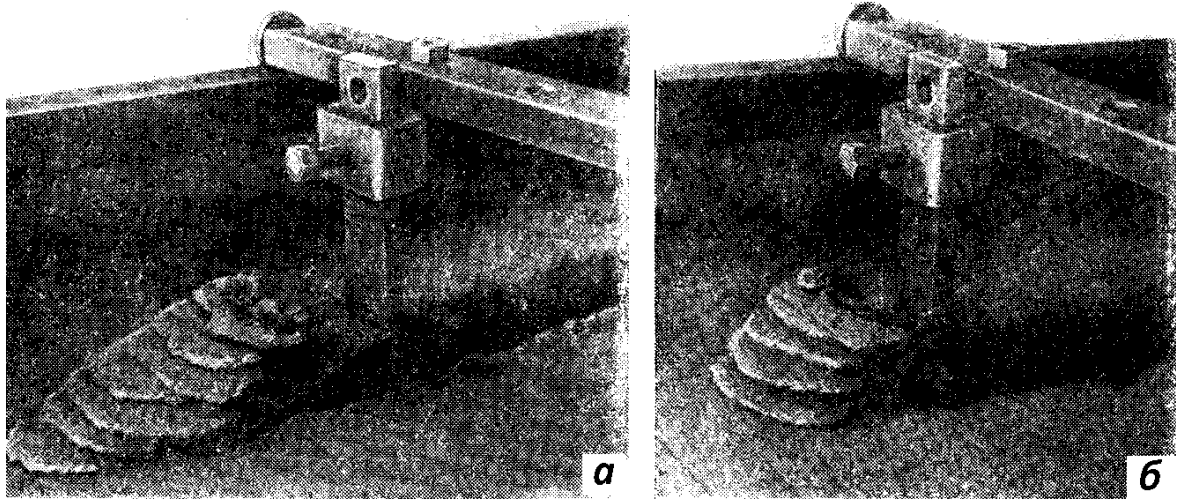


Рис. 2.2. Деформація вологого піску під час роботи двогранного клина (глибина оранки 30 мм): *а* - кут $\beta = 20^\circ$; *б* - кут $\beta = 60^\circ$

При деформації вологого піску (кут нахилу площини зсуву $\psi_\tau \approx 40^\circ$) довжина шляху O_1O , який пройшов клин до моменту виникнення в ґрунті чергової площини зсуву див. рис. 2.1, дорівнює 0,5-0,6 глибини його ходу a [69].

Процес деформації глинистих ґрунтів, які складають більшість використовуваних у сільському господарстві, відбувається наступним чином. За впровадження клина у ґрунт (рис. 2.3) попереду нього, під впливом напружень розтягування, виникає тріщина, яка по мірі просування клина досягає поверхні поля у точці A_1 .

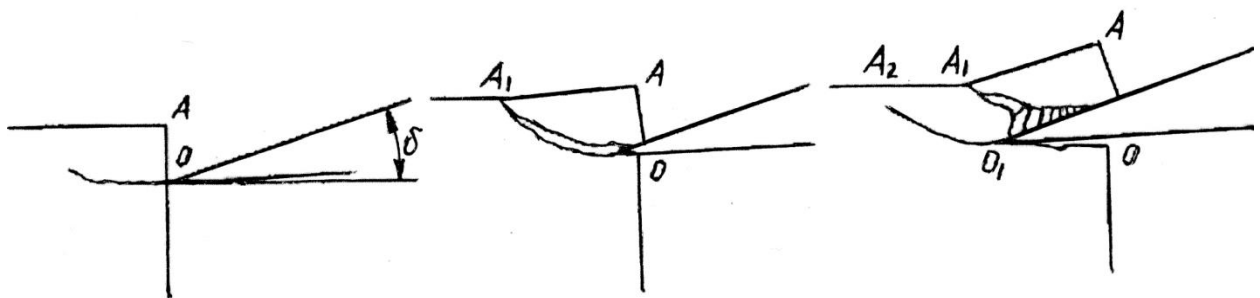


Рис. 2.3. Схема утворення стружки під дією нормальних напружень

Одночасно відбувається розширення тріщини, так як елемент OA_1 , що піднімається клином, обертається навколо точки A_1 . Далі відбувається наступна фаза утворення стружки - відривання, яка може бути названа зачищенням дна борозни. При зачищенні дна лезо клина зрізає стружку змінної товщини, яка обумовлена обрисом кривої OA_1 .

Після закінчення зачищення дна борозни починається відривання чергового великого елемента стружки, при цьому виникає тріщина O_1A_2 , обрис якої подібний кривій OA_1 .

При обробітку сухого зв'язного ґрунту клин здійснює відривання окремих брил неправильної форми, при цьому не утворюється пласту ґрунту у звичайному розумінні цього слова (рис. 2.4,*a*). Поверхні (тріщини) відривання при утворенні великих брил викривляються донизу, особливо при великих значеннях кута β , тому дно борозни буває поцятковано вибоїнами.

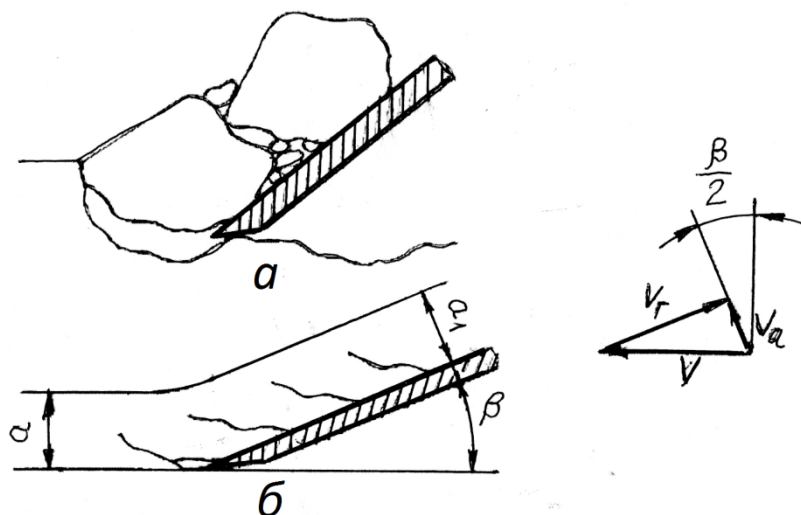


Рис. 2.4. Схема деформації суглинистого ґрунту:

a - при великих значеннях кута β і низькій вологості ґрунту; *б* - при малих значеннях кута β і високій вологості ґрунту

При обробітку вологого задернілого суглинистого ґрунту клином з малим кутом кришіння β шар має вигляд суцільної стрічки. Насправді такий шар буває порушений тріщинами, які періодично виникають у ньому і не поширюються на всю його товщину. Ці тріщини виникають при вигині пласта у початковий момент його надходження на робочу поверхню клина, надалі, при переміщенні пласта по площині клина, тріщини замикаються, внаслідок чого пласт набуває вигляду стрічки (рис. 2.4, б).

При цьому товщина шару a_1 дорівнює глибині ходу клина a , тому «усадки стружки» не відбувається і відносна швидкість руху пласта V_r дорівнює швидкості поступального руху клина V . З трикутника швидкостей знаходимо швидкість абсолютного руху частинок пласта;

$$V_a = 2V \cos\left(90 - \frac{\beta}{2}\right);$$

так як вектор абсолютної швидкості V_a утворює з віссю z кут, рівний $\frac{\beta}{2}$,

то

$$V_a = 2V \sin \frac{\beta}{2}. \quad (2.4)$$

Форми великих елементів (брил) пласта суглинистого ґрунту і процес їх утворення зберігаються незмінними при різній товщині шару, зрізаного клином з постійним значенням кута β , а розміри знаходяться в прямій залежності від товщини цього шару.

При великих значеннях кута β кришіння пласт перестає ковзати вгору по робочій поверхні клина і починає скупчуватися попереду клина. Таке явище виникає в тих випадках, коли сума кутів тертя і розпушування перевищує 90° , т. е. $\varphi + \beta > 90^\circ$. При цьому сила P тиску клина на пласт буває спрямована горизонтально (рис. 2.5). Під дією цієї сили ґрунт, що

знаходиться попереду клина, піддається стисканню, яке зростає по мірі просування клина до тих пір, поки не відбудеться його руйнування - зсування по площині OA (у пластичних піщаних ґрунтах) або утворення поздовжніх тріщин відривання і подальшого його скупчення попереду клина (у суглинистих ґрунтах) (рис. 2.7).

При малих значеннях кута кришіння β (рис. 2.6), коли $\varphi + \beta < 90^\circ$, напрям сили не збігається з напрямом поступального руху клина і утворює з ним кут ξ . Такий напрям сили P сприяє деформації ґрунту попереду клина шляхом відривання, а не зсуву. У цьому випадку клин прагне відірвати від дна борозни консоль і зігнути її.

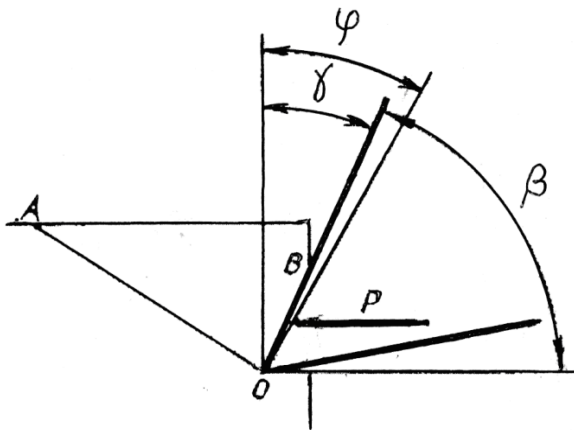


Рис. 2.5. Схема дії на ґрунт клина з великим кутом кришіння β

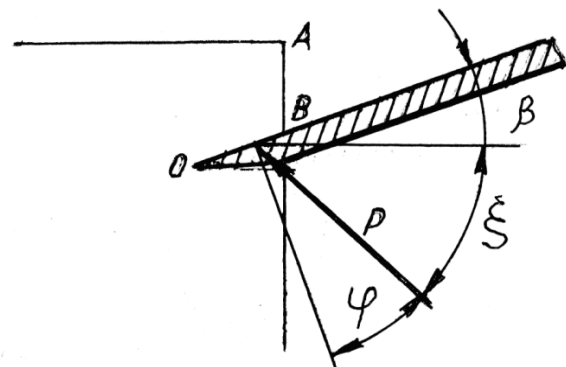


Рис. 2.6. Схема дії на ґрунт клина з малим кутом кришіння β

При дії клина з малим кутом $\beta = 10^\circ$ на вологий пісок, для якого типовим видом деформації при $\beta = 20 - 60^\circ$ є зсув, відбувається утворення шару, який має вигляд суцільний стрічки.

Різання дуже зволоженого суглинку клином з малим кутом $\beta = 10 - 20^\circ$ супроводжується утворенням стружки пронизаної майже на всю товщину тріщинами відривання (рис. 2.8), а різання клином при $\beta = 30 - 45^\circ$ - утворенням типової стружки відривання (рис. 2.9).

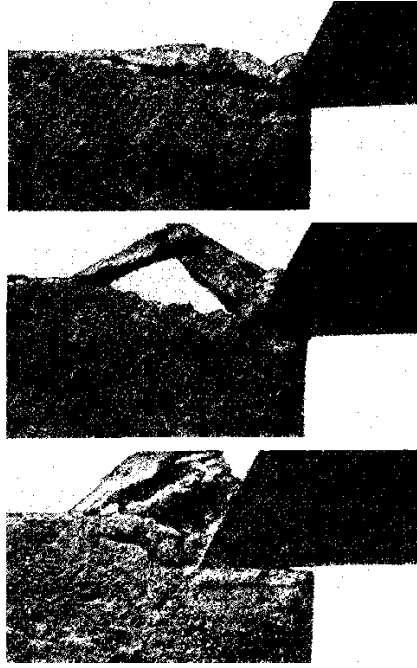


Рис. 2.7. Деформація повітряно-сухого суглинку під час роботи
клина, кут $\beta = 60^\circ$

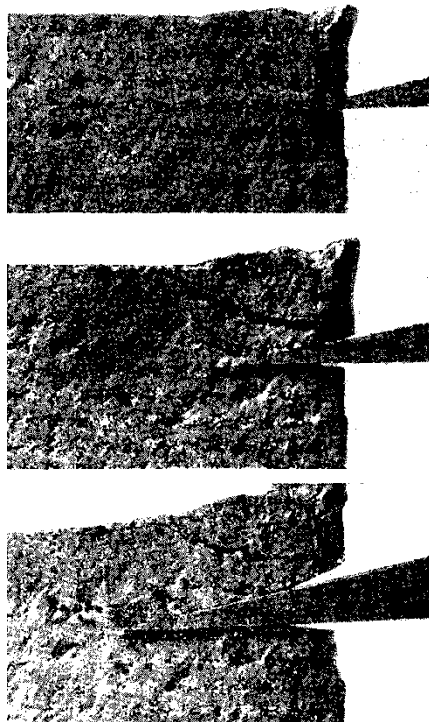


Рис. 2.8. Деформація дуже зволоженого суглинку під час роботи клина,
кут $\beta = 10^\circ$



Рис. 2.9. Деформація дуже зволоженого суглинку під час роботи клина,
кут $\beta = 30^\circ$

2.2. Геометрична модель поверхні і параметри універсальних лап культиваторів

Кожне крило лапи культиватора являє собою площину, тому для розроблення моделі поверхні лапи культиватор досить задати модель одного з крил, оскільки вони розташовані симетрично щодо поздовжньо-вертикальної площині, що збігається з напрямком руху.

Розташуємо лапу так, щоб лінія стику крил перебувала в площині Oxz , а носок лапи розташовувався на початку координат, так як це показано на рис. 2.10.

З аналітичної геометрії відомо, що рівняння площини має вигляд:

$$Ax + By + Cz + D = 0. \quad (2.5)$$

Коефіцієнти A , B , C і D рівняння (2.5) визначаються з умови існування площини:

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-z_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & z_3-z_1 \end{vmatrix} = 0, \quad (2.6)$$

де x , y і z , - поточні координати площини;

$x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2, z_3$ - координати трьох точок 1, 2, 3, якими задана площина.

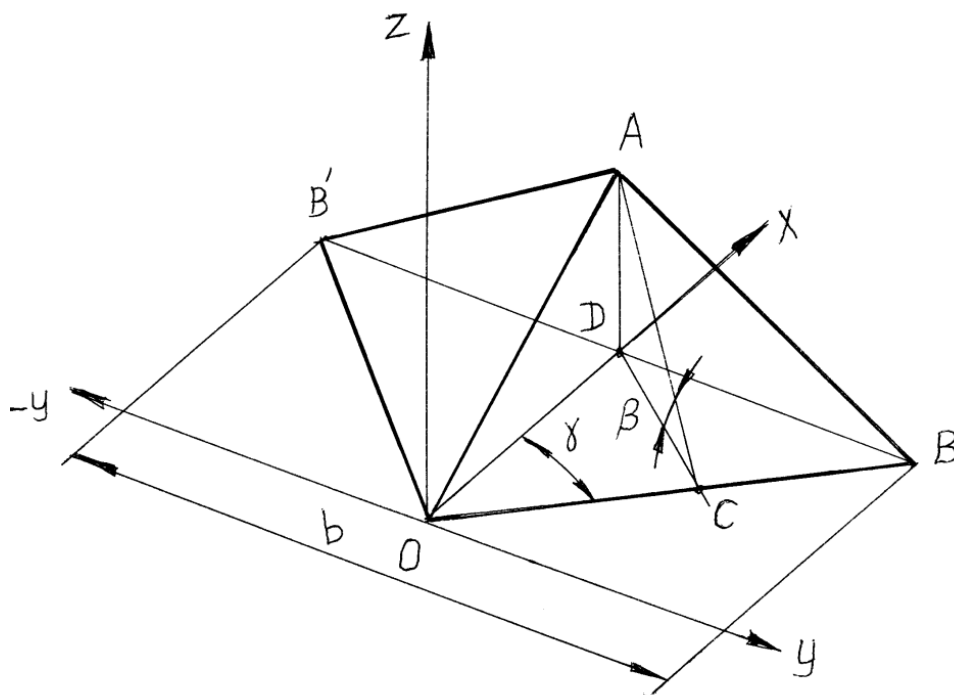


Рис. 2.10. Схема утворення поверхні лапи

Згідно схеми задання поверхні (рис. 2.5) запишемо координати точок A , B і O , виражені через параметри лапи - ширину захвату b і кут розхилу крил 2λ :

точка O : $x_1 = 0$, $y_1 = 0$, $z_1 = 0$;

точка B : $x_2 = \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma}$, $y_2 = 0,5b$, $z_2 = 0$;

точка A : $x_3 = \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma}$, $y_3 = 0$, z_3 .

Підставивши координати точок A , B і O у визначник (2.6) отримаємо

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} & 0,5b & 0 \\ \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

Звідки приходимо до наступного рівняння площини:

$$A_1x + B_1y + C_1z = 0, \quad (2.7)$$

$$\text{где } A_1 = \begin{vmatrix} 0,5b & 0 \\ 0 & z_3 \end{vmatrix} = 0,5b \cdot z_3, B_1 = - \begin{vmatrix} \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} & 0 \\ \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} & z_3 \end{vmatrix} = - \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} z_3, C_1 = \begin{vmatrix} \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} & 0,5b \\ \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} & 0 \end{vmatrix} = - \frac{0,25b}{\operatorname{tg}\gamma},$$

або

$$0,5b \cdot z_3 \cdot x - \frac{0,5b}{\operatorname{tg}\gamma} z_3 \cdot y - \frac{0,25b^2}{\operatorname{tg}\gamma} z = 0. \quad (2.8)$$

В отриманому рівнянні (2.8) вільний член D , який має місце у виразі (2.5), дорівнює нулю, так як площина проходить через початок координат, а невідомою величиною є координата z_3 точки A . Виразимо цю координату через параметри лапи. Відповідно схеми рис. 2.10, відрізок CD дорівнюватиме

$$CD = 0,5b \cdot \sin \gamma.$$

Тоді координата z_3 визначиться наступним чином

$$z_3 = CD \cdot \operatorname{tg} \beta = 0,5b \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Підставивши значення координати (2.8) отоимаємо рівняння площини у наступному вигляді

$$0,25b^2 \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot x - \frac{0,25b^2 \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \gamma} \cdot y - \frac{0,25b^2}{\operatorname{tg} \gamma} \cdot z = 0.$$

звідки, після перетворень, приходимо до наступної моделі площині крила лапи

$$\sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot x - \cos \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot y - \operatorname{ctg} \gamma \cdot z = 0. \quad (2.9)$$

Як видно з отриманого рівняння положення площини у просторі, а саме крила лапи, визначається двома кутами - кутом розхилу крила γ і кутом кришіння β .

Отримане рівняння 2.9 дозволяє проводити будь-які операції з формування лапи культиватора. Наприклад, якщо взяти координату рівною нулю, $y=0$, то отримаємо рівняння лінії OA стику крил, яка буде проходити через початок координат:

$$\sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot x - \operatorname{ctg} \gamma \cdot z = 0.$$

Аналогічно можна визначити рівняння верхнього обрізу крила, рівняння леза, будь-якого перетину площинами.

Культиватори для суцільного обробітку ґрунту комплектуються полольними і розпушувальними лапами. Як вказує назва, основним призначенням полольних лап є знищення бур'янів, що досягається горизонтальним перерізуванням їх коренів на глибині 6 - 10 см, а в окремих випадках - на глибині до 25 см.

Об'єднання операцій знищення бур'янів і розпушування ґрунту призвело до створення універсальних лап культиваторів (рис. 2.11).

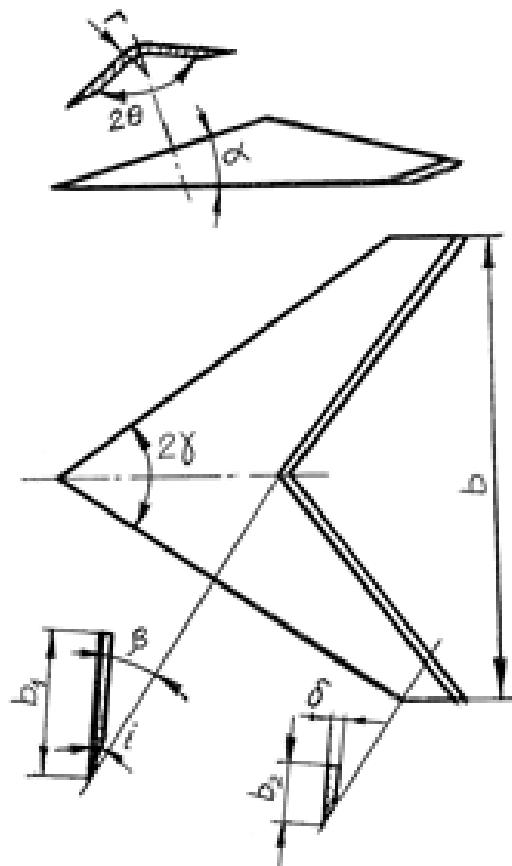


Рис. 2.11. Схема основних параметрів універсальної лапи культиватора

Відповідно вимог до культивації, геометричної моделі і конструкції самого культиватора, універсальні лапи культиваторів характеризуються наступними основними параметрами:

- кутом розхилу 2γ , град;

- кутом розпушування β , град;
- шириною захоплення b , мм;
- шириною b_1 на початку крила, мм;
- шириною b_2 , наприкінці крила, мм.

2.3. Технологічні основи вибору параметрів

Основними параметрами лапи культиватора, які визначають якість роботи, є кут кришіння β і кут розхилу крил 2γ .

Багатьма дослідженнями руху клина в ґрунті [69, 70, 33, 34, 46] встановлено, що при куті $\beta = 10^\circ$ відбувається різання ґрунту, яке сприяє грудкоутворенню, при $\beta = 30^\circ$ - відбувається необхідне подрібнення ґрунту, тому кут кришіння приймається в межах $\beta = 28 - 30^\circ$.

Значення кута γ повинне бути таким, щоб підрізання бур'янів відбувалося ковзаючим різанням, а коріння вирваних лапою бур'янів беззупинно ковзали уздовж леза. Невиконання цієї умови викликає так зване обгортання леза, при якому стебла і коріння бур'янів, утримувані силами тертя, скупчуються на крилах лап, після чого лапи перестають підрізати бур'яни і виглубляються з ґрунту.

Щоб навислий на лезі лапи бур'ян (рис. 2.12) ковзав по ньому, має виконуватися умова [70]

$$\gamma < 90 - \varphi, \quad (2.10)$$

де φ - кут тертя бур'яну по лезу.

Якщо ця умова не виконується, то лобовий опір P ґрунту буде проходити всередині кута тертя NOA , і не зможе викликати ковзання бур'яну уздовж леза.

Важливим є запобігання скупченню ґрунту перед клином. При малій зв'язності ґрунту та великій довжині робочої поверхні клина підпирання пласта може виявитися недостатнім для подолання опорів, що перешкоджають його руху по поверхні клина.

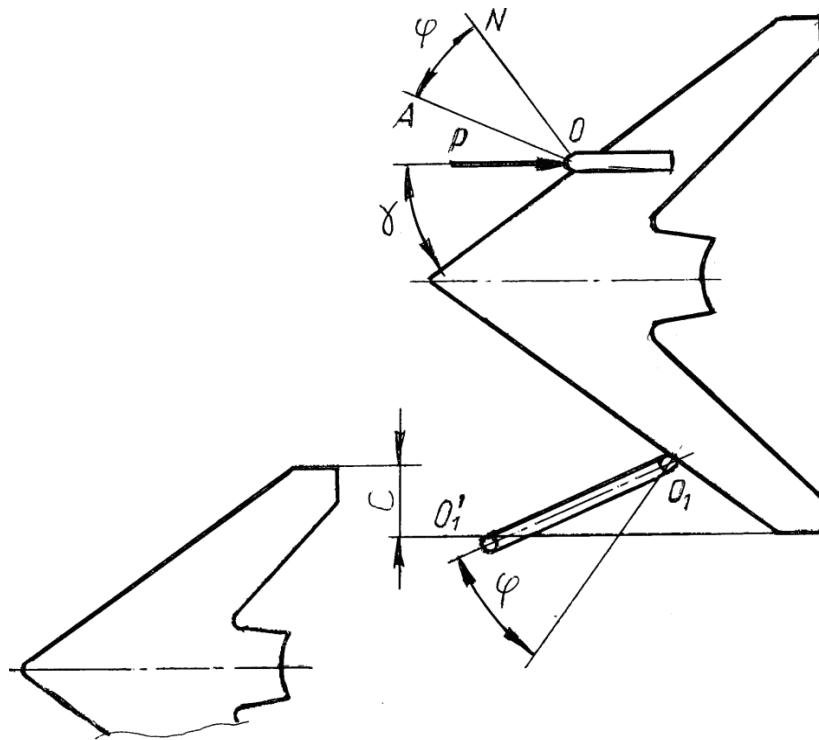


Рис. 2.12. Схема для визначення величини кута γ розхилу крил

Найбільша величина реакції Q недеформованого ґрунту, що знаходиться попереду клина дорівнює

$$Q_{\max} = ab\sigma_{\epsilon}.$$

де σ_{ϵ} - тимчасовий опір ґрунту стисканню, Па;

a і b - розміри перетину пласта ґрунту, м.

У свою чергу тимчасовий опір σ_{ϵ} ґрунта стисканню [69] дорівнює:

$$\sigma_{\epsilon} \leq \frac{1}{ab} \left\{ G \operatorname{tg}(\beta + \varphi) + F \left[\cos \frac{\beta}{2} \operatorname{tg}(\beta + \varphi) - \sin \frac{\beta}{2} \right] \right\}$$

або

$$\sigma_{\epsilon} \leq \gamma_{об} \left\{ \operatorname{tg}(\beta + \varphi) + \frac{2V^2}{g} \sin \frac{\beta}{2} \left[\cos \frac{\beta}{2} \operatorname{tg}(\beta + \varphi) - \sin \frac{\beta}{2} \right] \right\} \quad (2.11)$$

Цією нерівністю визначається умова, при якій повинен припинитися рух пласта по клину та виникнути скупчення ґрунту попереду клина.

З рівняння (2.11) випливає, що напруга стискання в ґрунті попереду клина зростає із збільшенням довжини клина, об'ємної ваги ґрунту, кута тертя ґрунту по сталі, кута кришіння і швидкості руху клина, але не залежить від поперечного перерізу пласта.

Залежність (2.11) застосовується для випадків дії клина з малим кутом β на зв'язний пластичний ґрунт, що має однорідну будову. Як випливає із залежності (2.11), імовірність скупчення ґрунту попереду клину збільшується із зростанням швидкості руху цього клина. Для визначення найбільшою довжини l клина (в даному випадку крила лапи), при якій ще не виникає скупчення ґрунту, можна користуватися залежністю яка буде отримана в результаті рішення нерівності (2.12) відносно l .

$$l \leq \operatorname{ctg}(\beta + \varphi) \left\{ \frac{\sigma_{\epsilon}}{\gamma_{об}} - \frac{2g^2}{g} \sin \frac{\beta}{2} \left[\cos \frac{\beta}{2} \operatorname{tg}(\beta + \varphi) - \sin \frac{\beta}{2} \right] \right\}, \quad 2.12)$$

2.4. Графоаналітичний метод побудови універсальних лап

2.4.1. Вихідні дані для проектування

Вихідними даними в цьому випадку є наступні параметри:

- ширина захвату b , мм;
- кут розхилу крил 2γ , град;
- ширина крила у першій третині b_1 , мм;
- ширина крила на кінці b_1 , мм;
- кут кришіння у першій третині β , град;
- товщина матеріалу δ , мм.

2.4.2. Побудова поверхні лапи культиватора без хвостовика

Проектування поверхні лапи і розгортки проводимо згідно з рис. 2.13 в наступній послідовності [69, 71].

1. Визначаємо кут α , утворений лінією $A'B'$ з опорною площиною з виразу:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B'C'}{A'C'}.$$

З геометричних міркувань $B'C' = b_1 \sin \beta$ і $A'C' = \frac{b_1 \cos \beta}{\sin \gamma}$, тому

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta \sin \gamma. \quad (2.13)$$

Відрізок l , що визначає положення точки B' , дорівнює

$$l = b_1 \frac{\sin \beta}{\cos \alpha}. \quad (2.14)$$

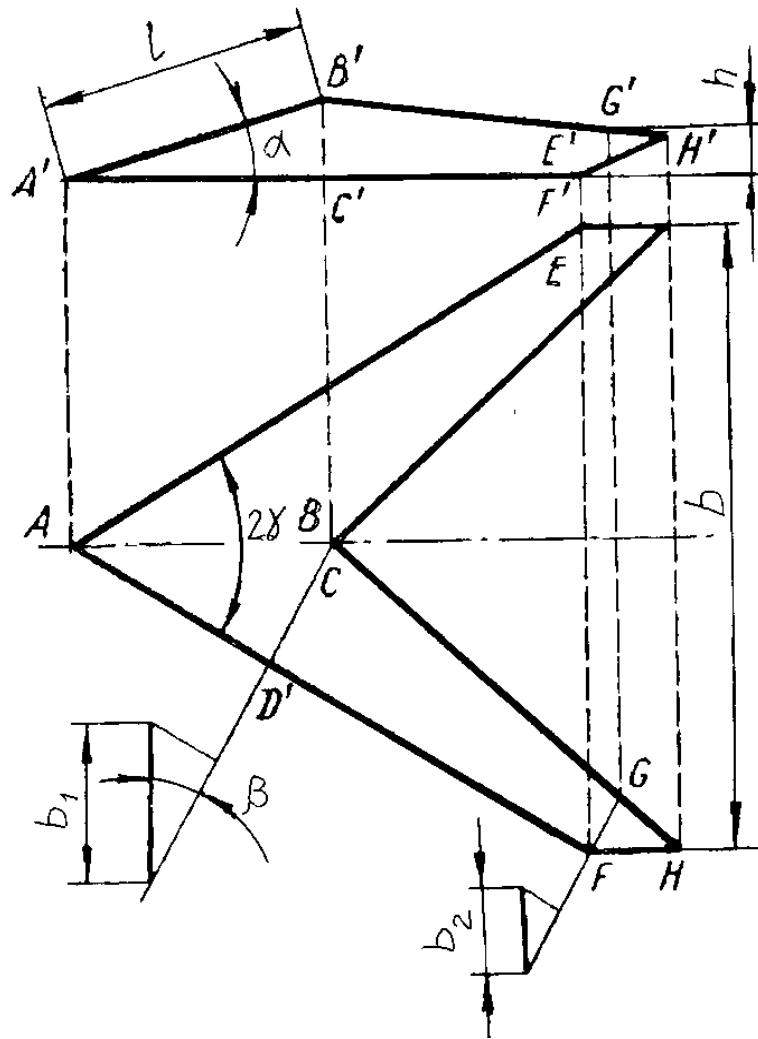


Рис. 2.13. Побудова проєкції стрілкової лапи без хвостовика

2. Побудову проєкції лапи починаємо з горизонтальної площини. З точки A проводимо лінії AE і AF , і, що утворюють кут 2γ . Положення точок E і F визначається заданою шириною захвату b . Точки A, E і F переносимо на бічну проєкцію. З точки A' під кутом α , проводимо пряму $A'B'$, довжина якої дорівнює l . Будуємо перетин крила лапи вертикальною площиною, проведеною через точку F перпендикулярно лезу AF і визначаємо розмір $FG = b_2 \cos \beta$.

Точку B' проєкуємо на горизонтальну площину і сполучаємо прямою з точкою G . Продовжуємо пряму $B'G$ до перетину з лінією, що проведена

з точки F паралельно AB і знаходимо точку H . Точки G і H проектуємо на вертикальну площину. Висота точки G' характеризується розміром h , що дорівнює

$$h = b_2 \sin \beta.$$

3. Для побудови розгортки лапи визначаємо значення кута розхилу $2\gamma_0$ крил заготовки. Кут γ проектується в натуральну величину при поєднанні площині крила лапи з горизонтальною площиною проєкцій, що може бути досягнуто поворотом крила навколо лінії леза AF на кут β (рис. 2.14):

$$\operatorname{tg}\gamma_0 = \frac{B_1D}{AD} = \frac{b_1}{AD}$$

Так як

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{BD}{AD} = \frac{b_1 \cos \beta}{AD},$$

то

$$\operatorname{tg}\gamma_0 = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\cos \beta}. \quad (2.15)$$

Лінія обрізу крила, що паралельна осьовій лінії AB , залишається паралельною їй і після поєднання крила лапи з горизонтальною площиною проєкцій, а саме $AB_1 \parallel FG_1$, у чому легко переконатися при розгляді схеми на рис. 2.14.

4. Розгортку лапи, без урахування скруглення в перегині і товщини матеріалу, будують наступним чином. З точки A (рис. 2.15) проводимо лінії, які утворюють кут $2\gamma_0$, при цьому визначаємо положення точок F_1 і E розміром

$$b_0 = b \frac{\sin \gamma_0}{\sin \gamma}.$$

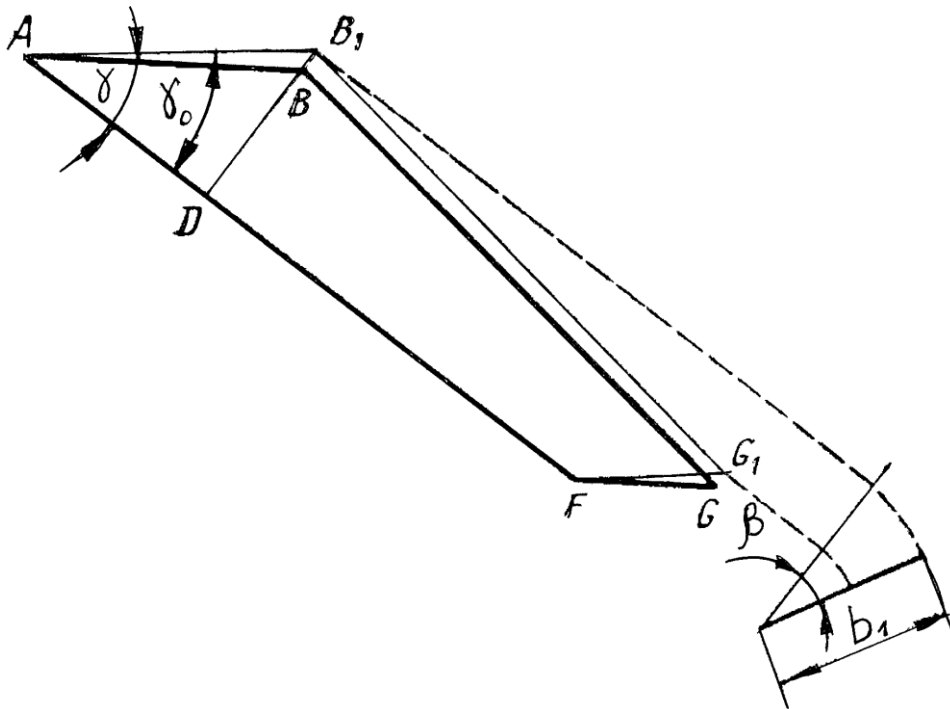


Рис. 2.14. Графічний спосіб визначення кута γ_0

Точку B_1 наносимо на осьовій лінії на відстані l від точки A . З точки F_1 на перпендикулярі до лінії AF_1 відкладаємо ширину крила b_2 (точка G_1). Через точки B_1 і G_1 проводимо лінію до перетину в точці H_1 з лінією F_1H_1 , яка паралельна лінії AB_1 .

5. Побудову проєкцій лапи, з урахуванням товщини матеріалу і радіусу заокруглення, виконуємо згідно з рис. 2.16. Через точку B' , перпендикулярно лінії $A'B'$, проводимо перетин робочої поверхні лапи і будуємо на ньому, відкладаючи товщину δ , задню неробочу поверхню лапи, а також скруглюють радіусом r вершину кута 2θ , після чого вносимо відповідні поправки в обидві проєкції лапи.

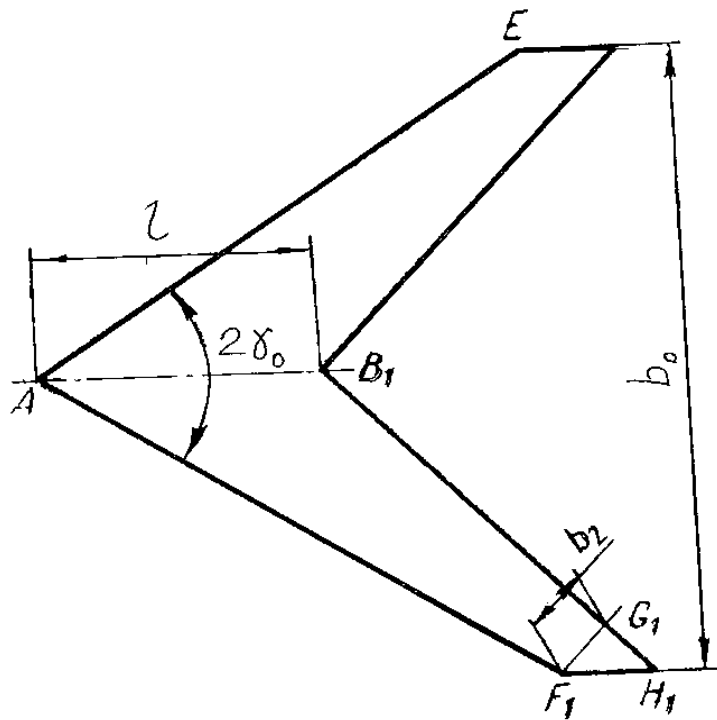


Рис. 2.15. Разгортка стрілкової лапи без хвостовика

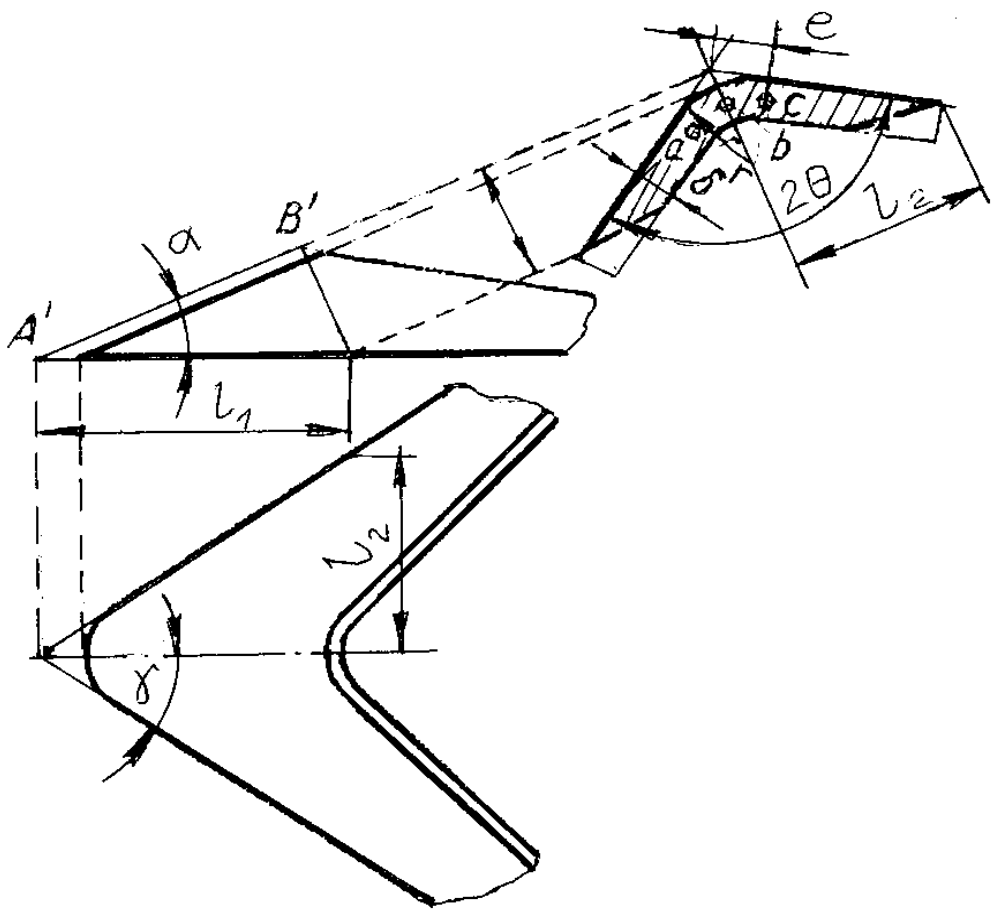


Рис. 2.16. Скруглення стрілкової лапи

6. Разгортку лапи без врахування скруглення в місці перегинання і товщини матеріалу будують наступним чином. З точки A (рис. 2.15) проводимо лінії, які утворюють кут $2\gamma_0$. Положення точок F_1 і E визначаємо розміром

$$b_0 = b \frac{\sin \gamma_0}{\sin \gamma}.$$

Неточність розміру b_0 , при побудові розгортки лапи без урахування товщини δ і радіусу r , виражається різницею довжини s дуги abc і сумарної довжини двох відрізків e :

$$\Delta = 2e - s. \quad (2.16)$$

Довжина дуги s дорівнює

$$s = \frac{2\pi(r - \frac{\delta}{2})}{360} (180 - 2\theta) = 2\pi(r - \frac{\delta}{2}) \frac{90 - \theta}{180}, \quad (2.17)$$

а довжина відрізка e :

$$e = r \operatorname{ctg} \theta, \quad (2.18)$$

де

$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{h}{e_2}.$$

Але, так как

$$h = l_1 \sin \alpha \text{ и } f = l_1 \operatorname{tg} \gamma,$$

тому

$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \gamma}. \quad (2.19)$$

Величину кута θ необхідно також визначити для виготовлення відповідних шаблонів і штампів.

Підставляємо з рівнянь (2.17) і (2.18) у рівняння (2.16) значення s та e і отримуємо

$$\Delta = 2 \left[r \operatorname{ctg} \theta - \pi \left(r - \frac{\delta}{2} \right) \frac{90 - \theta}{180} \right].$$

При побудові розгортки лапи, розмір b_o слід зменшити на визначене значення Δ . Справжня величина b_o , з урахуванням Δ , дорівнює

$$b_o = B \frac{\sin \gamma_o}{\sin \gamma} - 2 \left[r \operatorname{ctg} \theta - \pi \left(r - \frac{\delta}{2} \right) \frac{90 - \theta}{180} \right]. \quad (2.20)$$

Гострі кути розгортки в точках A і B скруглюють відповідними радіусами.

2.4.3. Побудова поверхні лапи культиватора з хвостовиком

Проектування стрілкової лапи з хвостовиком починають так як і стрілкової лапи без хвостовика [69, 71].

1. За заданими параметрами і обчисленнями значень α і l згідно рівнянь (2.13) і (2.14), зображаємо боковий вигляд і план лапи (рис. 2.17). Далі, задаємося вильотом L і формою кривої AB_1CD , на бічній проекції будуємо хвостовик і профіль стояка. Якщо із-за малого нахилу прямої AB_1 до горизонту розміщення болтів і гайок, які забезпечують кріплення лапи до стояка, виявляється неможливим, то збільшують підйом грудей лапи, для чого збільшують на кут ψ нахил прямої і надають відповідну

форму перетинам 1-1 і 2-2 лапи. Переріз проводимо по нормалях до кривої AB_1CD .

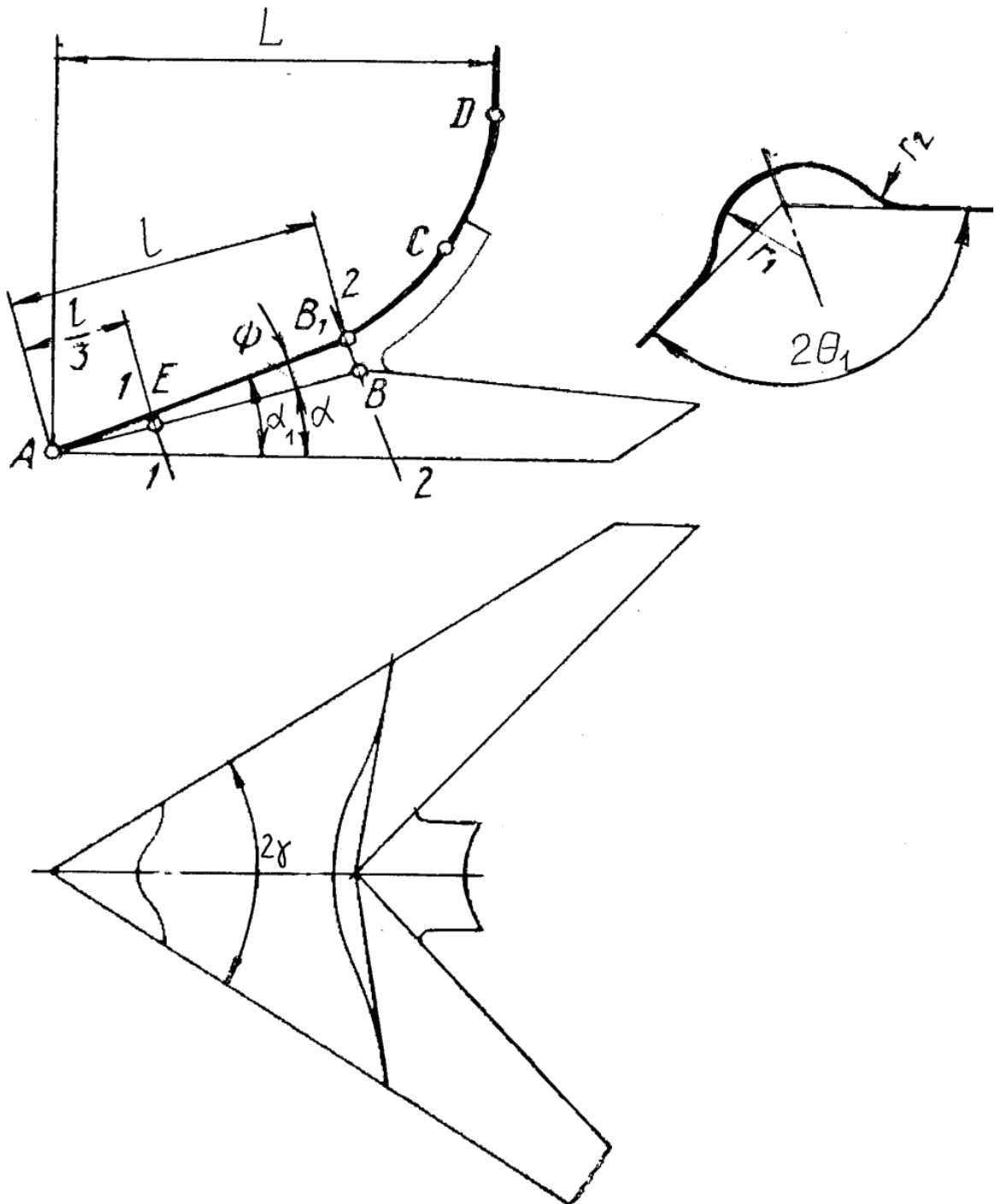


Рис. 2.17. Побудова проєкцій стрілкової лапи з хвостовиком

Кут θ_1 в перерізах 1-1 і 2-2 визначаємо графічно або за формулою

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \operatorname{tg} \theta \cos \psi,$$

де згідно формули (2.19) $\operatorname{tg} \theta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\sin \alpha}$ і

$$\psi = \alpha_1 - \alpha.$$

Шляхом підбирання радіусів скруглення перерізів 1-1 і 2-2 (рис. 2.16) надаємо форму, що відповідає перерізам стояка і прийнятої конструкції кріплення лапи. При проектуванні перерізів 1-1 і 2-2 повинно бути забезпечено плавне товариш площині крил з грудьми лапи. Радіус скруглення в перерізі 1-1 завжди буде менший, ніж у перерізі 2-2, що обумовлює конічну форму грудей лапи.

3. Розгортку будуємо у такій послідовності.

З точки 1 (носок лапи на розгортці) по осьовій лінії відкладаємо відрізки $\frac{1}{3}l$ - точка 6 і l - точка 11, що відповідають відстаням перерізів 1-1 і 2-2 від носка лапи в бічній її проекції (рис. 2.18).

На перпендикулярах до осьової лінії розгортки, відновлених в точках 6 і 11, відкладають довжини спрямлених ділянок $a_1b_1c_1$ і $a_2b_2c_2$ перерізів 1-1 і 2-2 і визначають положення точок 5, 7, 10 і 12. Точки 4 і 8 визначають перетином кіл радіусу s_1 проведених з центрів 5 і 7, з колом радіусу r_1 , проведеного з центра 1. Розмір s_1 , беруть з перетину 1-1, а розмір r_1 - з горизонтальної проекції лапи.

Якщо точки 1, 8 і 9 не розташовуються на одній прямій, то необхідно провести додатковий переріз 1'-1'. Переріз 1'-1' дозволяє нанести на розгортці додаткові точки 6', 7 і 8'. Точки 1, 8, 8 і 9 з'єднують лекальною

кривою. На продовженні дотичної до кривої 1-8-8'-9, проведеної через точку 9 радіусом $r_3 - r_2$ з центра 9, відмічають точку 14.

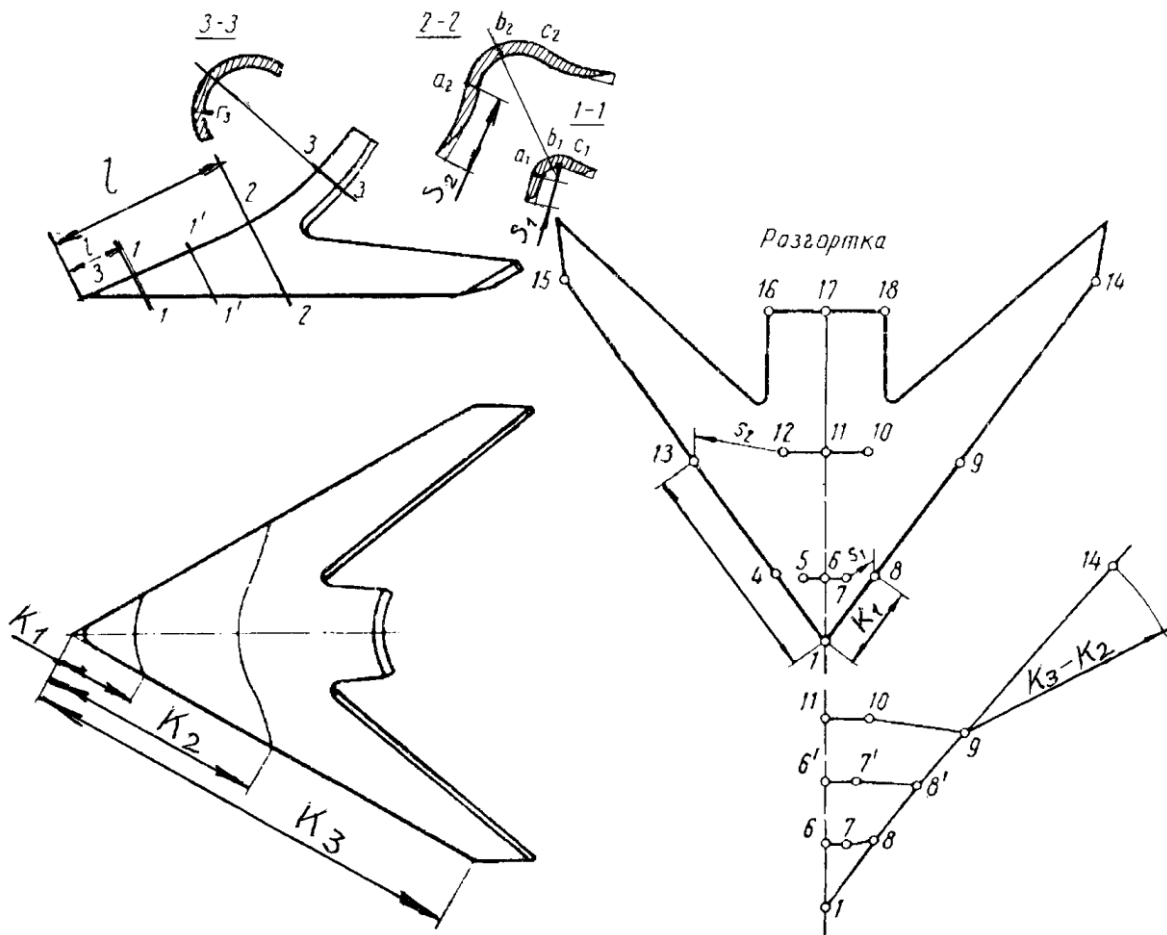


Рис. 2.18. Побудова проєкцій і розгортки стрілкової лапи з хвостовиком

Задній контур крила лапи визначається прийнятими значеннями b_1 і b_2

Далі по осьовій лінії розгортки з точки 11 відкладаємо спрямлену довжину хвостовика (точка 17). На перпендикулярі до осьової лінії, встановленому з точки 17, відкладаємо спрямлену (з перерізу 3-3) ширину хвостовика (точки 16 і 18).

Носок лапи і гострі вхідні кути розгортки скруглюють відповідними радіусами.

4. На підставі наведеної методики визначені параметри конструкції універсальних лап культиваторів [71] (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Основні параметри стандартних універсальних лап культиваторів

Тип	2γ	β	b	b_1	b_2	H	R	δ
	град		мм					
	65	28	270	54	31	61	225	5
	65	28	330	54	31	61	225	6
	60	30	250	58	40	138	221	6
	60	30	330	58	40	138	221	6
	60	30	250	58	40	107	100/170	5
	60	30	300	58	40	130	217	10

2.5. Графічний метод проектування культиваторних лап

2.5.1. Задання вихідних даних

Графічне проектування поверхні лап культиваторів виконують на підставі методів нарисної геометрії. Цей метод є найбільш простим і не вимагає аналітичних обчислень.

Вихідні дані:

- ширина захвату b , мм;
- кут розхилу крил по лезу 2γ , град;
- кут розпушування у першій третині леза α_1 , град;
- кут розпушування на кінці крила лапи α_2 , град;

- максимальна висота поверхні лапи по лінії стикування її напівповерхонь h_1 , мм;

- радіус сполучення площин крил R_1 , мм;

- висота кінця крила лапи h_2 , мм.

Умовні позначення:

Π_1, Π_2, \dots - площині проєкцій;

x_{12}, x_{24}, \dots - осі системи площин проєкцій;

$A_1, B_2, 1_3, \dots$ - проєкції точок на площинах проєкцій;

l_1, m_4, \dots - проєкції допоміжних ліній побудови.

2.5.2. Побудова проєкцій поверхні лапи

Побудова поверхні починаємо з формування горизонтальної проєкції леза.

1. На горизонтальній площині проєкцій Π_1 (рис. 2.19) паралельно осі x_{12} проводимо горизонтальну проєкцію l_1 лінії симетрії поверхні лапи l .

2. Для отримання найвищої точки поверхні лапи по лінії леза 1_1B_1 застосовуємо нову площину Π_4 перпендикулярну лінії леза, на якій будуємо проєкцію леза $1_4 \equiv B_4$. Із проєкції лінії леза $1_4 \equiv B_4$ на площині Π_4 під кутом розпушування α_1 проводимо промінь s_1 , на якому, відклавши від осі x_{14} максимальну висоту поверхні лапи h_1 , отримуємо точку C_4 .

З точки C_4 проводимо пряму, паралельну лінії леза 1_1B_1 , отримуючи на лінії симетрії лапи l точку C_1 . Точку C_1 проєктуємо на фронтальну площину проєкцій, на якій на висоті h_1 від осі x_{12} , отримуємо фронтальну проєкцію точки C_2 . Сполучивши точки 1_2 і C_2 , отримуємо фронтальну проєкцію лінії симетрії лапи l_2 .

В результаті побудови нами отримана найвища точка C робочої поверхні лапи.

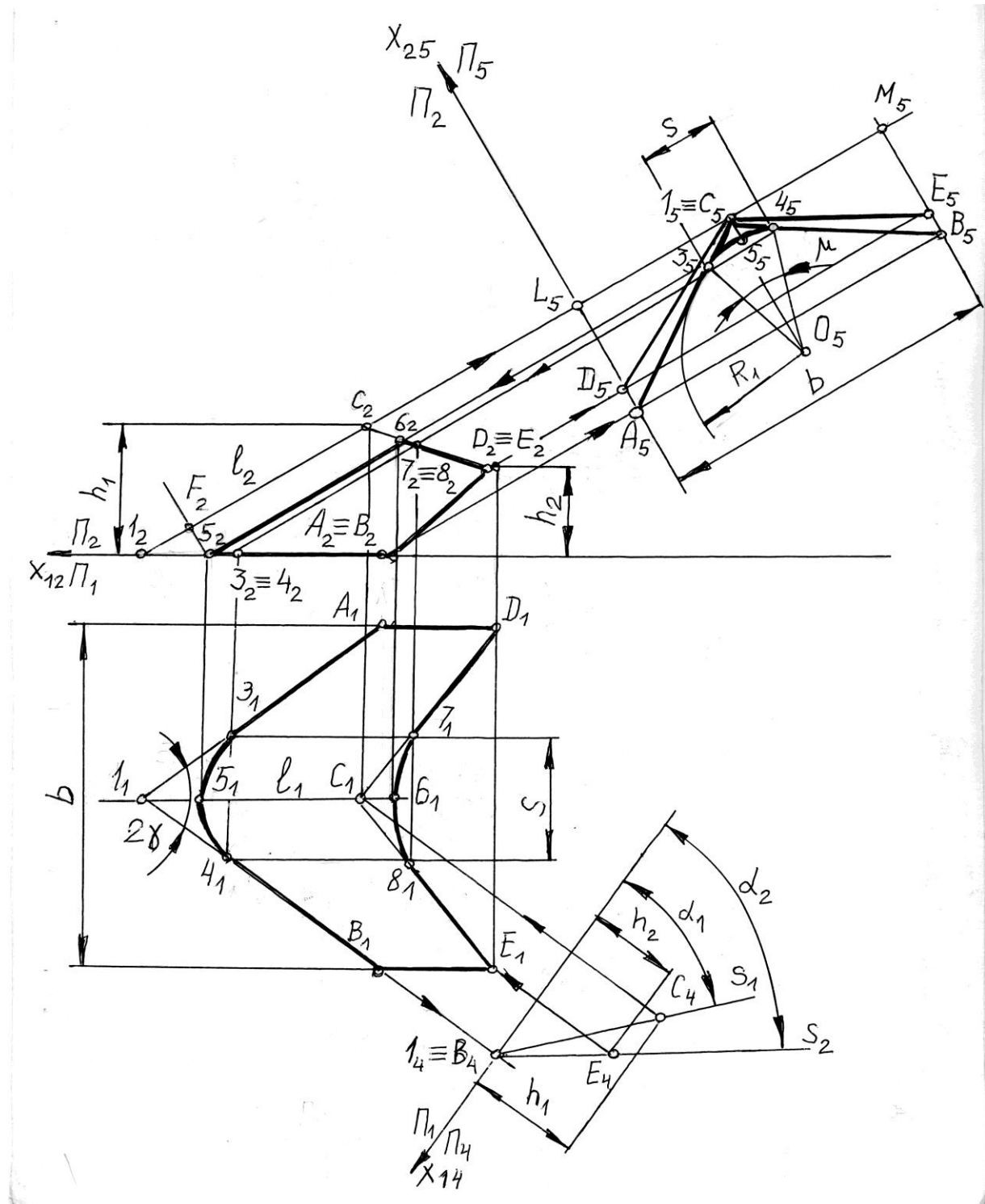


Рис. 2.19. Схема побудови проєкцій поверхні

3. Для отримання вищої точки E крила лапи із проекції лінії леза $1_4 \equiv B_4$ на площині Π_4 , під кутом α_2 , проводимо промінь s_2 , на якому на мінімальній висоті крила лапи h_2 , отримуємо точку E_4 .

З отриманої точки E_4 проводимо лінію, паралельну лінії леза, перетин якої з лінією ширини захвату дасть горизонтальну проекцію точки E_1 . З точки E_1 проводимо лінію зв'язку, перпендикулярну осі x_{12} на якій, на висоті h_2 , отримаємо фронтальну проекцію нижньої точки крила лапи E_2 . Так як лапа має два крила, то отримуємо точку D_2 , яка буде збігатися з точкою E_2 на фронтальній площині проєкцій.

Точки, що співпадають, з'єднуємо з однаковими точками і будуємо польові обрізи крил лапи.

4. На горизонтальній проєкції з'єднуємо точку C_1 з точками D_1 і E_1 . В результаті побудови маємо фронтальний і горизонтальний вид поверхні лапи.

Отримані проєкції не в повній мірі є проєкціями лапи культиватора, так як являють собою проєкції сполучених граней. Для того щоб з цих граней утворити поверхню лапи культиватора, необхідно виконати їх сполучення поверхнею циліндра.

5. Для виконання сполучення введемо нову площину проєкцій Π_5 , перпендикулярно лінії сполучення граней 1_2C_2 , задавши при цьому нову вісь x_{25} . Перетин осі x_{25} з лінією 1_2C_2 дає точку L_5 . З отриманої точки L_5 відкладаємо ширину захвату b і отримуємо точку M_5 . Розділивши відстань L_5M_5 на дві рівні частини, отримаємо проєкцію лінії стикування граней 1_5C_5 на площині Π_5 .

Точки A, B, D, E проектуємо на площину Π_5 і отримуємо на осі x_{25} і на перпендикулярі, проведеному з точки M_5 , проєкції A_5, B_5, D_5, E_5 . Проведена

побудова дає проекцію поверхні лапи $A_5, D_5, 1_5 \equiv C_5, E_5, B_5$, поверхню лапи по лінії сполучення граней $1_2 C_2$.

6. За правилами геометричної побудови виконаємо сполучення ліній $A_5 1_5$ $C_5 B_5$ дугою кола радіуса R_1 і центром в точці O_5 та отримаємо проекції точок переходу 3_5 і 4_5 .

Тут можливі три випадки, які розглянемо детально.

Випадок 1. Кути розпушування α_1 і α_2 рівні між собою $\alpha_1 = \alpha_2$. Тоді проекції ліній $C_5 D_5$, $C_5 A_5$ і $C_5 E_5$, $C_5 B_5$ збігаються між собою відповідно. У цьому випадку проекції точок 3_5 , 4_5 будуть належати проекціям ліній, що співпадають.

Випадок 2. Кут α_2 більше кута α_1 $\alpha_2 > \alpha_1$. У цьому випадку проекції точок 3_5 , 4_5 будуть належати проекціям ліній $C_5 A_5$ і $C_5 B_5$ відповідно.

Випадок 3. Кут α_2 менше кута α_1 $\alpha_2 < \alpha_1$. У цьому випадку проекції точок 3_5 і 4_5 будуть знаходитися на лініях $C_5 D_5$ і $C_5 A_5$, відповідно.

Перетин дуги кола з лінією $1_5 \equiv C_5 O_5$ дає проекцію точки 5_5 . Це буде проекція сполучення напівповерхонь лапи. Точку 5 з площини Π_5 проектуємо послідовно на вісь x_{12} і на горизонтальну проекцію поверхні лапи і отримуємо проекції 5_2 і 5_1 .

Точки переходу 3 і 4 з площини Π_5 проектуємо на вісь x_{12} і отримуємо комбіновані проекції $3_2 \equiv 4_2$, проектуючи які на проекції лінії леза $1_1 A_1$ і $1_1 B_1$, отримуємо проекції точок 3_1 і 4_1 , відповідно. Зєднавши точки $3_1, 5_1, 4_1$, отримаємо проекцію обрізу циліндра у вигляді дуги еліпса.

Аналогічно отримуємо фронтальні проекції точок $6_2, 7_2$ і 8_2 на лінії, яка є фронтальною проекцією верхнього обрізу поверхні лапи. Відповідно на горизонтальній проекції визначаємо дугу еліпса точками $7_1 C_1 8_1$ сполучення верхнього обрізу напівповерхонь лапи.

Остаточно отримуємо фронтальний $5_2 6_2 7_2 \equiv 8_2 D_2 \equiv E_2 A_2 \equiv B_2 3_2 \equiv 4_2 5_2$ і горизонтальний $5_1 3_1 A_1 D_1 7_1 6_1 8_1 E_1 B_1 4_1 5_1$ контури поверхні лапи.

7. Будь-яка лапа культиватора, у тому числі і стрілчаста, побудову якої розглянуто вище, повинна мати хвостовик для кріплення на стояку. Хвостовик являє собою частину поверхні тора, яка утворена круговим рухом кола.

Побудову хвостовика наведено на рис. 2.20.

З точки 6_2 проводимо перпендикуляр до лінії $6_2 5_2$, на якому, відклавши радіус хвостовика в поздовжній площині R_2 , отримуємо центр кола O_2 . Із отриманого центру радіусом R_2 проводимо дугу $6_2 9_2$, довжина якої визначається або кутом δ , або відстанню d кінцевої точки дуги 9_2 від лінії $6_2 5_2$.

З точки 9_2 проводимо дотичну до дуги $6_2 9_2$. Перпендикулярно дотичній вводимо площину проєкцій Π_6 , яка при перетині з площиною проєкцій Π_2 дає вісь x_{26} . Проектуємо точку 9 на площину Π_6 і в результаті маємо проєкцію 9_6 , причому відстань цієї проєкції 9_6 від осі x_{26} повинна бути більше половини ширини хвостовика f . З цієї проєкції паралельно осі x_{26} проводимо лінію. З проєкції точки 9_6 , відкладаючи радіус R_3 , знаходимо центр кола O_6 .

З центра O_6 радіусом R_3 проводимо дугу до перетину з лініями, що обмежують ширину хвостовика, отримуючи таким чином, проєкції точок $10_6 11_6$. Отримані точки проектуємо на лінію $O_2 9_2$ і отримуємо пристайні (співпадаючі) проєкції $10_2 \equiv 11_2$. З центра O_2 радіусом R_4 , що дорівнює відстані співпадаючих проєкцій $10_2 \equiv 11_2$ до центра O_2 проводимо дугу до перетину з лінією верхнього обрізу $6_2 D_2 \equiv E_2$, і отримуємо пристайні проєкції $12_2 \equiv 13_2$.

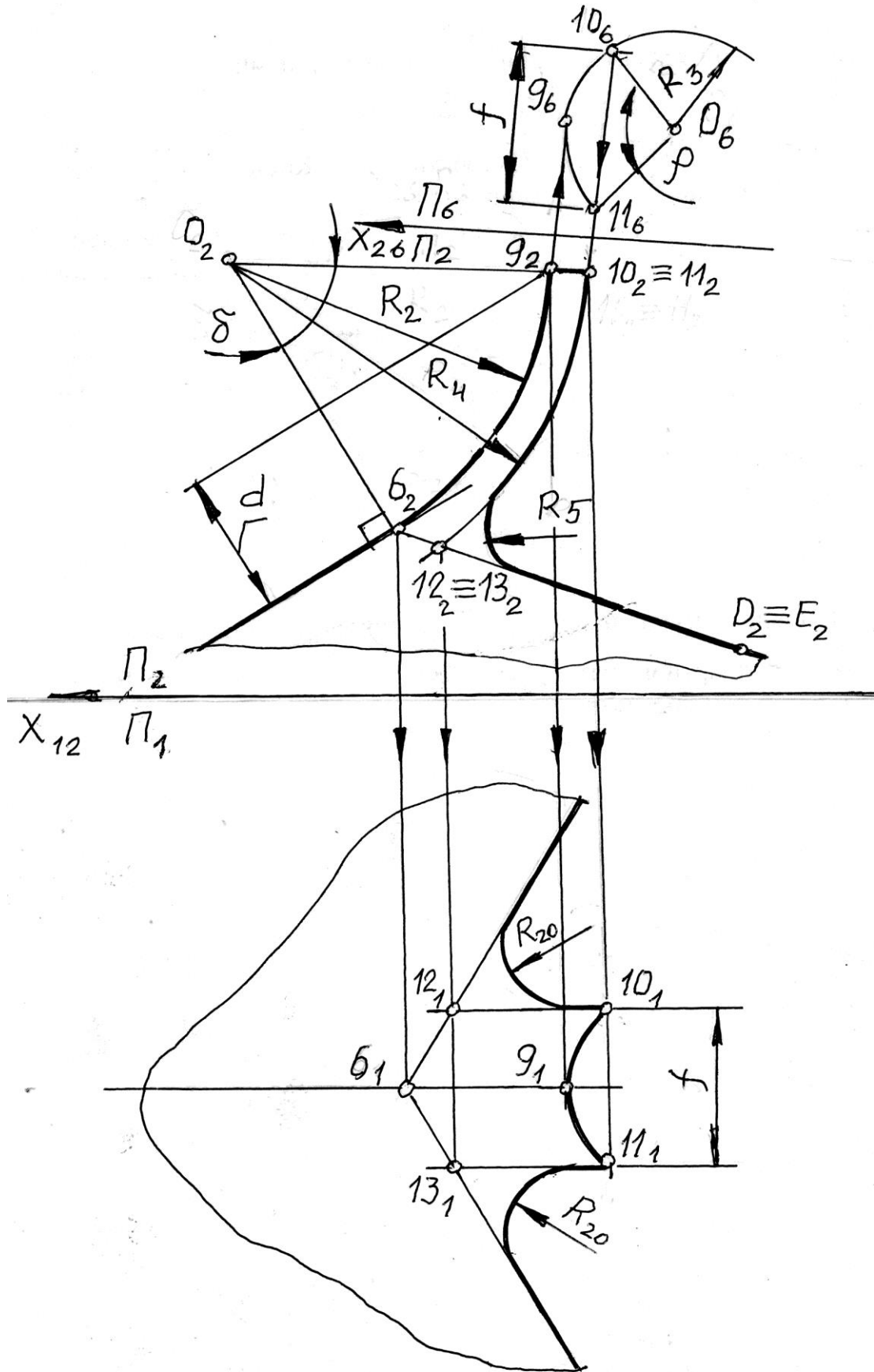


Рис. 2.20. Схема побудови хвостовика

8. Горизонтальну проекцію хвостовика будемо, проектуючи точки 9, 10, 11, 12 і 13 на горизонтальну проекцію поверхні лапи. Сполучення проекцій лінії верхнього обрізу з проекцією хвостовика виконуємо радіусом R_{20} , що визначається з конструктивних міркувань.

2.5.3. Побудова розгортки поверхні лапи

Отримана в результаті побудови поверхня лапи культиватора складається з поверхонь крил, поверхні хвостовика і поверхні сполучення. Поверхня сполучення є поверхнею циліндра, тому вона розгортається на площину і тому її розгортка може бути отримана з достатньою точністю. Поверхня хвостовика є нерозгортною, і її розгортка будується приблизно з подальшою корекцією за місцем кріплення. Поверхні крил можуть бути як такі що розгортаються так і що не розгортаються. Це залежить від кутів α_1 і α_2 . Якщо ці кути рівні, то поверхні крил являють собою площині, отже, їх розгортки будуються точно, якщо зазначені кути не рівні - то поверхні крил є відсіками косої площині, яка в принципі, не розгортається. Однак для лап культиватор ці кути незначно відрізняються один від одного і, коса площину наближається до звичайної площині, тому площини крил будемо вважати розгортними, що не внесе істотних помилок у побудову.

1. Побудову розгортки поверхні лапи (рис. 2.21) починаємо з того, що проводимо лінію стику поверхонь l_0 , на якій позначаємо точку 1_0 . Будь-яким відомим способом на площині обчислюємо довжину дуги s_0 , яка визначається точками $3_5 1_5 \equiv \tilde{N}_5 4_5$, і відкладаємо рівними частинами від лінії стикування l_0 . Через отримані точки проводимо лінії паралельно лінії стикування.

2. З точки 1_0 радіусом $R_6 = 1,3_1$ робимо на цих лініях засічки, отримуючи точки 3_0 і 4_0 переходу криволінійного носка лапи в прямолінійне лезо.

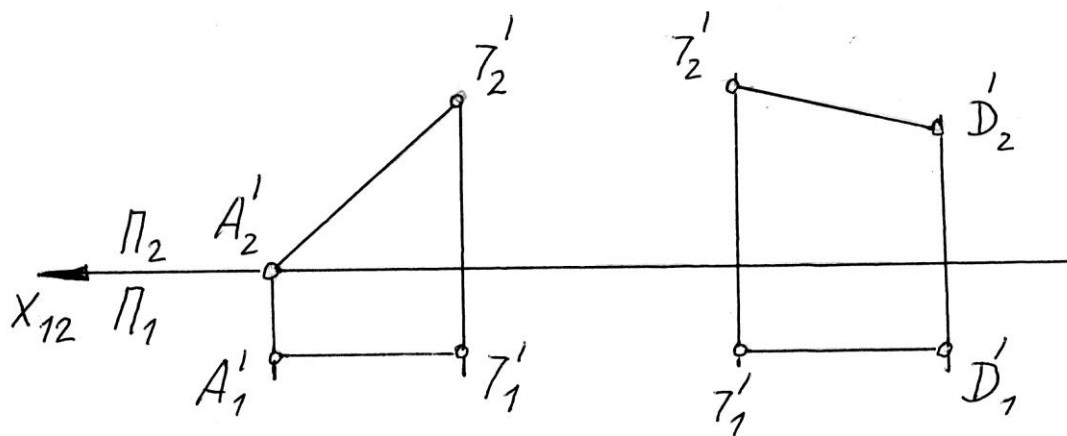
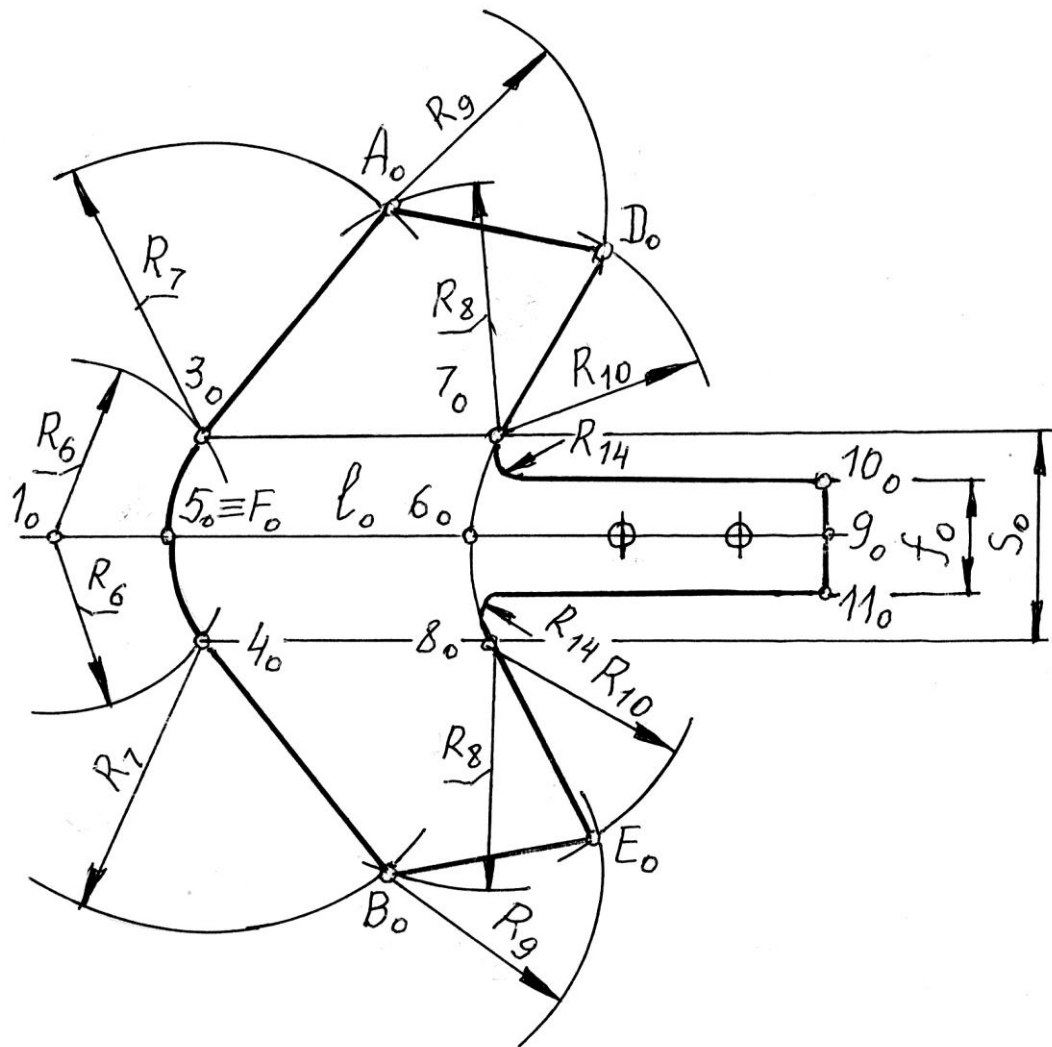


Рис. 2.21. Схема побудови розгортки поверхні лапи і фрагменти визначення натуральних величин відрізків

Крайню точку носка лапи 5_0 визначимо, провівши перпендикуляр до проекції лінії стикування 1_2C_2 на фронтальній проекції поверхні лапи (див. рис. 2.19). В результаті побудови перпендикуляра отримаємо проекцію точки F .

Вимірявши відстань 1_2F_2 , відкладаємо її від точки 1_0 і отримуємо точку 5_0 , яка в даному випадку співпадає з точкою F_0 . Сполучаємо точки $3_05_04_0$ дугою еліпса і отримуємо контур носка лапи.

Відстані 3_27_2 і 4_28_2 відкладаємо з точок на розгортці $3_0,4_0$ і в результаті отримуємо точки 7_0 і 8_0 переходу дуги верхнього обрізу в пряму лінію. Відклавши відстань 5_26_2 по лінії стикування, отримуємо точку 6_0 верхнього обрізу лапи. Зображаємо дугу верхнього обрізу $7_06_08_0$.

3. Крила лапи будуємо методом триангуляції. Для цього радіусом R_7 , рівним прямолінійним ділянці леза 3_1A_1 , з точок на розгортці 3_0 і 4_0 проводимо дуги. Знаходимо натуральну величину відрізка 7_1A_1 . Для цього використовуємо метод плоскопаралельного переміщення. Горизонтальну проекцію відрізка 7_1A_1 розміщуємо так, щоб вона стала паралельна осі Ox .

Точка A розташовується на горизонтальній площині проекцій, тому її фронтальна проекція A_2 буде знаходитися на осі Ox .

По лінії зв'язку, що виходить з проекції точки 7_1 від осі відкладаємо висоту точки 7_2 . Радіусом R_8 , що дорівнює відстані $A'_27'_2$ з точок 7_0 і 8_0 проводимо дуги до перетину з дугами, проведеними радіусом R_7 . В результаті побудови отримуємо прямолінійні ділянки леза 3_0A_0 і 4_0B_0 . Відрізки AD і BE , які є польовими обрізами крил, паралельні фронтальній площині проекцій і проектуються на неї в натуральну величину. Радіусом R_9 , рівним A_1D_1 або B_1E_1 з точок A_0 і B_0 проводимо дуги. Визначаємо натуральну величину верхніх прямолінійних ділянок обріза лапи $7D$ і $8E$. Відкладаємо паралельно осі Ox горизонтальну проекцію

відрізка $7'_1 D'_1$. З проекцій точок $7'_1$ і D'_1 проводимо лінії зв'язку, на яких відкладаємо відстані від проекцій точок 7_2 і D_2 до осі Ox . В результаті проведених побудов отримаємо натуральну величину відрізка $7'_2 D'_2$. Радіусом $R_{10} = 7'_2 D'_2$ з точок 7_0 і 8_0 проводимо дуги до перетину з дугами, утвореними радіусом R_9 . В результаті побудови отримуємо точки D_0 і E_0 . Сполучивши прямими точки A_0 і D_0 , D_0 і 7_0 , B_0 і E_0 , 8_0 і E_0 остаточно отримуємо розгортку поверхні лапи $5_0 3_0 A_0 D_0 7_0 6_0 8_0 E_0 B_0 4_0$ без хвостовика.

4. Для побудови хвостовика будь-яким відомим способом визначаємо довжини дуг $6_2 9_2$ і $11_6 9_6 10_6$. Потім на розгортці із точки 6_0 відкладаємо довжину дуги $6_2 9_2$ і отримуємо точку 9_0 . Довжину f_0 дуги $11_6 9_6 10_6$ відкладаємо рівними частинами від лінії сполучення напівповерхонь l_0 і отримуємо точки 10_0 і 11_0 . Виконуємо сполучення радіусом R_{14} , величину якого визначимо з конструктивних міркувань.

Отвори для кріплення лапи розміщуємо згідно з конструкцією стояка. Наведена методика дозволяє будувати поверхні стрілчастих лап культиваторів в досить широкому діапазоні.

3. ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОБІЧНИХ ЛАП (БРИТВ) КУЛЬТИВАТОРІВ

3.1. Технологічні основи

Для боротьби з рослинністю у захисній зоні просапних культур [19] необхідно виконати наступні вимоги:

- захистити культурні рослини від травматизму ґрунтом або робочими органами;
- підрізати бур'яни;
- зміщувати бур'яни з леза, щоб уникнути обволікання.

Крім цього робочі органи повинні рухатися на невеликій глибині, щоб уникнути пошкодження коріння культурних рослин.

Ці вимоги призвели до розроблення одnobічних лап культиваторів, що мають щиток для захисту культурних рослин від рухомого ґрунту.

3.2. Вихідні дані для проектування

При проектуванні одnobічних культиваторних лап [69] задаються наступними параметрами, схема яких наведена на рис. 3.1:

- кут нахилу ψ леза щитка до горизонту, град;
- кут скосу γ леза крила, град;
- кут кришіння β , град;
- зовнішній радіус r сполучення крила зі щитком, мм;
- ширина захвату b лапи, мм;
- висота H леза щитка лапи, мм;
- ширина крила лапи і товщина матеріалу, мм;
- кут нахилу лінії сполучення α , град;
- кут розхилу поверхні Ω , град.

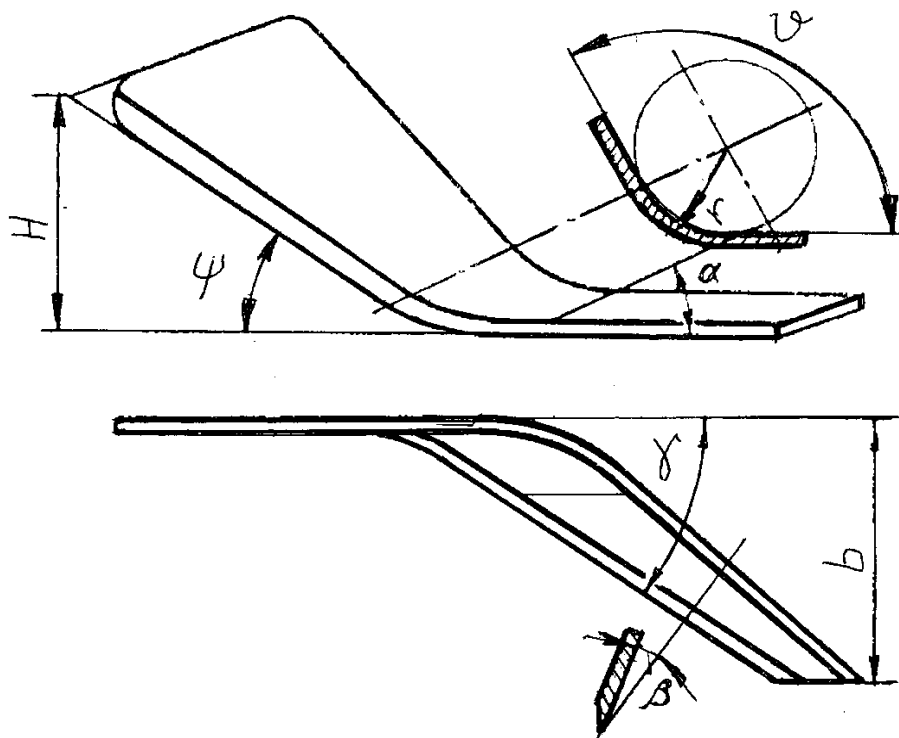


Рис. 3.1. Схема параметрів однобічної культиваторної лапи

3.3. Методика проектування однобічної культиваторної лапи

3.3.1. Геометрична модель і зв'язок параметрів

При проектуванні однобічних лап з технології виготовлення висувається умова [69], щоб лезо щитка і лезо крила у розгортці становило пряму лінію (рис. 3.2).

Величина кута Ω , утвореного у розгортці перетином лез крила та щитка лапи, визначається значенням кутів ψ , α і γ_0 .

$$\Omega = 180 + \gamma_0 - (\psi + \alpha). \quad (3.1)$$

Щоб кут Ω дорівнював 180° , має бути рівність

$$\gamma_o = \psi + \alpha$$

Але кути γ_o і α , що входять в неї, не є вихідними при проектуванні, тому безпосередньо використовувати це рівняння неможливо.

Для вирішення даної задачі необхідно вивести таку залежність між кутами ψ, α і β , яка б забезпечувала визначення значення одного з цих кутів при довільному виборі значень двох інших і одночасне виконання умови $\Omega = 180^\circ$.

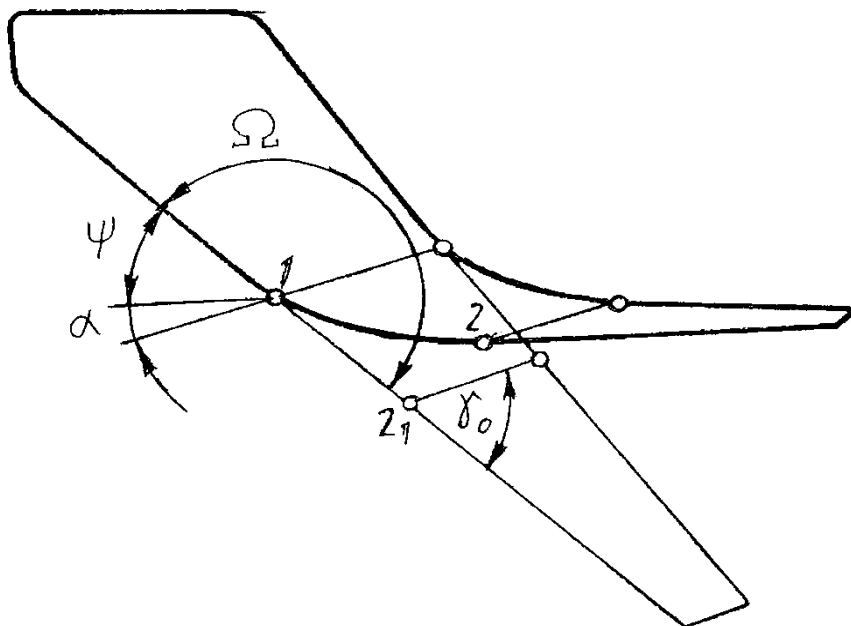


Рис. 3.2. Схема до встановлення співвідношень між геометричними елементами однобічної полольної лапи

Із схеми, наведеної на рис. 3.3, слідує

$$l \cos \gamma_o = r.$$

У свою чергу

$$l' \cos \gamma = r.$$

Враховуючи, що

$$l \cos \alpha = l',$$

отримуємо наступний вираз

$$\cos \gamma_o = \cos \alpha \cos \gamma . \quad (3.2)$$

Використовуючи залежність $\gamma_o = \psi + \alpha$ можна записати

$$\cos \gamma_o = \cos(\psi + \alpha) ,$$

звідки, враховуючи рівність (3.2):

$$\cos \alpha \cos \gamma = \cos \psi \cos \alpha - \sin \psi \sin \alpha ,$$

яка після перетворень дає

$$tg \alpha = \frac{\cos \psi - \cos \gamma}{\sin \psi} . \quad (3.3)$$

Із виразу (3.3) і враховуючи, що

$$tg \alpha = tg \beta \cdot \sin \gamma$$

отримаємо

$$tg \beta = \frac{\cos \psi - \cos \gamma}{\sin \psi \sin \gamma} . \quad (3.4)$$

3.3.2. Проектування проєкцій однобічної лапи

1. Задамося вихідними даними:

$$\Omega = 180^0 ; \quad \psi = 23 \div 25^0 ; \quad \gamma = 30 \div 32^0 ; \quad \beta = 13 \div 15^0 .$$

2. Приймаючи $\psi = 25^\circ$, $\gamma = 32^\circ$, підставляємо ці значення кутів ψ і γ в рівняння (3.4) отримаємо наступне:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\cos 25^\circ - \cos 32^\circ}{\sin 25^\circ \sin 32^\circ} = 0,260; \quad \beta = 14^\circ 40'.$$

Отримане значення кута β відповідає заданому. Цим закінчуємо вибір величини кутів ψ , γ і β , що забезпечують виконання умови - $\Omega = 180^\circ$.

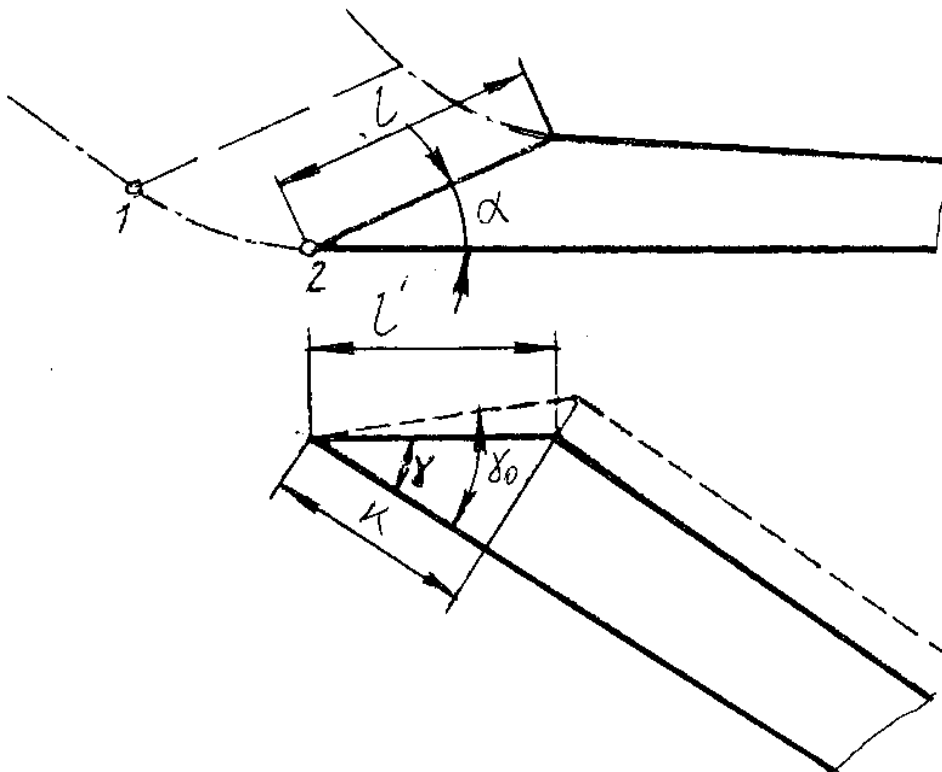


Рис. 3.3. Схема для виведення залежності (3.4)

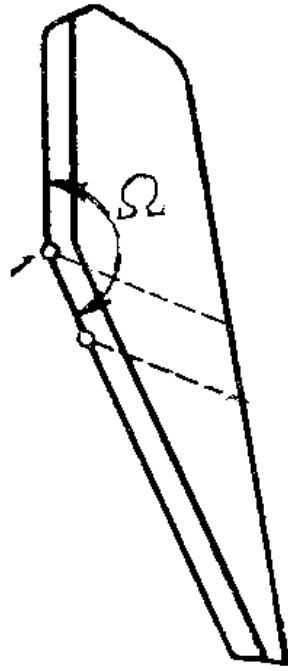


Рис. 3.4. Разгортка однобічної культиваторної лапи

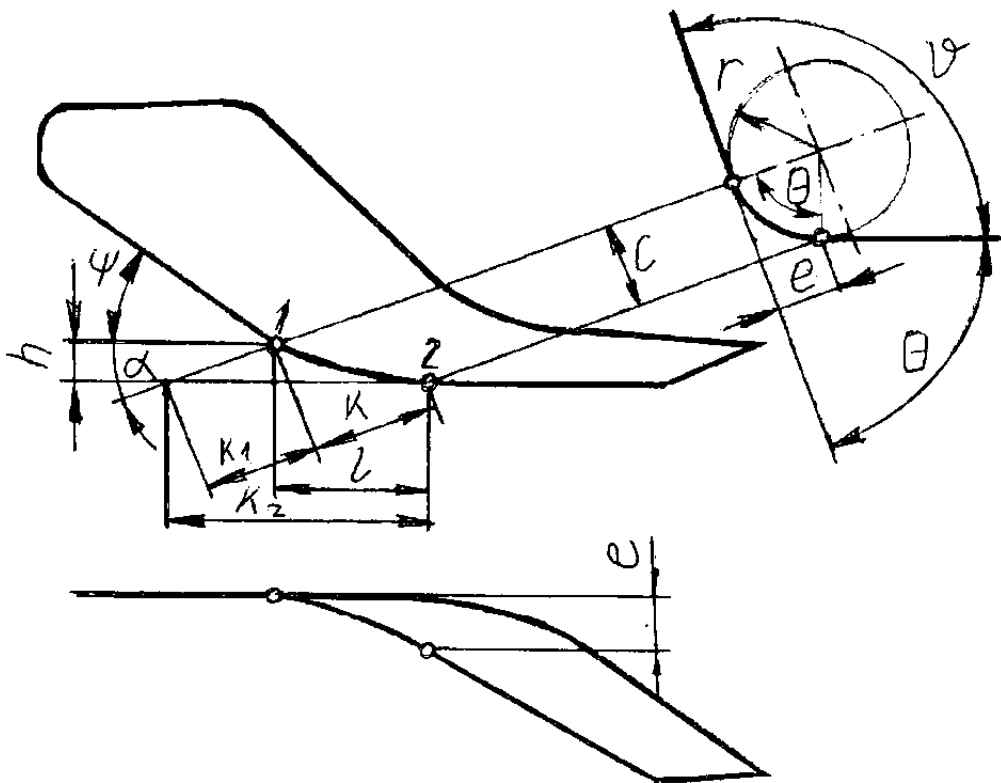


Рис. 3.5. Побудова проекції однобічної лапи культиватора

Примітка. Задане значення кутів ψ , γ і β , не завжди забезпечує рівність $\Omega = 180^\circ$. Для випадків $\Omega < 180^\circ$ розгортка буде мати форму, наведену на рис. 3.4. Для запобігання затримки бур'янів на перегині леза лапи вершину кута Ω слід поєднувати з початком перегину леза, тобто з точкою 1. Величину кута Ω , необхідну для побудови розгортки лапи, визначають із залежності (3.1).

3. Для побудови проєкцій лапи по задній неробочій поверхні визначаємо кути α , β і координати h , l і e точок 1 і 2 (рис. 3.5).

Величину кута α , що характеризує кут нахилу до горизонту циліндричної поверхні, яка сполучає щиток і крило, визначають за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \gamma$$

Кут ν дорівнює

$$\nu = 180 - \theta.$$

4. Визначаємо значення кута θ переходу від леза до щитка

$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \gamma}$$

Із схеми, наведеної на рис. 3.5:

$$e = r(1 - \cos \theta)$$

і

$$h = r_1 \sin \alpha = \left(\frac{c}{\operatorname{tg} \alpha} - r \right) \sin \alpha = \left(\frac{r \sin \theta}{\operatorname{tg} \alpha} - r \right) \sin \alpha; \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned}
 l &= r_2 - r_1 \cos \alpha = r_2 - \left(\frac{r \sin \theta}{\operatorname{tg} \alpha} - r \right) \cos \alpha = \frac{c}{\sin \alpha} - \left(\frac{r \sin \theta}{\operatorname{tg} \alpha} - r \right) \cos \alpha = \\
 &= \frac{r \sin \theta}{\sin \alpha} - \left(\frac{r \sin \theta}{\operatorname{tg} \alpha} - r \right) \cos \alpha.
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

5. Відрізок згідно з рис. 3.6 дорівнює

$$k = s \cdot \operatorname{ctg} \gamma_0,$$

але згідно залежності $\operatorname{ctg} \gamma = \frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$, тому $k = \frac{\pi r \theta \cos \beta}{180 \operatorname{tg} \gamma}$.

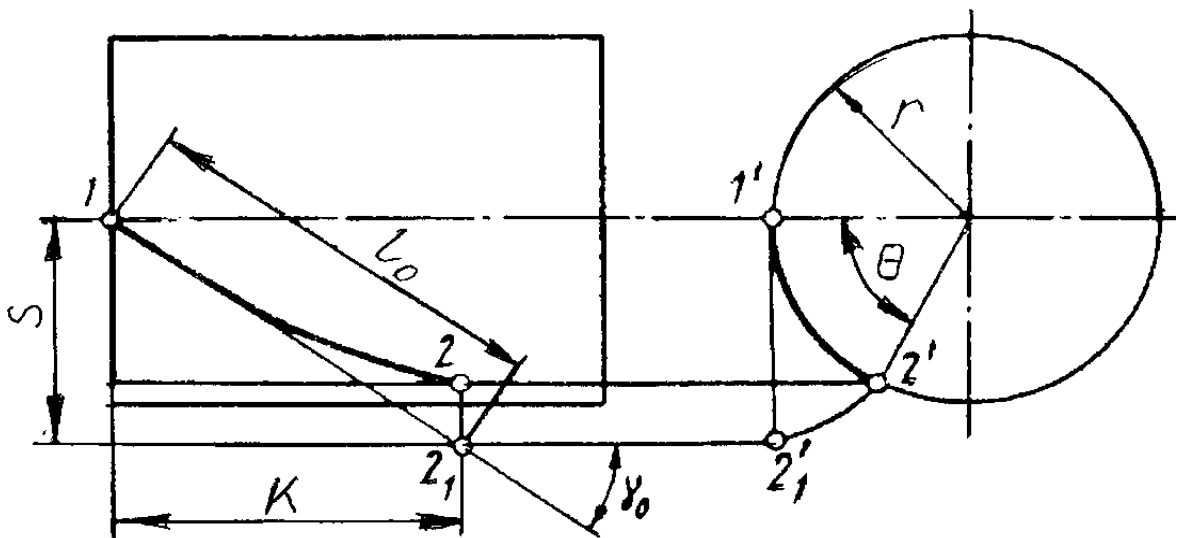


Рис. 3.6. Схема для визначення довжини відрізка k і розгортки однобічної культиваторної лапи:

1 і 2 - точки перегинання

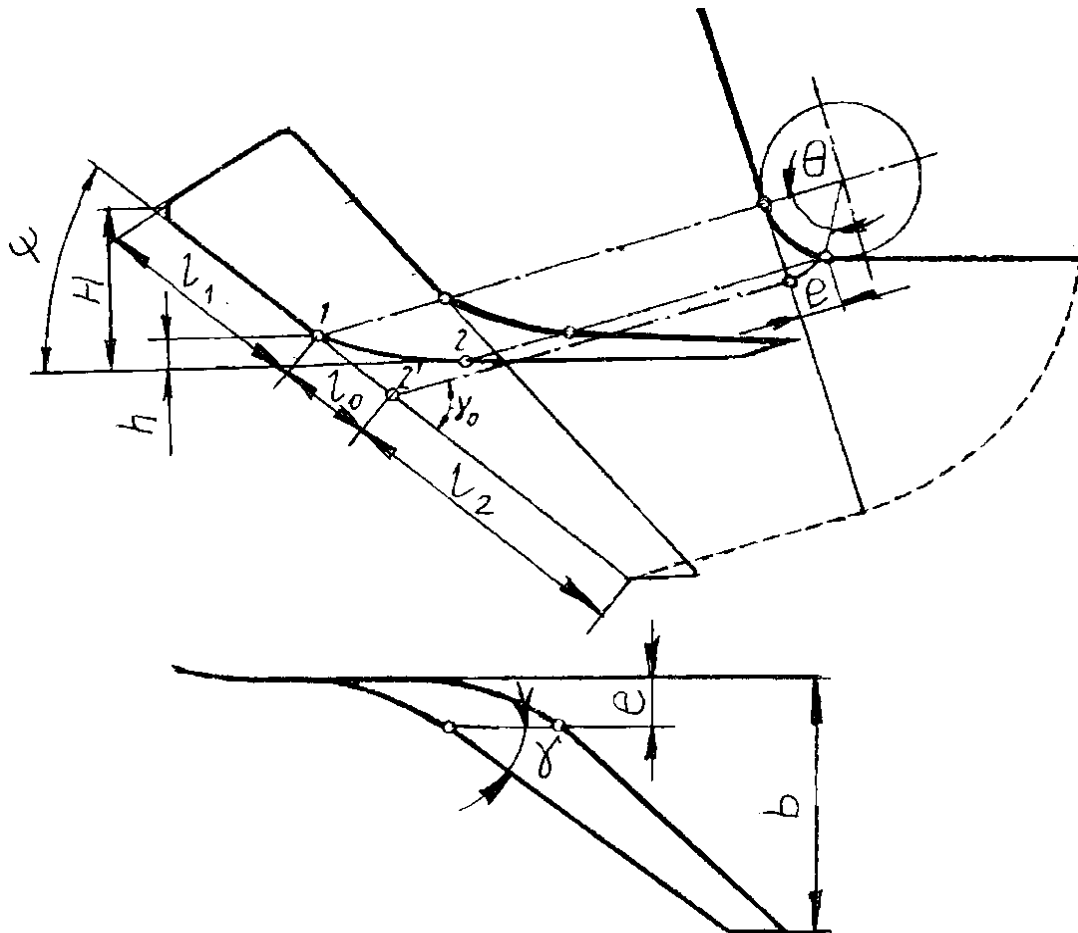


Рис. 3.7. Побудова розгортки однобічної полольної лапи

Підставляючи значення r в рівняння (3.5 і 3.6), отримуємо для визначення величин h і l :

$$h = r \sin \alpha \left(\frac{\sin \theta}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{\pi \theta \cos \beta}{180 \operatorname{tg} \gamma} \right); \quad l = r \left[\frac{\sin \theta}{\sin \alpha} - \cos \alpha \left(\frac{\sin \theta}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{\pi \theta \cos \beta}{180 \operatorname{tg} \gamma} \right) \right].$$

6. Для побудови розгортки лапи визначаємо розміри l_1, l_2 і l_3 . Із рис. 3.7 маємо

$$l_1 = (H - h) \frac{1}{\sin \psi}, \quad l_0 = \frac{\pi r_0 \theta}{180 \sin \gamma_0}, \quad (3.7)$$

де $r_o = r - \frac{\delta}{2}$ (тут δ - товщина матеріалу);

$$l_2 = (b - e) \frac{1}{\sin \gamma}$$

Для випадку $\Omega = 180^\circ$, якому відповідає $\gamma_o = \psi + \alpha$, вираз (3.7) може бути записано наступним чином:

$$l_o = \frac{\pi r_o \theta}{180 \sin(\alpha + \psi)}$$

Наведена методика лягла в основу конструкції однобічних культиваторних лап (бритв) [71], параметри яких наведені в табл. 3.1, а схема на рис. 3.8.

Таблиця 3.1

Конструктивні параметри однобічних культиваторних лап (бритв)

Ширина захвату b , мм	Кут розхилу γ , град	Кут кришіння β , град		Ширина крила, мм		Кут загострення i , град	Кут нахилу носка ψ , град	Висота носка щитка H , мм	Висота щитка H_1 , мм
		Початок	Кінець	Початок b_1	Кінець b_2				
85	30	5	15	35	50	12-15	$23^0 12'$	50	172
120	30	5	15	35	50	12-15	$23^0 12'$	50	172
150	30	5	15	35	50	12-15	$23^0 12'$	50	172
165	30	5	15	40	50	12-15	$23^0 12'$	50	172
165	30	5	15	50	60	12-15	$23^0 12'$	50	172
250	30	5	15	60	70	12-15	$23^0 12'$	50	172

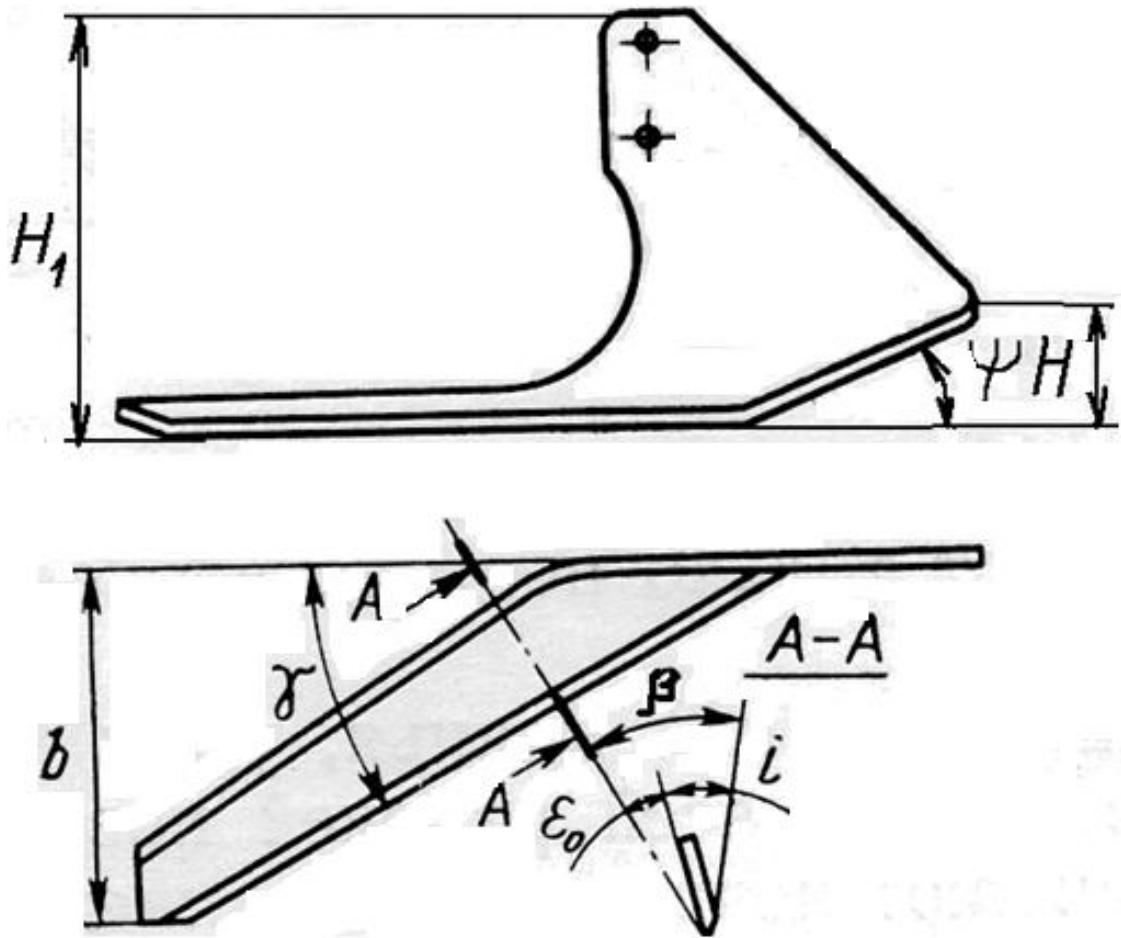


Рис. 3.8. Загальний вигляд і конструктивні параметри однобічної культиваторної лапи (бритви)

4. ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПУШУВАЛЬНИХ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП СПЕЦІАЛЬНИХ ФОРМ

4.1. Проектування культиваторних лап з випуклою поверхнею

4.1.1. Технологічні основи

В основу таких робочих органів покладені основні технологічні вимоги:

- агротехнічні вимоги до розпушування ґрунту;
- фізико-механічні властивості ґрунту.

Робочий орган повинен забезпечувати розпушування ґрунту до дрібно-грудкуватої структури без виносу нижніх шарів ґрунту на денну поверхню поля і рівну неуцільнену підшву [7, 8].

Розпушування ґрунту багато в чому визначається формою робочого органа. На рис. 4.1 наведено розпушування ґрунту деформаторами трикутного і напівкруглого перетину [6].

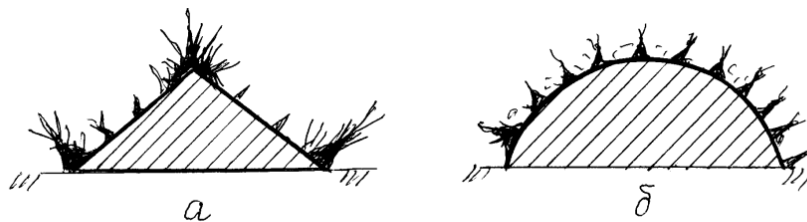


Рис. 4.1. Розпушування ґрунту деформаторами різного профілю:
a - трикутний; *б* – опуклий

Як видно з рисунка, деформатор трикутного перетину викликає в ґрунті три основні тріщини - одна утворюється при вершині, а дві інші розташовуються з боків. У свою чергу деформатор, що має опуклий перетин у вигляді кола, викликає серію дрібних тріщин, які рівномірно

розташовуються по перетину. В обох випадках ґрунт руйнується за рахунок деформацій розтягування, однак опуклий профіль викликає більш якісне розпушування.

У зв'язку з цим в основу розпушувальної лапи покладена опукла поверхня, хоча при цьому леза лапи зберігають прямолінійну форму.

4.1.2. Визначення вихідних параметрів

Основними параметрами поверхні лапи є [52]:

- форма поверхні в поздовжньо-вертикальній площині (збоку);
- форма поверхні в поперечно-вертикальній площині;
- ширина захвату, мм;
- кут нахилу грудей, град;
- кут розхилу крил, град;
- виліт носка лапи, мм.

Дослідженнями [7] встановлено, що параметри поверхні лапи повинні знаходитися в наступних межах.

Найкраще подрібнення ґрунту забезпечується розпушувачами середньої ширини $B = 100-150$ мм, з бічним профілем, виконаним за формою логарифмічної спіралі, і поперечним - по дузі кола.

Відповідно до теорії міцності Кулона-Мору, основним показником механічної міцності ґрунту є кут внутрішнього тертя ґрунту, тому дно борозни виходить рівним і неущільненим при куті встановлення лапи до дна борозни

$$\alpha \leq 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2},$$

де φ - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

Найбільший нахил бічного профілю до дна борозни не повинен перевищувати $90 - \varphi_2$ з умови нормального сходження ґрунту і бур'янів з робочого органа. Цій умові задовольняє точка переходу бічного профілю, виконаного за логарифмічною спіраллю, у вертикальну пряму.

Висота грудей лапи Δh і виліт її носка L залежать від стану ґрунту, який визначається кутом внутрішнього тертя ґрунту і глибиною ходу робочого органа.

Так як кут внутрішнього тертя ґрунту залежить від його вологості, то можна зробити висновок, що для забезпечення високої якості розпушування ґрунтів різного стану необхідно мати як мінімум два типи розпушувачів: для сухих і вологих ґрунтів.

4.1.3. Визначення основних геометричних параметрів моделі поверхні лапи

Бічний профіль розпушувальної лапи лапи в поздовжньо-вертикальній площині [7, 52] виконується по логарифмічній спіралі

$$r_i = r_0 e^{\pm \theta_i \operatorname{tg} \varphi_2}, \quad (4.1)$$

де r_i - поточний радіус-вектор, мм;

θ_i - поточний полярний кут, рад.;

r_0 - початковий радіус-вектор, мм;

φ_2 - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.;

e - основа натурального логарифма.

Полюс логарифмічної спіралі O_1 приймається на денній поверхні (рис. 4.2).

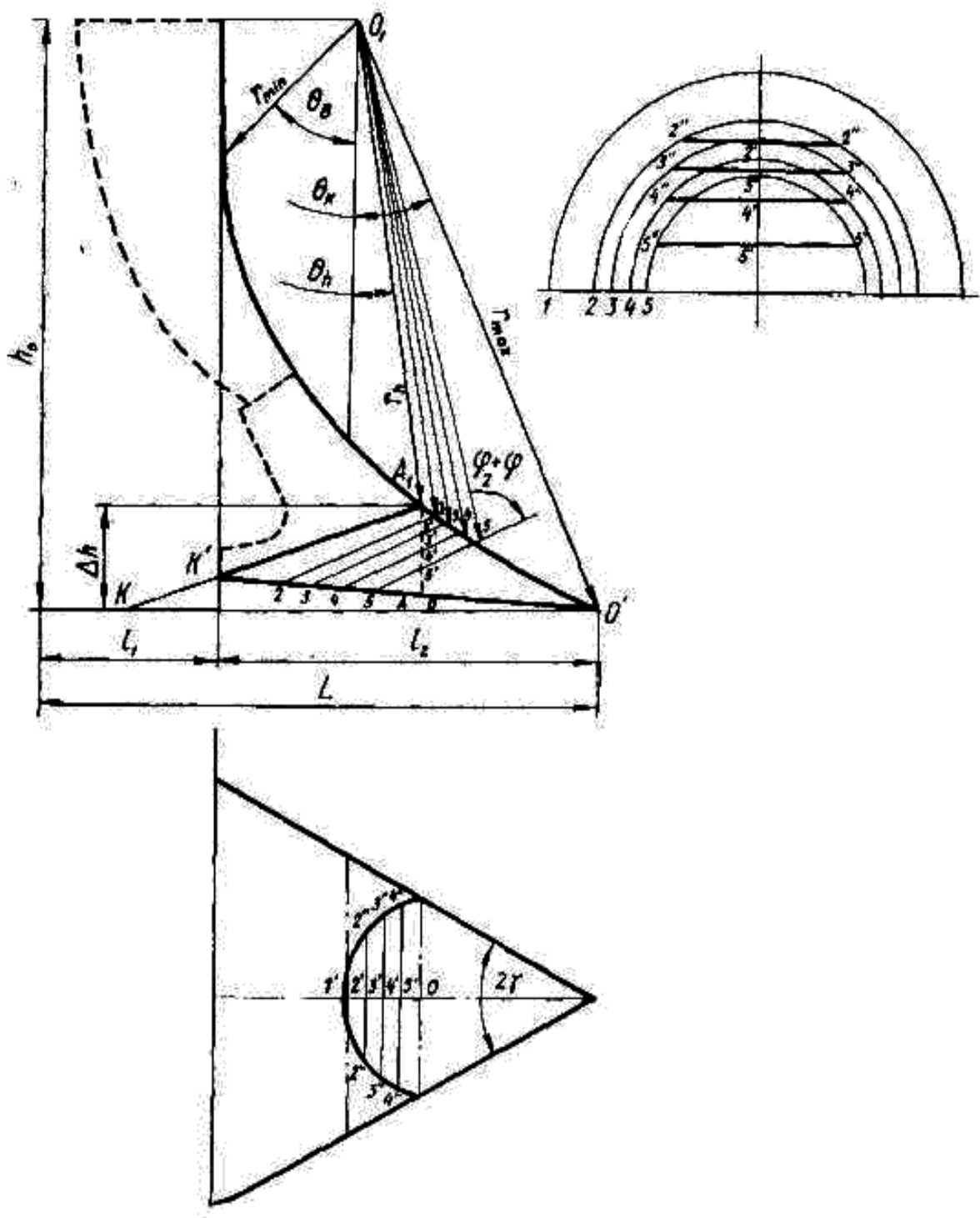


Рис. 4.2. Схема до побудови опуклої поверхні культиваторної лапи

У рівнянні (4.1) знак «плюс» приймається для значень θ_i в області θ_h , знак «мінус» - в області θ_0 .

Розхил лез лапи на горизонтальній площині визначається кутом 2γ .

Верхня частина бічного профілю, що виконана за формою логарифмічної спіралі, обмежується точкою C і визначається кутом $\theta_в$. Від точки C боковий профіль переходить у вертикальну пряму.

Кути $\theta_н$ і $\theta_в$ можуть бути визначені за формулами

$$\begin{aligned}\theta_н &= \frac{3}{2}\varphi_2 - 45^\circ; \\ \theta_в &= 90^\circ - \varphi_2.\end{aligned}\tag{4.2}$$

Повний кут, який визначає логарифмічну частину бічного профілю, дорівнює сумі кутів $\theta_н$ і $\theta_в$

$$\theta = \theta_н + \theta_в = 45^\circ + \frac{\varphi_2}{2}.\tag{4.3}$$

Ці кути залежать тільки від кута внутрішнього тертя, тобто від типу і стану ґрунту.

Для побудови бічного профілю необхідно мати значення початкового радіус-вектора r_0 , яке визначається із співвідношення

$$r_0 = \frac{h_0}{e^{\theta_н \operatorname{tg} \varphi} \cos \theta_н}.\tag{4.4}$$

Зауважимо, що для заданого значення глибини ходу робочого органа величина початкового радіус-вектора бічного профілю робочого органа залежить тільки від стану ґрунту.

Одним з основних параметрів розпушувальних робочих органів є виліт його носка L відносно стояка. З рис. 4.2 видно, що

$$L = l_1 + l_2; \quad (4.5)$$

$$L = h_0 \left(\operatorname{tg} \theta_h + \frac{\cos \varphi}{e^{\theta_h \operatorname{tg} \varphi} \cdot e^{\theta_h} \cdot \cos \theta_h} \right). \quad (4.6)$$

З рівняння (4.6) видно, що виліт носка робочого органа залежить від стану ґрунту і глибини його обробітку.

Оптимальна ширина лапи розпушувальної пов'язана з висотою грудей лапи Δh , що визначається кутом θ_h .

$$\Delta h = h_0 \left(1 - \frac{e^{\pm \theta_h \operatorname{tg} \varphi_2} \cos \theta_h}{e^{\theta_h \operatorname{tg} \varphi_2} \cos \theta_h} \right). \quad (4.7)$$

Рівність, що однозначно зв'язує кут φ_2 , який визначає висоту грудей лапи, з шириною робочого органа і станом ґрунту при заданій глибині h_0 , має вигляд

$$B \cos(\varphi_2 + \varphi_1 - \theta_h) = 2\Delta h, \quad (4.8)$$

де φ_1 - кут зовнішнього тертя ґрунту, град.

4.1.4. Методика проектування розпушувальної лапи з випуклою поверхнею

Робочий орган проектується для конкретного стану ґрунту, який визначається кутом його внутрішнього тертя. Методика наведена на прикладі проектування лапи для обробітку ґрунту вологістю 15-17 % ($\varphi_2 = 45^\circ$) і глибині ходу - 200 мм [52].

1. Полюс логарифмічної спіралі O_1 бічного профілю вибирають в будь-якій точці на денній поверхні поля.

2. За формулами (4.2) визначаємо кути θ_n

$$\theta_n = \frac{3}{2}\varphi_2 - 45^\circ = 20^\circ 30'; \quad \theta_g = 90^\circ - \varphi_2 = 45^\circ.$$

3. Від вертикалі, проведеної через полюс спіралі, відкладаємо кути: вправо $\theta_n = 22^\circ 30'$, вліво $\theta_g = 45^\circ$.

4. За формулою (4.4) визначаємо початковий радіус-вектор r_0

$$r_0 = \frac{h_0}{e^{\theta_n \operatorname{tg} \varphi \cos \theta_n}} = 147 \text{ мм}$$

логарифмічної спіралі бічного профілю лапи, який відкладаємо від полюса по вертикалі вниз.

5. Кути θ_n і θ_g ділимо променями на n частин. Зі збільшенням числа частин n точність побудови бічного профілю поверхні лапи збільшується.

6. Визначаємо значення поточних радіусів-векторів за виразом 4.1

$$r_i = r_0 e^{\pm \theta_i \operatorname{tg} \varphi}$$

Наприклад, радіус-вектор, що відповідає полярному куту $\theta_i = 5^\circ$ (0,0873 рад.), дорівнює

$$r_5 = r_0 e^{\theta_i \operatorname{tg} 45^\circ} = 14,7 e^{0,0873 \cdot 1,0} = 160 \text{ мм.}$$

Інші значення поточних радіусів-векторів наведені в табл. 4.1.

7. Значення радіус-векторів відкладаємо від полюса на відповідних променях, кінці їх з'єднуємо плавною кривою і отримуємо бічний профіль у вигляді логарифмічної спіралі.

Таблиця 4.1

Значення полярного кута θ і радіус-вектора r

Полярний кут θ , град	-45	-30	-15	0	10	15	20	22°30'
Радіус-вектор r_i , мм	66	85	114	147	175	191	209	219

8. До верхньої точки логарифмічної частини бічного профілю лапи проводимо вертикальну пряму, що є продовженням бічного профілю лапи.

9. Визначаємо величину вильоту носка лапи L

$$L = h_0 \left(\operatorname{tg} \theta_n + \frac{\cos \varphi}{e^{\theta_n \operatorname{tg} \varphi} \cdot e^{\theta_n} \cdot \cos \theta_n} \right) = 130 \text{ мм.}$$

10. За формулою (4.8) визначаємо величину кута $\theta_n = 12^\circ$.

11. Під кутом $\varphi_2 + \varphi_1$ від точки A (рис. 4.2) проводимо промінь AK до перетину з кривою бічного профілю. Відстань від точки перетину променя з профілем до носка лапи у вертикальній площині є висота грудей лапи - $\Delta h = 27$ мм.

12. Від точки A променя AK відкладаємо пів ширини захвату лапи AK' , рівну 75 мм і визначаємо проекцію довжини леза l на вертикальну площину, $l = 120$ мм.

13. Визначаємо кут розхилу лапи 2γ

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,5B}{l} = \frac{7,5}{12} = 0,52, \gamma = 30^{\circ}, \text{ тоді } 2\gamma = 60^{\circ}.$$

14. Для контролю поперечного профілю лапи та виготовлення оснащення будуємо поперечні перерізи поверхні лапи. На рис. 4.2 показана методика побудови шаблону для перерізу AA, яка полягає в наступному:

а) на бічному профілі вибираємо чотири-п'ять точок (при більшій кількості точок шаблон буде більш точним) за січними площинами 2, 3, 4 справа, які променями з'єднуємо з полюсом;

б) через точки 1, 2, 3 і т. д. бічного профілю проводимо сліди січних площин 1-1, 2-2, 3-3 і т. д., які утворюють кут 2φ з відповідними променями, до перетину з проекцією леза; тоді відстані 1-1, 2-2 і т. д. є не що інше, як половина ширини робочого органа у цих площинах;

в) для визначення ширини шаблону в точках перетину сліду площини AA з площинами 1-1, 2-2 і т. д. проводимо півкола з одного центру радіусами 1-1, 2-2, 3-3 і т. д.;

г) на вертикальній осі відкладаємо відстані 0-4', 0-3', 0-2', 0-1';

д) через отримані точки 1', 2', 3' і т. д. проводимо горизонтальні прямі 2''-2'', 3''-3'' і т. д. до перетину з відповідною дугою півкола; отримані відстані 2''-2', 3''-3' і т. д. є половина ширини шаблону поперечного профілю лапи у відповідному перетині;

е) на вертикальній осі шаблону відкладаємо відстані 0-1', 0-2' і т. д.; від отриманих точок 1', 2' і т. д. відкладаємо горизонтально і симетрично вертикальній осі відстані 2''-2', 3''-3' і т. д.;

ж) точки 1'', 2'' і т. д. з'єднуємо плавною кривою і отримуємо поперечний переріз поверхні у вигляді шаблону.

У випадку, коли ширина шаблону в нижній частині виявиться меншою - нижню частину шаблону проводимо по дотичній до точки найбільшої його ширини.

Аналогічно будуємо шаблони поперечного профілю лапи в поперечно-вертикальних площинах.

Конструктивні параметри робочого органа визначаємо з умов міцності та за існуючими нормативними даними.

4.2. Проектування розпушувальних лап із увігнутою поверхнею

4.2.1. Технологічні основи

Багато ґрунтів погано піддаються подрібненню напруженням розтягування, як це відбувається під час роботи стрілочастих і опуклих культиваторних лап, тому для забезпечення розпушування слід застосувати інший принцип руйнування ґрунту. Такий принцип створює стискання ґрунту робочою поверхнею органа [7]. Стискання ґрунту легко здійснити увігнутою поверхнею робочого органа так, як це показано на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Схема руйнування ґрунту стисканням увігнутою поверхнею робочого органа

Як видно з рис. 4.3, нормалі до перерізу поверхні N_1 і N_2 в точці перетину O утворюють зону, де відбувається інтенсивне розпушування ґрунту. На підставі цього, до лап висувають наступні агротехнічні вимоги:

- деформація ґрунту не повинна проникати нижче ходу лапи;
- ґрунт перед робочим органом не повинен ущільнюватися.

4.2.2. Геометрична модель поверхні

Як увігнуту поверхню лапи культиватора, можна використати відсік поверхні третього порядку з двома сімействами кругових твірних [82, 83]. В основу геометричної моделі робочої поверхні розпушувальної лапи покладені наступні міркування.

1. Для того, щоб деформація ґрунту не проникала нижче ходу робочого органа, необхідно, щоб його каркас ліній k_1 складався з дуг кіл

$$r = h \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{6} \right).$$

2. Для зменшення ущільнення ґрунту перед робочим органом зазначені дуги кіл повинні бути лініями напруження ґрунту по поверхні розпушувача. При цьому, виходимо з положення, що каркас кругових твірних зумовлює лінії ковзання.

Зазначені вимоги реалізуються поверхнею третього порядку двома сімействами кругових твірних.

Серед численних способів конструювання циклічних поверхонь можна виділити спосіб [83], за допомогою якого можна конструювати поверхні з наперед заданими орієнтуванням кругових твірних.

Використовуємо в якості робочої поверхні розпушувального органа культиватора поверхні третього порядку з двома сімействами кругових твірних (рис. 4.4).

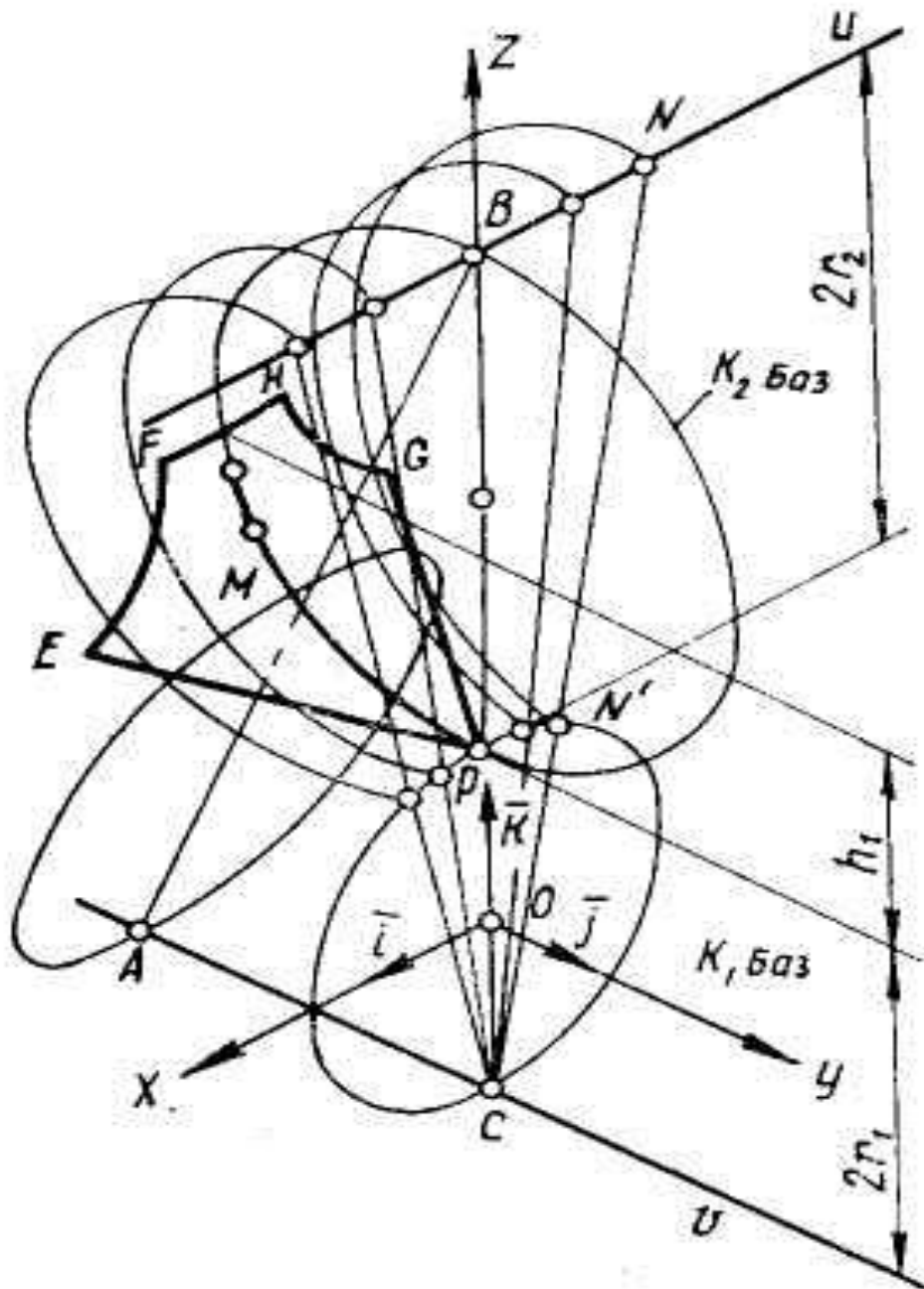


Рис. 4.4. Схема проектування поверхні розпушувальної лапи на базі увігнутої поверхні з круговими твірними

На зазначеній поверхні - площині кругових твірних одного сімейства пройдуть через пряму u , іншого – через пряму v . При використанні відсіку такої поверхні для розпушування ґрунту прямі u і v взаємно перпендикулярні і схрещуються. Якщо BC - найкоротша відстань між прямими u і v , то рівняння поверхні має вигляд

$$(x^2 + z^2 - r_1)(r_1 + 2r_2 - z) - y^2z - r_1y^2 = 0,$$

де r_1 - радіус кола K_{1BA3} , в центрі якої розміщено початок координат;

r_2 - радіус кола K_{2BA3} .

На наведеній поверхні через точку P проходять дві прямі, кутові коефіцієнти яких дорівнюють

$$\operatorname{tg} \gamma = \pm \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}$$

і прийняті для розпушувальної лапи за лезо.

4.2.3. Методика проектування лапи з увігнутою поверхнею

Розпушувальну лапу проектуємо для конкретної глибини розпушування h і конкретного стану ґрунту, що характеризується кутом внутрішнього тертя φ_2 .

Відповідно до геометричної моделі поверхні, запропонована наступна методика [83] проектування робочої поверхні розпушувальних лап з увігнутою поверхнею.

1. Визначаємо радіус r_2 базового кола K_{2BA3} за формулою

$$r_2 = h - 1/5h,$$

де h - глибина розпушування, мм.

2. Визначаємо кут розхилу лез лапи 2γ як

$$\gamma = 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2},$$

де φ_2 - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

3. Радіус r_1 базового кола $K_{1БАЗ}$ визначаємо за формулою

$$r_1 = \frac{r_2}{\operatorname{tg}^2 \gamma}.$$

4. Будуємо поверхню розпушувача в такій послідовності.

З точки C проводимо ряд променів, наприклад CN . На відрізку (N_1 і N_2 - точки перетину променя з базовими колами $K_{1БАЗ}$ і $K_{2БАЗ}$), як на діаметрі. Будуємо коло в площині перпендикулярній площині базової кола $K_{1БАЗ}$. Сімейство таких кіл і є поверхню, на якій викроємо розпушувальну лапу.

5. Ширину лапи EG визначаємо точками леза E і G , в яких кут нахилу дотичних кругових твірних K_2 з площиною леза рівний $45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}$.

6. Висота грудей h_1 лапи дорівнює $0,3h$.

7. Лінії ґрунтової кишені EF і GH визначаємо наступним чином. Лінію EF і їй симетричну GH записуємо двома рівняннями

5. ПРОЕКТУВАННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП З КРИВОЛІНІЙНИМ ЛЕЗОМ

5.1. Технологічні основи

Основною проблемою, що виникає при роботі стрілочастих культиваторних лап, є нависання бур'янів на кінцях крил. Це нависання приводить до різкого погіршення агротехнічних показників, наприклад, глибини обробітку [22, 31].

Традиційно робочі органи типу лапа мають прямолінійне лезо, тому розглянемо рух частинки по прямолінійному лезу. Під частинкою будемо розуміти або бур'ян, що вступив в повний контакт з лезом, або частинку ґрунту, що рухається по лезу.

Розглянемо сили, що діють на частинку при русі по лезу.

При розгляді сил приймемо такі теоретичні припущення:

- грудка ґрунту або рослинні залишки являють собою частинку маси, яка зосереджена в її центрі ваги;
- розміри частинки малі порівняно з розмірами робочого органа;
- рух робочого органа відбувається з постійною швидкістю.

Тоді швидкість руху ґрунту при потраплянні на лезо культиваторної лапи можна у відповідності зі схемою, зображеною на рис. 5.1, *a* (в разі прямолінійного леза) розкласти на дві складові:

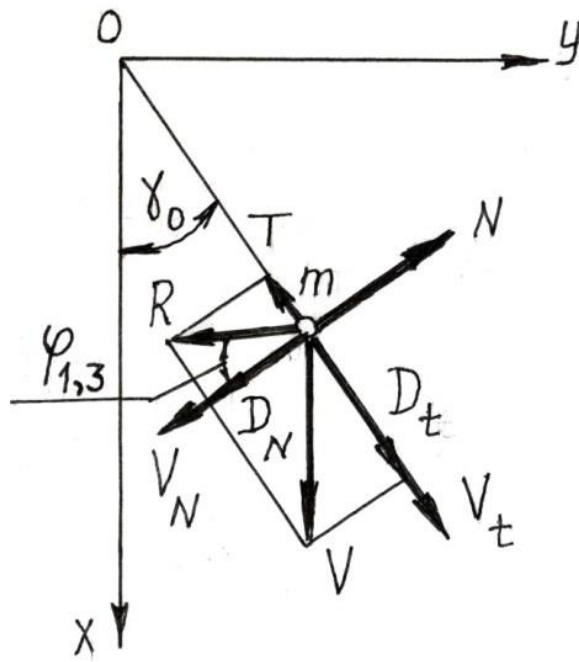
- тангенціальну, яка спрямована по лезу лапи:

$$V_t = V \cos \gamma_0 \quad , \quad (5.1)$$

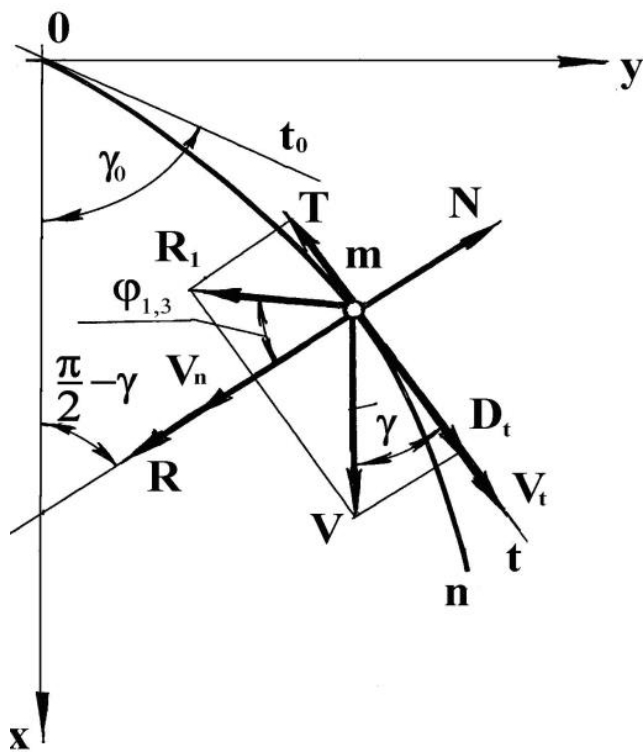
- нормальну, спрямовану по нормалі до леза N :

$$V_N = V \sin \gamma_0 \quad , \quad (5.2)$$

де γ_0 - кут між лезом лапи і віссю Ox , яка збігається з напрямком руху, град.



a



б

Рис. 5.1. Схема сил, що діють на бур'ян або частинку при русі по лезу лапи:
a - прямолінійне лезо; *б* - криволінійне лезо

При переміщенні на частинку будуть діяти сили, викликані динамічним тиском ґрунту, що рухається, які з урахуванням виразів (5.1) і (5.2) будуть такими:

- тангенціальна складова сили динамічного тиску:

$$D_t = D \cdot \cos \gamma_0 = \rho \cdot s_0 \cdot V^2 \cos \gamma_0 = \rho \cdot s_0 \cdot V_t^2 \quad (5.3)$$

- сила тертя:

$$T = f \cdot N = f \cdot D \cdot \sin \gamma_0 = f \cdot \rho \cdot s_0 \cdot V^2 \sin \gamma_0 = f \cdot \rho \cdot s_0 \cdot V_N^2 \quad (5.4)$$

де ρ - щільність ґрунту, кг/м³ ;

s_0 - площа поперечного перерізу частинки, м² ;

N - нормальна сила реакції, Н;

f - один з коефіцієнтів тертя: ґрунту по металу f_1 , або бур'яну по металу f_3 , відн. од.

Згідно схеми, сила тангенціальна, складова сили динамічного тиску, переміщує бур'ян або частинку уздовж леза, а сила тертя - гальмує. Тому можна записати таке рівняння руху частинки масою m по прямолінійному лезу лапи:

$$m \frac{d^2 \eta}{dt^2} = D_t - T, \quad (5.5)$$

де η - координата переміщення частинки по лезу, м.

Швидкість руху ґрунту по прямолінійному лезу лапи не є постійною - вона зменшується при наближенні до стінки. Це явище відзначено багатьма авторами, наприклад [14] і тому в диференціальне рівняння руху

частинки (5.5) необхідно ввести третій член, що враховує зменшення швидкості частинки $\frac{d\eta}{dt}$, викликане впливом стінки борозни [78]. У цьому випадку рівняння руху частинки (5.5) буде виглядати наступним чином:

$$m \frac{d^2\eta}{dt^2} = D_t - T - k \frac{d\eta}{dt},$$

де k - коефіцієнт зниження швидкості руху частинки під дією стінки борозни.

Маючи на увазі, що

$$\frac{d^2\eta}{dt^2} = \frac{dV_t}{d\eta} \cdot \frac{d\eta}{dt} = \frac{dV_t}{d\eta} \cdot V_t$$

отримаємо наступне рівняння руху

$$m \frac{dV_t}{d\eta} = D_t - T - kV_t \quad (5.6)$$

Підставляючи вирази (5.3) і (5.4) (5.6) отримаємо диференціальне рівняння руху частинки:

$$\frac{dV_t}{d\eta} = \frac{1}{mV_t} (\rho \cdot s_0 \cdot V^2 \cos \gamma_0 - f \cdot \rho \cdot s_0 \cdot V^2 \sin \gamma_0 - kV_t).$$

Після інтегрування отриманого рівняння отримаємо наступний вираз

$$\frac{1}{k^2} [A(1 - \ln|A - kV_t|) - kV_t] + C_1 = \eta + C_2,$$

де $A = \rho \cdot s_0 \cdot V^2 (\cos \gamma_0 - f \cdot \sin \gamma_0)$.

Постійні інтегрування визначаємо з початкових умов, до яких відносяться - початкова тангенціальна швидкість руху частинки $V_{t0} = V \cos \gamma_0$ і початкова координата положення частинки η_0 .

На рис. 5.2 зображені графіки тангенціальної швидкості руху бур'янів по лезу у функції координати η , залежно від переміщення частинки по лезу.

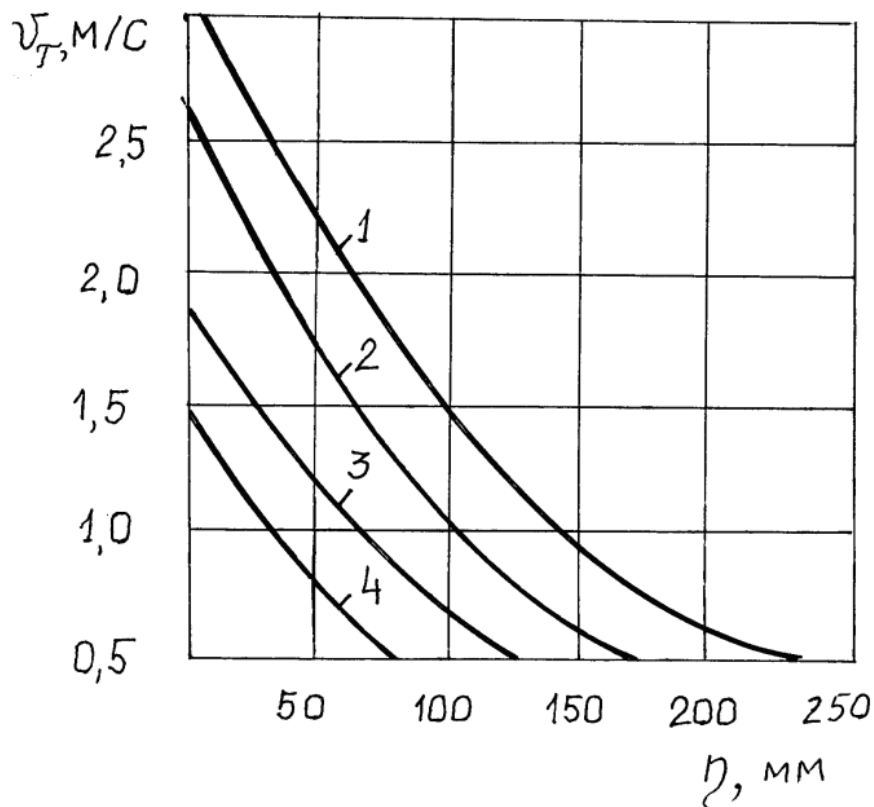


Рис. 5.2. Залежність швидкості руху частинки від переміщення по прямолінійному лезу з початковою швидкістю:

1 - $V = 3$ м/с; 2 - $V = 2,59$ м/с; 3 - $V = 1,82$ м/с; 4 - $V = 1,5$ м/с

При розрахунку графіків швидкості руху бур'янів по лезу лапи були прийняті наступні значення: маса бур'янів, які перебувають на лапі $m = 0,049$ кг; щільність ґрунту $\rho = 1400$ кг/м³; площа бур'яну $s_0 = 0,0015$ м²; кут розхилу крила лапи $\gamma_0 = 30^\circ$; коефіцієнт тертя бур'яну по металу після повного контакту з лезом лапи $f_3 = 0,73$; коефіцієнт зменшення швидкості від впливу стінки борозни $k = 0,95$. Як видно з рис. 5.2, швидкість руху бур'янів по лезу лапи по мірі їх просування (переміщення) зменшується.

На рис. 5.3 наведені сили динамічного тиску ґрунту D_t і тертя T залежно від переміщення бур'яну по лезу лапи і швидкості руху культиватора для попередніх значень.

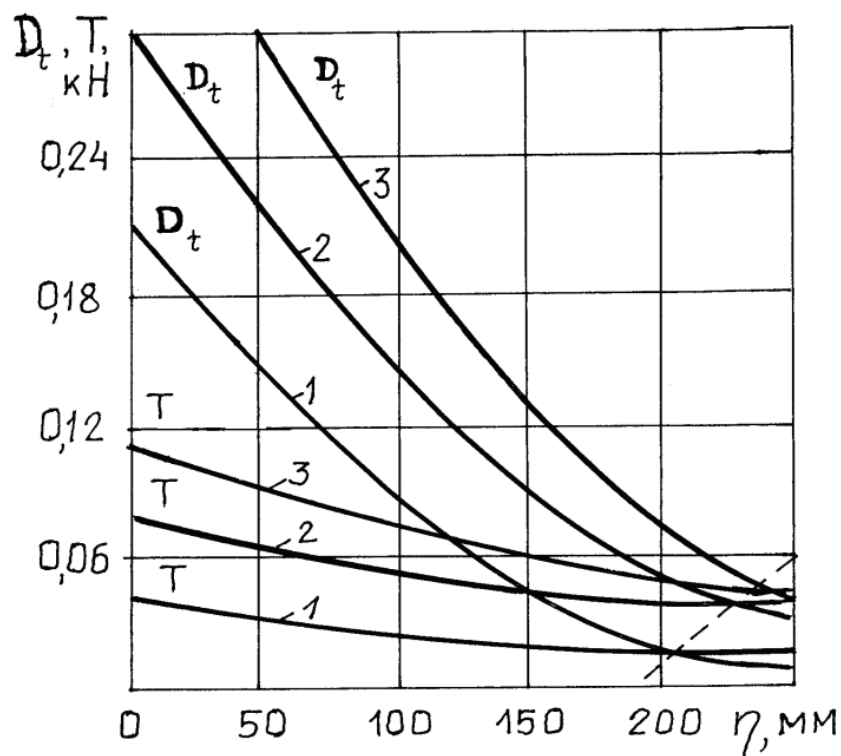


Рис. 5.3. Сили, що діють на бур'ян, з урахуванням зменшення швидкості руху під впливом стінки борозни, коли лезо прямолінійне:

$$1 - V = 1,8 \text{ м/с}; 2 - V = 2,2 \text{ м/с}; 3 - V = 3,02 \text{ м/с}$$

Як видно з рис. 5.3, перетин графіків D_t і T дає рівність сил, коли переміщення бур'яну по лезу культиваторної лапи припиняється. Таким чином, зменшення швидкості руху бур'яну під дією стінки борозни призводить до рівності сил, які діють на бур'ян у поздовжньому напрямку, що спричиняє зависання бур'янів на культиваторних лапах. Для того щоб забезпечити сходження бур'янів з крила лапи необхідно по мірі наближення їх до кінця крила посилювати динамічний тиск потоку ґрунту. Таке посилення можна забезпечити за рахунок того, що лезо виконано у вигляді кривої лінії і опуклістю спрямовано по ходу руху лапи [75]. У цьому випадку тангенціальна швидкість руху бур'яну t , спрямована по дотичній (див. рис. 5.1, б) буде збільшуватися, оскільки кут нахилу дотичної буде зменшуватися.

Розглянемо тепер рух частинки по криволінійному лезу. У цьому випадку виникає нормальне прискорення

$$a_N = \frac{V_t^2}{R(s)} = \frac{V_t^2 \cos^2 \gamma}{R(s)}, \quad (5.6.a)$$

де $R(s)$ - радіус кривизни в функції довжини дуги s .

У цьому випадку нормальна сила реакції дорівнює

$$N = m_0 a_n = \frac{m_0 V_t^2}{R(s)} = \frac{m_0 V \cos^2 \gamma}{R(s)}.$$

Позначивши для зручності $k_0 = \rho \cdot s_0$, запишемо динамічне рівняння руху частинки по лезу лапи:

$$m_0 \frac{dV_t}{dt} = D_t - T = D_t - f \cdot N.$$

Представивши значення нормальної реакції N і враховуючи, що $dt = \frac{V_t}{ds}$, можна записати рівняння руху частинки по криволінійному лезу наступним чином:

$$m_0 \cdot V_t \cdot \frac{dV_t}{ds} = k_0 V_t^2 - f \frac{m_0 V_t^2}{R(s)}.$$

Враховуючи, що кривизна дорівнює:

$$\frac{d\gamma}{ds} = \frac{1}{R(s)},$$

виконавши перетворення та інтегрування, отримаємо вираз, що описує лезо лапи:

$$y = \frac{1}{A} \times [x \ln x B - 2(x + B + A) \times \ln(x + B + A)], \quad (5.6.6)$$

де $A = \sqrt{2ctg\gamma_0 + f \frac{m_0^2}{k_0^2} (\sin\gamma_0 + \cos\gamma_0)^2}$, $B = f \frac{m_0}{k_0} (\sin\gamma_0 + \cos\gamma_0)$.

Якщо розглянути дію сил динамічного тиску ґрунту і тертя на бур'ян у загальному вигляді, то можна побудувати наступні графіки, у функції кута γ , зображені на рис. 5.4. При розгляді графіків приймемо до уваги тільки силу динамічного тиску ґрунту і силу тертя, так як сила інерції, викликана кривизною леза і зменшення швидкості руху від впливу стінки буде незначною.

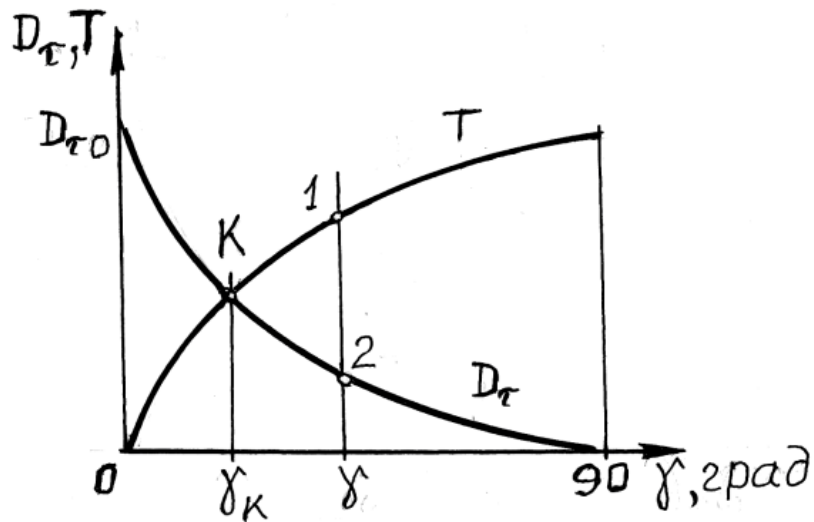


Рис. 5.4. Графіки сил, що діють на бур'ян при переміщенні його по криволінійному лезу

При куті розхилу крила $\gamma=0$ сила динамічного тиску ґрунту D_t має максимальне значення $D_{t0} = D$, так як $\cos 0^\circ = 1$, при цьому сила тертя $T=0$ дорівнює нулю, так як $\sin 0^\circ = 0$. При збільшенні кута γ сила динамічного тиску ґрунту буде зменшуватися, а сила тертя - збільшуватися. Така поведінка сил призводить до того, що обидва графіки перетнуться у деякій точці K , коли значення сил будуть рівні $D_t = T$. Перетин графіків в точці K ділить значення кута γ на дві області. Перша область укладається між значеннями $\gamma=0 \dots \gamma_K$, де рух бур'яну забезпечується динамічним тиском ґрунту, коли $D_t \geq T$. Друга область укладається між значеннями $\gamma=\gamma_K \dots 90^\circ$, коли рух бур'яну неможливий через те, що $D_t < T$. Тому, значення початкового кута розхилу крил повинно знаходитися в межах $\gamma_K > \gamma > 0$.

Криволінійне лезо можна отримати у полярній системі координат, поєднавши полярну вісь з віссю Ox , а полярний центр - з центром декартової системи координат.

Прийнявши, що швидкість зменшення кута розхилу крила пропорційна самому куті, отримуємо:

$$\frac{d\varphi}{dr} = -W \cdot \varphi \quad (5.7)$$

де W - коефіцієнт пропорційності;

φ - полярний кут повороту радіус-вектора, рад.;

r - полярний радіус-вектор, мм;

Звідки отримуємо наступне рівняння леза

$$r = r_0 \cdot e^{-W \cdot \varphi}, \quad (5.8)$$

де r_0 - початковий радіус-вектор, мм.

Якщо прийняти, що коефіцієнт W дорівнює котангенсу кута θ між радіус-вектором і дотичною $W = \text{ctg}\theta$, отримуємо рівняння логарифмічної спіралі

$$r = r_0 \cdot e^{-\varphi \cdot \text{ctg}\theta}. \quad (5.9)$$

Перехід до декартової системи координат здійснюється за формулами:

$$x = r_0 e^{\varphi \text{ctg}\theta} \cos \varphi, \quad y = r_0 e^{\varphi \text{ctg}\theta} \sin \varphi.$$

На рис. 5.5 зображені графіки сил, вираховані за попередніми умовами для леза, виконаного за логарифмічною спіраллю.

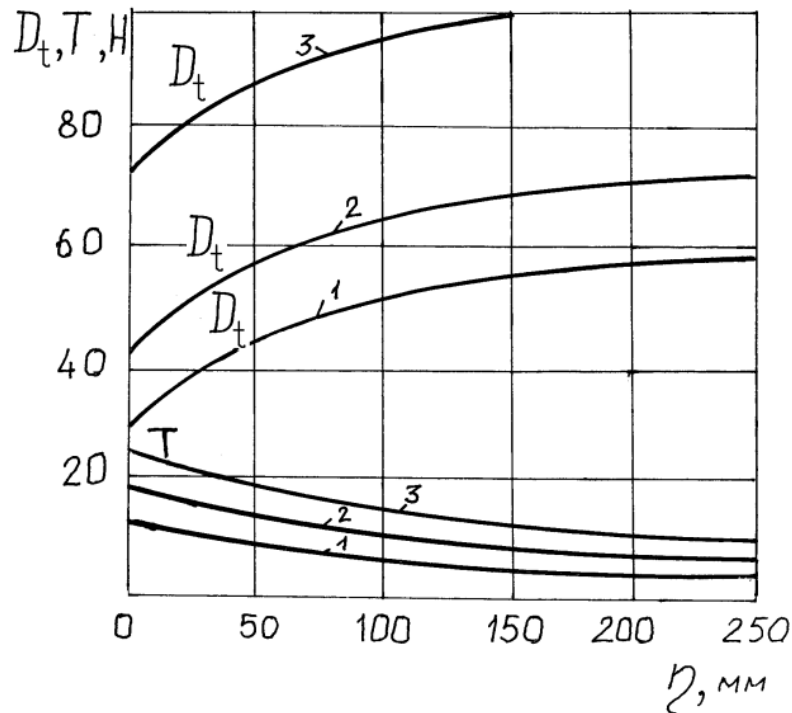


Рис. 5.5. Сили, що діють на бур'ян з урахуванням зменшення швидкості руху під впливом стінки борозни для криволінійного леза:

1 - $V = 1,8$ м/с; 2 - $V = 2,2$ м/с; 3 - $V = 3,02$ м/с

Як видно з графіків, вони не перетинаються і ситуація, коли сили рівні між собою, відсутня. Тому виконання леза культиваторною лапи у вигляді опуклої кривої, забезпечує сходження бур'янів з леза і усуває їх зависання.

5.2. Геометрична модель поверхні культиваторної лапи з криволінійним лезом

Для проектування поверхонь робочих органів сільськогосподарських машин найбільш прийнятними є лінійчаті поверхні, тобто поверхні у яких твірною є пряма лінія.

Так як лезо лапи виконано у вигляді кривої, а сама поверхня лапи симетрична, приймаємо конічну поверхню з вершиною у поздовжньо-вертикальній площині.

Конічна поверхня є розгортною і має такі диференціально-геометричні властивості [47, 66]:

- гаусова кривизна розгортної поверхні дорівнює нулю;
- дотична площину торкається поверхні уздовж всієї твірної і не змінює свого положення в просторі при переміщенні точки дотику.

Завдяки таким диференціально-геометричним властивостям, робочі органи з розгортною поверхнею мають ряд переваг. Так як розгортну поверхню можна поєднати з площиною, то деформація пласта ґрунту протікає тільки уздовж одного напрямку, що робить ці поверхні менш енергоємними [15, 73], оскільки пластичні деформації пласта заміщуються деформацією простого згину. Значить - розгортні поверхні мають менший тяговий опір.

Розглянемо утворення конічної поверхні (рис. 5.6) з вершиною $S(x_s, y_s, z_s)$. Напрямна крива описується рівнянням:

$$m: x = x(u), y = y(u), z = z(u), \quad (5.10)$$

де u – деякий параметр.

Запишемо рівняння прямолінійної твірної g , що проходить через вершину поверхні $S(x_s, y_s, z_s)$ і точку інцидентності $A [x(u), y(u), z(u)]$:

$$\frac{x - x_s}{x(u) - x_s} = \frac{y - y_s}{y(u) - y_s} = \frac{z - z_s}{z(u) - z_s}. \quad (5.11)$$

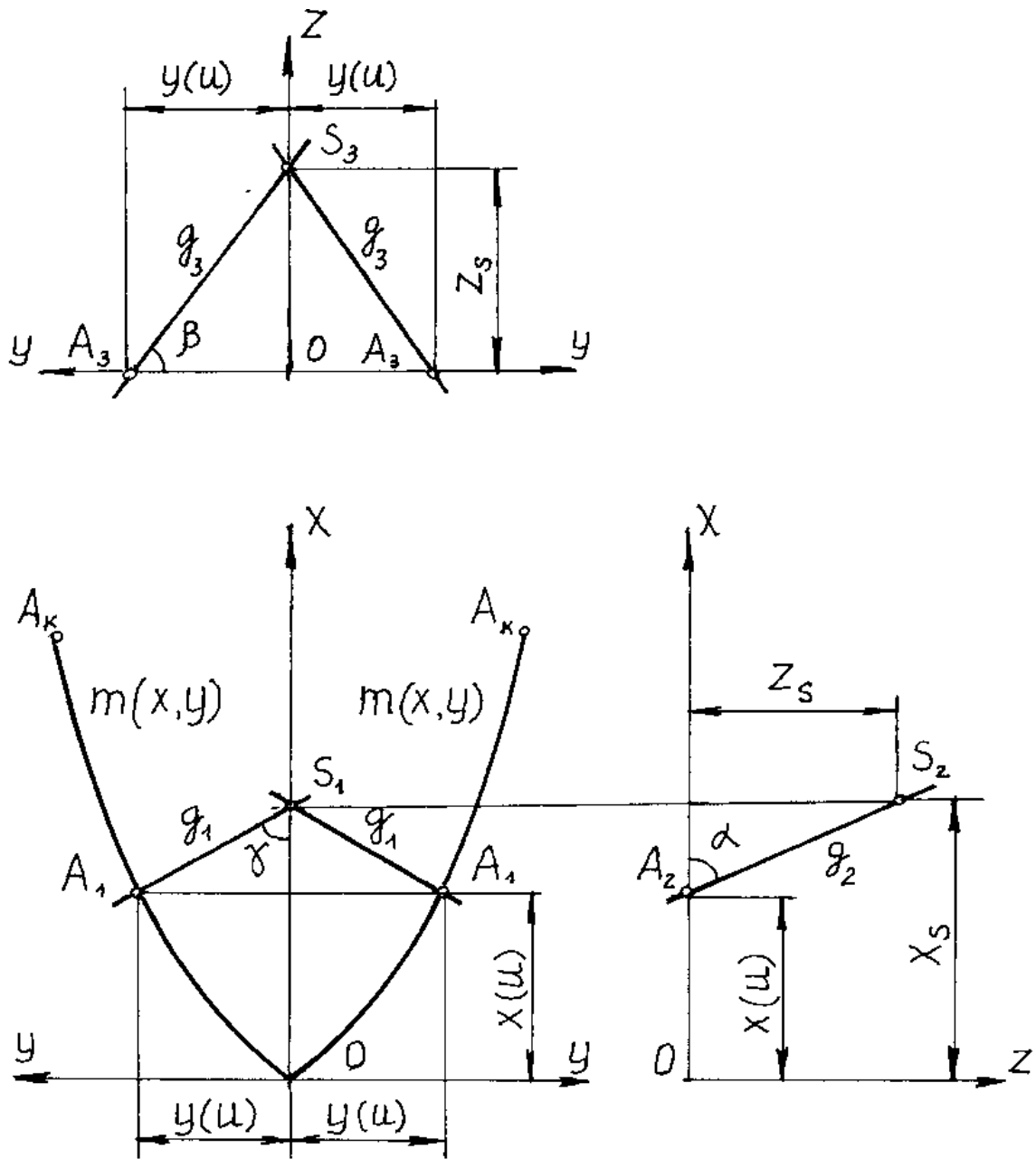


Рис. 5.6. Схема утворення конічної поверхні культиваторної лапи з криволінійним лезом

Звідки приходимо до наступних рівнянь проєкцій твірної:

$$z - z_s = \frac{z(u) - z_s}{x_s - x(u)}(x - x_s),$$

$$y - y_s = \frac{y(u) - y_s}{x_s - x(u)} (x - x_s).$$

Розділивши обидва рівняння на величину $(x - x_s)$ і, виключивши з наведених рівнянь член $(x - x_s)$, отримаємо загальне рівняння конічної поверхні

$$\frac{y - y_s}{x - x_s} = \frac{y(u)(z - z_s)}{z_s(x - x_s)}. \quad (5.12)$$

З отриманого рівняння (5.12) приходимо до проєкцій твірних:

- на площині Oxy

$$y = \frac{y(u) - y_s}{x(u) - x_s} (x - x_s) + y_s; \quad (5.13)$$

- на площині Oxz

$$z = \frac{z(u) - z_s}{x(u) - x_s} (x - x_s) + z_s; \quad (5.14)$$

- на площині Oyz

$$z = \frac{z(u) - z_s}{y(u) - y_s} (y - y_s) + z_s. \quad (5.15)$$

В результаті маємо систему рівнянь, що описують поверхню. Параметром u може виступати будь-яка величина. Якщо прийняти, що напрямна крива плоска, тоді як параметр u зручно прийняти координату x . Тоді

$$m: \quad y = y(x), \quad z = 0. \quad (5.16)$$

Підставляючи значення точки інцидентності A в (5.13), (5.14) і (5.15) отримаємо

$$y = \frac{y(x) - y_s}{x - x_s} (x - x_s) + y_s; \quad (5.17)$$

$$z = \frac{-z_s}{x - x_s} (x - x_s) + z_s; \quad (5.18)$$

$$z = \frac{-z_s}{y(x) - y_s} (y - y_s) + z_s. \quad (5.19)$$

Змінюючи координати вершини $S(x_s, y_s, z_s)$ можна змінювати в широких межах кривизну поверхні.

5.3. Конструювання леза культиваторних лап на базі логарифмічної спіралі

Лезо культиваторної лапи проектується одночасно у двох системах координат, полярній і декартовій. При цьому необхідно забезпечити значення початкового кута розхилу дотичної γ_0 до напрямної кривої [27, 7]. Тому виникають можливі розміщення полярного центру.

Варіант I. Полярний центр логарифмічної спіралі розташований на осі O_x декартової системи координат так, як показано на рис. 5.7. Назвемо цей випадок симетричним розміщенням центра спіралі. Визначимо точку K , яка буде кінцем дуги з координатами $x_K = \ell$, де ℓ - довжина лапи а b - ширина півзахвату. Тоді кут θ буде дорівнювати куту розхилу лапи $\theta = \gamma_0$, а полярна вісь O_cP буде проходити через точку K .

В декартовій системі координат рівняння логарифмічної спіралі буде мати вигляд

$$\begin{cases} x = x_c - r_o e^{W\varphi} \cos(\varphi_k - \varphi); \\ y = r_o e^{W\varphi} \sin(\varphi_k - \varphi), \end{cases} \quad (5.20)$$

$$\quad (5.21)$$

де φ_k - кінцевий полярний кут, рад.;

x_c - координата центра спіралі по осі O_x , м;

W - $\text{ctg}\theta$;

φ - полярний кут, рад.

Виходячи з цих рівнянь, невідомими є початковий радіус-вектор r_o , кінцевий полярний кут φ_k і координата центра спіралі x_c . Для визначення кінцевого полярного кута запишемо суму кутів для чотирикутника $ODKO_c$ (рис. 5.7).

Зауважимо, що в точці K дотична до спіралі розташовується під кутом γ_k до осі O_x . Маючи значення - $\angle DOO_c = \gamma_o = \theta$, $\angle ODK = 180^\circ - \theta + \gamma_k$, $\angle DKO_c = 180^\circ - \theta$ і $\angle KO_cO = \varphi_k$ із суми кутів будемо мати

$$\varphi_k = \theta - \gamma_k$$

Значення початкового радіуса-вектора знайдемо, виходячи з ширини півзахвату лапи

$$r_o = \frac{b}{\sin \varphi_k}. \quad (5.22)$$

Координата центра спіралі по осі O_x дорівнює

$$x_c = r_o e^{\varphi_k W}. \quad (5.23)$$

Виходячи з рівнянь (5.24) і (5.25), маємо чотири невідомі: x_c , y_c , r_o і μ . Тому для їх визначення необхідно до цих рівнянь додати ще два. Проте, кількість невідомих можна зменшити, якщо виразити кут μ через кут розхилу γ_o .

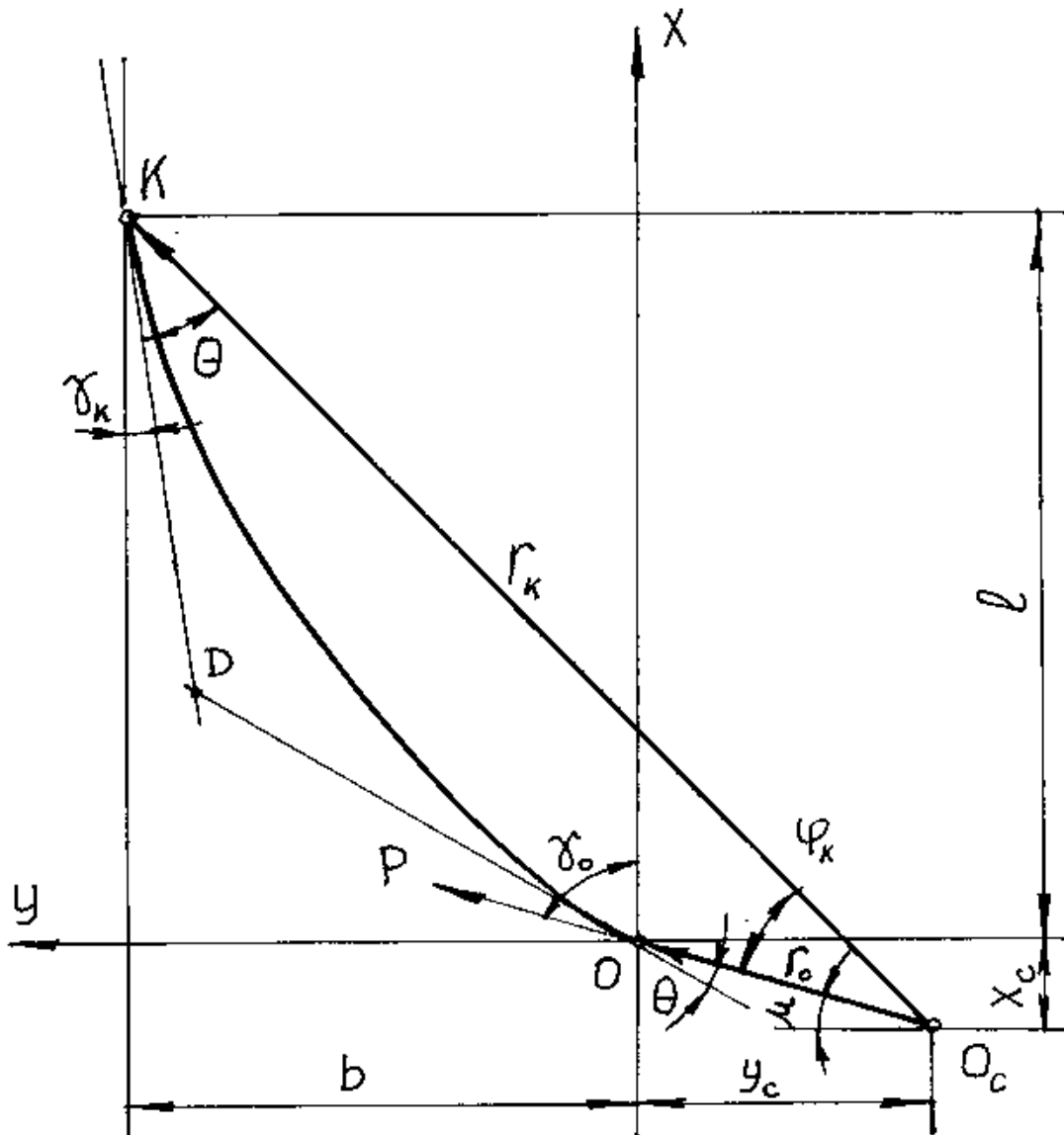


Рис. 5.8. Схема проектування логарифмічної спіралі при зовнішньому розміщенні полярного центра

Для визначення кута μ запишемо першу похідну від (5.24) і (5.25)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\operatorname{ctg} \theta \cos(\varphi - \mu) - \sin(\varphi - \mu)}{\cos(\varphi - \mu) - \operatorname{ctg} \theta \sin(\varphi - \mu)}.$$

Прийнявши рівним нулю кут повороту радіус-вектора $\varphi = 0$ і розділивши на $\cos \mu$, приходимо до формули для обчислення кута μ

$$\mu = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \gamma_o - \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \theta \operatorname{tg} \gamma_o + 1} \right)$$

Запишемо рівність кутів для багатокутника $O_c ODK$. З рис. 5.8 маємо $\angle O O_c K = \varphi_K$, $\angle O_c O D = 180^\circ - \theta = \mu + 90^\circ + \gamma_o$, $\angle ODK = 180^\circ - \gamma_o + \gamma_K$, $\angle DKO_c = \theta$, тоді, виходячи з суми кутів отримаємо

$$\varphi_K = \gamma_o - \gamma_K,$$

або

$$\varphi_K = 90^\circ - \mu - \gamma_K - \theta.$$

Запишемо вирази (5.24) і (5.25) для точки O , яка є початком координат,

$$0 = -x_c + r_o \sin \mu,$$

$$0 = -y_c + r_o \cos \mu.$$

Звідки приходимо до формул для визначення центра спіралі через початковий радіус-вектор

$$x_c = -r_o \sin \mu, \tag{5.26}$$

$$y_c = -r_o \cos \mu. \quad (5.27)$$

Початковий радіус-вектор визначимо через ширину півзахвату лапи:

$$r_o = \frac{b}{e^{w\varphi_k} \cos(\varphi_k - \mu) - \cos \mu}. \quad (5.28)$$

Варіант III. У цьому варіанті полярний центр розміщується всередині спіралі, а полярна вісь проходить через кінцеву точку дуги спіралі (рис. 5.9).

Рівняння логарифмічної спіралі в цьому випадку буде мати наступний вигляд:

$$x = x_c - r_o e^{w\varphi} \cos(\varphi - \mu); \quad (5.29)$$

$$y = y_c - r_o e^{w\varphi} \sin(\varphi - \mu), \quad (5.30)$$

де μ - кут нахилу початкового радіус-вектора до осі O_x , град.

Таким чином, маємо чотири невідомих μ , r_o , x_c , y_c .

Запишемо першу похідну для (5.29) і (5.30):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\cos(\varphi - \mu) + \operatorname{ctg} \theta \sin(\varphi - \mu)}{\operatorname{ctg} \theta \cos(\varphi - \mu) - \sin(\varphi - \mu)}. \quad (5.31)$$

і, враховуючи, що для початкового радіус-вектора $\varphi = 0$, то отримаємо

$$\mu = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{ctg} \theta \cdot \operatorname{tg} \gamma_k - 1}{\operatorname{tg} \gamma_k + \operatorname{ctg} \theta} \right)$$

де γ_K - кут нахилу дотичної в точці K , град.

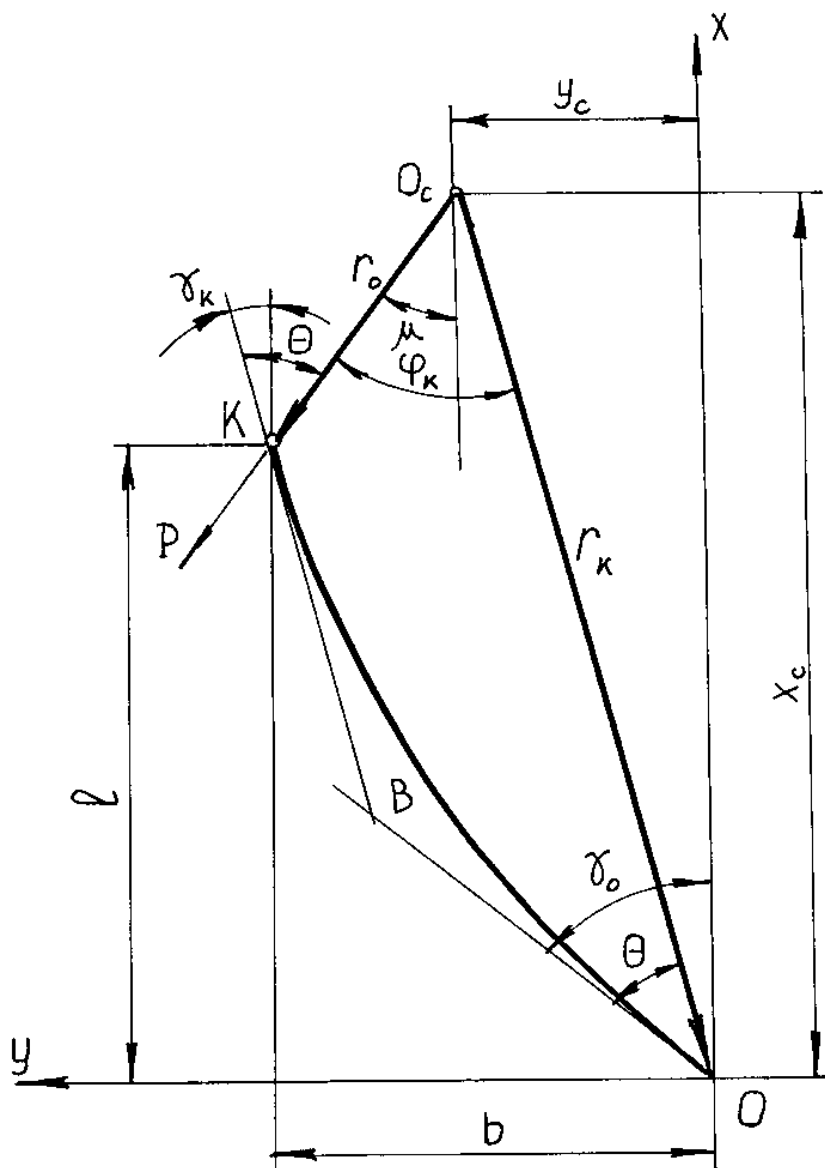


Рис. 5.9. Схема побудови спіралі при внутрішньому розташуванні полярного центра

На підставі суми кутів багатокутника $OBKO_c$ і маючи значення:

$$\angle BOO_c = \theta, \angle OBK = 180^\circ + \gamma_K - \gamma_o, \angle BKO_c = 180^\circ - \theta \text{ и } \angle KO_cO = \varphi_K,$$

приходимо до кінцевого полярного кута повороту радіус-вектора

$$\varphi_K = \gamma_O - \gamma_K.$$

Координати полярного центра спіралі відповідно рівні

$$x_C = r_O e^{w\varphi_K} \cos(\varphi_K - \mu),$$

$$y_C = r_O e^{w\varphi_K} \sin(\varphi_K - \mu).$$

Початковий радіус-вектор виразимо через півширини захвату b

$$r_O = \frac{b}{e^{w\varphi_K} \sin(\varphi_K - \mu) - \sin \mu}.$$

При необхідності, підставляючи в рівняння напрямної кривої довжину лапи, можна отримати зв'язок між довжиною лапи і шириною півзахвату.

5.4. Методика проектування культиваторних лап з криволінійним лезом

5.4.1. Завдання вихідних параметрів

Основними вихідними параметрами при проектуванні поверхні універсальної культиваторною лапи з криволінійним лезом є:

- початковий кут розчину крила лапи γ_O , град;
- кінцевий кут розчину крила лапи γ_K , град;

- ширина захоплення $2b$, мм;
- кут між дотичній і радіус-вектором θ , град.

Початковий кут розхилу крила лапи γ_o приймається в межах $\gamma_o < 37^\circ 20' - 40^\circ 29'$, який забезпечує схід бур'янів в носку лапи.

Кінцевий кут розхилу γ_k приймається в межах $\gamma_k = 0 \dots 5^\circ$. Ширина захвату $2b$ приймається рівною 250, 270, 330 мм. Цей параметр повинен співпадати з стандартною шириною захвату існуючих лап, так як розміщення робочих органів на культиваторах усіх марок ґрунтується саме на цих розмірах.

Кут між радіус-вектором і дотичною θ слід приймати в межах $\theta = 26^\circ 30' \dots 44^\circ 40'$, тобто між кутом тертя ґрунту по сталі і кутом тертя бур'янів по металу.

5.4.2. Побудова напрямної кривої поверхні лапи

У прийнятій моделі поверхні лезо лапи є одночасно і напрямною кривою, тому побудову поверхні починаємо з побудови леза.

1. Визначаємо декартову систему координат $Oxuz$ так, щоб вісь Ox розміщувалася протилежно ходу лапи, тоді вісь Oy буде розміщена перпендикулярно.

2. Вибираємо варіант розміщення полярного центра спіралі і спіралі відносної системи координат.

2.1. *Варіант I.* Симетричне розміщення полярного центра. Застосування цього варіанту обумовлено рівністю початкового кута розхилу γ_o і кута θ між радіус-вектором і дотичною $\gamma_o = \theta$.

2.1.1. Приймаємо, на основі зазначених меж ширину півзахвату b , початковий кут розхилу лапи γ_o , кут θ між радіус-вектором і дотичною, кінцевий кут розхилу γ_k .

2.1.2. Визначаємо кінцевий полярний кут повороту радіус-вектора

$$\varphi_k = \theta - \gamma_k.$$

2.1.3. Через ширину півзахвату лапи b визначаємо розмір початкового радіус-вектора

$$r_o = \frac{b}{\sin \varphi_k}$$

2.1.4. Визначаємо координату x_c полярного центра спіралі, маючи на увазі, що $y_c = 0$

$$x_c = r_o e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta}.$$

2.2. *Варіант II.* Зовнішнє розміщення центра спіралі. Цей варіант застосовується у тому випадку, коли кут між радіус-вектором і дотичною приблизно дорівнює 45° , $\theta \approx 45^\circ$, $\gamma_o \approx \theta$.

2.2.1. Приймаємо на підставі зазначених меж ширину півзахвату лапи b , початковий і кінцевий кут розхилу γ_o і γ_k , кут θ між радіус-вектором і дотичною.

2.2.2. Визначаємо кут відхилення початкового радіус-вектора від осі Oy

$$\mu = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \gamma_o - \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \theta \operatorname{tg} \gamma_o + 1} \right).$$

2.2.3. Кінцевий полярний кут повороту радіус-вектора визначаємо з виразу

$$\varphi_K = 90^\circ - \mu - \gamma_K - \theta.$$

2.2.4. Задаючись значенням півширини захвату b , визначаємо розмір початкового радіус-вектора

$$r_0 = \frac{b}{e^{\varphi_K \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_K - \mu) - \cos \mu}.$$

2.2.5. Вираховуємо декартові координати полярного центра спіралі

$$x_c = -r_0 \sin \mu;$$

$$y_c = -r_0 \cos \mu.$$

2.3. *Варіант III.* Внутрішнє розміщення полярного центра спіралі застосовується у тому випадку, коли кут між дотичною і радіус-вектором менше початкового кута розхилу, $\theta < \gamma_0$.

2.3.1. Приймаємо значення параметрів b , γ_0 , γ_K і θ .

2.3.2. Визначаємо кут відхилення початкового радіус-вектора від осі Ox

$$\mu = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{ctg} \theta \operatorname{tg} \gamma_K - 1}{\operatorname{tg} \gamma_K + \operatorname{ctg} \theta} \right)$$

2.3.3. Кінцевий полярний кут повороту радіус-вектора визначаємо з рівняння:

$$\varphi_K = \gamma_0 - \gamma_K$$

2.3.4. Задаючи значення півширини захвату b , визначаємо величину початкового радіус-вектора

$$r_o = \frac{b}{e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_k - \mu) - \sin \mu}.$$

2.3.5. Координати полярного центра спіралі визначаємо за формулами:

$$x_c = r_o e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_k - \mu),$$

$$y_c = r_o e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_k - \mu).$$

3. Будуємо напрямну криву, яка одночасно є лезом лапи. Для цього визначаємо кількість точок інцидентності $i=1, \dots, n$, які будуть визначати кількість твірних поверхні. Згідно з цим визначимо приріст кута повороту радіус-вектора

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_k}{n}.$$

4. Визначаємо декартові координати кривої за формулами:

Варіант I:

$$x_i = x_c - r_o e^{\varphi_i \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_k - \varphi_i);$$

$$y_i = r_o e^{\varphi_i \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_k - \varphi_i).$$

Варіант II:

$$x_i = -x_c + r_o e^{\varphi_i \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_i - \mu);$$

$$y_i = -y_c + r_o e^{\varphi_i \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_i - \mu).$$

Варіант III:

$$x_i = x_c - r_o e^{\varphi_i \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_i - \mu);$$

$$y_i = y_c - r_o e^{\varphi_i \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_i - \mu),$$

де $\varphi_{i+1} = \varphi_i + \Delta\varphi$, $\varphi_1 = 0$.

5. Визначені координати точок напрямної кривої, які будуть точками інцидентності $A_i[x_i(\varphi_i), y(\varphi_i)]$, вносимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

Координати точок інцидентності
напрямної кривої і твірної

Номер точки, i	Полярний угол, φ_i	Координата $x_i(\varphi_i)$	Координата $y_i(\varphi_i)$
1	0	$x_1(\varphi_1)$	$y_1(\varphi_1)$
2	$\Delta\varphi$	$x_2(\varphi_2)$	$y_2(\varphi_2)$
...
i	$\varphi_i = \varphi_{i-1} + \Delta\varphi$	$x_i(\varphi_i)$	$y_i(\varphi_i)$
...
n	φ_K	$x_K(\varphi_K)$	$y_K(\varphi_K)$

6. В системі координат $Oxyz$ так як показано на рис. 4.6. за результатами розрахунків, які визначають координати точки A будемо ліву та праву гілки напрямної кривої $m(x, y)$. При необхідності напрямну криву можна будувати у вигляді полінома [30] при цьому параметром буде служити координата x .

5.4.3. Побудова поверхні та перерізів культиваторної лапи

Побудова поверхні культиваторної лапи полягає у заданні каркаса твірних $g_i, i=1,2,3,\dots,n$, що проходять через вершину $S(x_s, y_s, z_s)$ і точку

інцидентності $A_i(x_i, y_i)$ з кривий $m(x, y)$ (рис. 5.10). Тут і надалі параметр, яким є полярний кут φ , опущений.

1. Задаємо координати вершини поверхні S . Координата $y_s = 0$, так як вершина поверхні розміщується в площині симетрії.

Координату x_s вибираємо в межах $x_s = (0,55 \dots 1) \ell$, де

$$\ell = \frac{b \left[e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \cos(\varphi_k - \mu) - \cos \mu \right]}{e^{\varphi_k \operatorname{ctg} \theta} \sin(\varphi_k - \mu) - \sin \mu}$$

По ширині захвату (вісь Oy) визначаємо точку A_i з координатою $y_i \approx 0,3 b$ яка задовольняє нерівності $y_{i+1} < y_i < y_{i-1}$. Координату вершини z_s визначаємо наступним чином

$$z_s = \operatorname{tg} \beta \sqrt{y_i^2 + (x_s - x_i)^2},$$

2. Кожна проекція i -ої твірної задається двома параметрами: кутовим коефіцієнтом r_i і вільним членом b_i , які впливають із загального рівняння прямої на площині

$$y = r x + b.$$

Вираховуємо коефіцієнти r і b так, як зазначено нижче.

На горизонтальній площині проекції Oxy

$$r_{xyi} = \frac{y_i}{x_i - x_s},$$

$$b_{xyi} = \frac{y_i x_s}{x_i - x_s}.$$

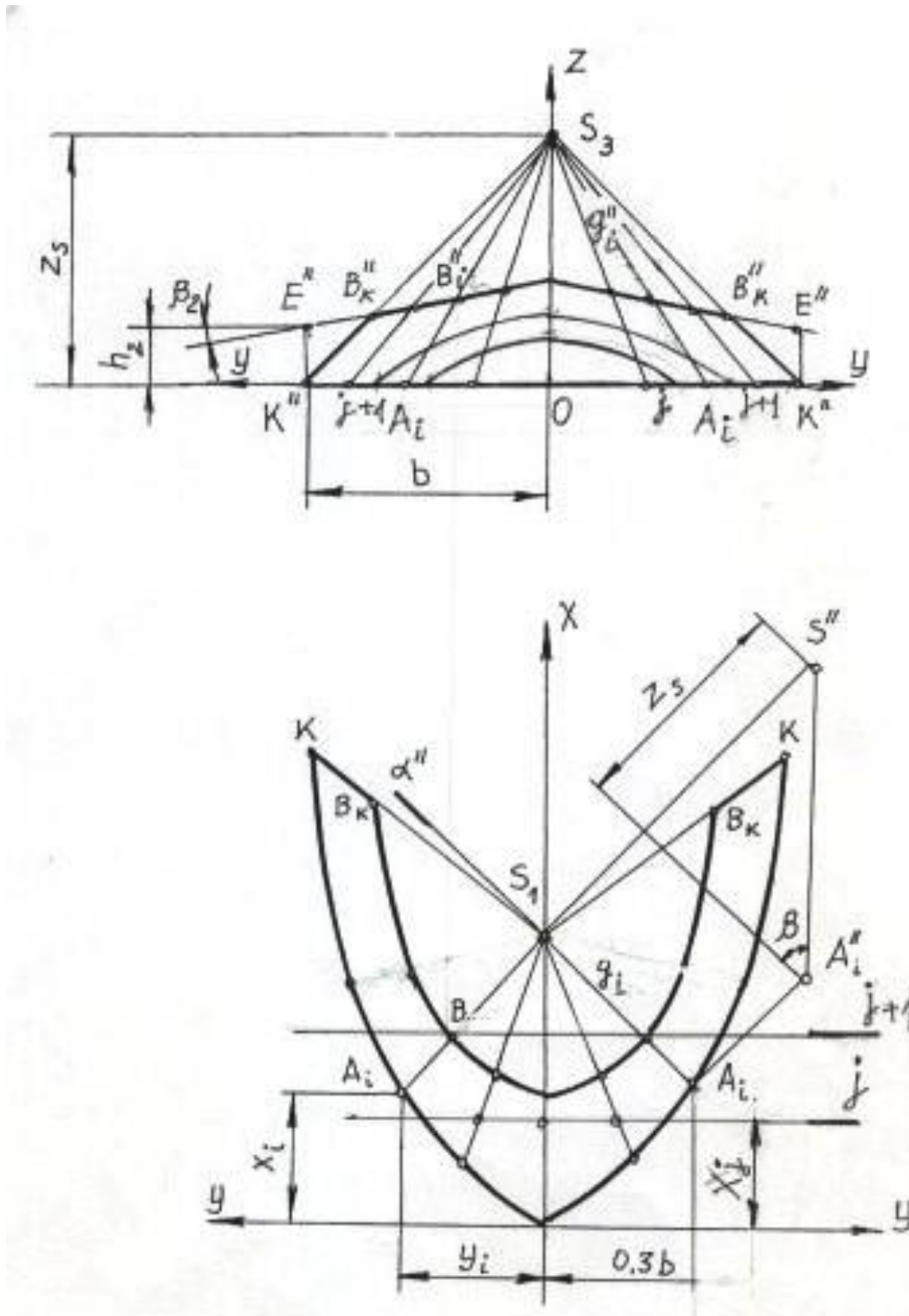


Рис. 5.10. Формування каркаса твірних і побудова шаблонів поверхні культиваторної лапи з криволінійним лезом:

β - кут нахилу твірної g_i до горизонтальної площини і приймають в межах $\beta = 20 \dots 30^\circ$

На фронтальній площині проекції Oyz

$$r_{yzi} = \frac{-z_s}{y_i},$$

$$b_{yzi} = z_s.$$

На профільній площині проекції Oxz

$$r_{xzi} = \frac{-z_s}{x_i - x_s},$$

$$b_{xzi} = -z_s \left(\frac{x_s}{x_i - x_s} + 1 \right).$$

3. Будуємо каркас прямолінійних твірних, які пройдуть через вершину S і точку інцидентності A .

4. Побудову проекцій лапи починаємо з фронтальної. Для цього на фронтальній проекції задаємо пряму PC (рис. 5.10), яка визначає проекцію верхнього обрізу лапи. Пряма CE проходить через точку E з координатами $y_E = b$, $z_E = 10 \dots 12$ мм під кутом $\beta_2 = 10 \dots 12^\circ$ до осі Oy . Внаслідок цього її рівняння буде мати вигляд

$$z = -tg\beta_2 y - tg\beta_2 b + h_2.$$

Точки фронтальної проекції верхнього обрізу лапи визначаються спільним рішенням системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} z &= tg\beta_2 y - tg\beta_2 b + h_2 \\ z &= \frac{-z_s}{y_i} y + z_s \end{aligned} \right\}$$

На горизонтальній площині проекції проекції точок верхнього обрізу визначаємо, підставляючи значення координати y_{Bi} в рівняння горизонтальної проекції твірної

$$y = \frac{y_i}{x_i - x_s} x + \frac{y_i x_s}{x_i - x_s} x$$

На профільній площині проекції лінія верхнього обрізу формується координатами x_{ei} і z_{ei} : $B_{xz}(x_{ei}, z_{ei})$.

5. Побудову перерізів поверхні лапи виконуємо за допомогою фронтальної площини рівня при значенні координати $x = x_j$ для j площини. Сукупність перерізів $j = 1, 2, 3, \dots, k$ дає нам шаблони оснастки для виготовлення лапи.

5.4.4. Побудова розгортки поверхні лапи

Побудову розгортки виконуємо визначенням натуральних величин трикутників $SA_i A_{i+1}$, утворених суміжними твірними q_i і q_{i+1} ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) і визначенням точок A_{oi} і B_{oi} в системі координат $O_{x_o y_o}$, в якій будується розгортка.

Як видно із рис. 5.11, натуральна величина i -ої твірної дорівнює

$$L_i = \sqrt{g_i^2 + z_s^2}$$

де g_i – проекція твірної на горизонтальну площину проекцій, яка визначається наступним чином:

$$g_i = \sqrt{(x_s - x_i)^2 + y_i^2}$$

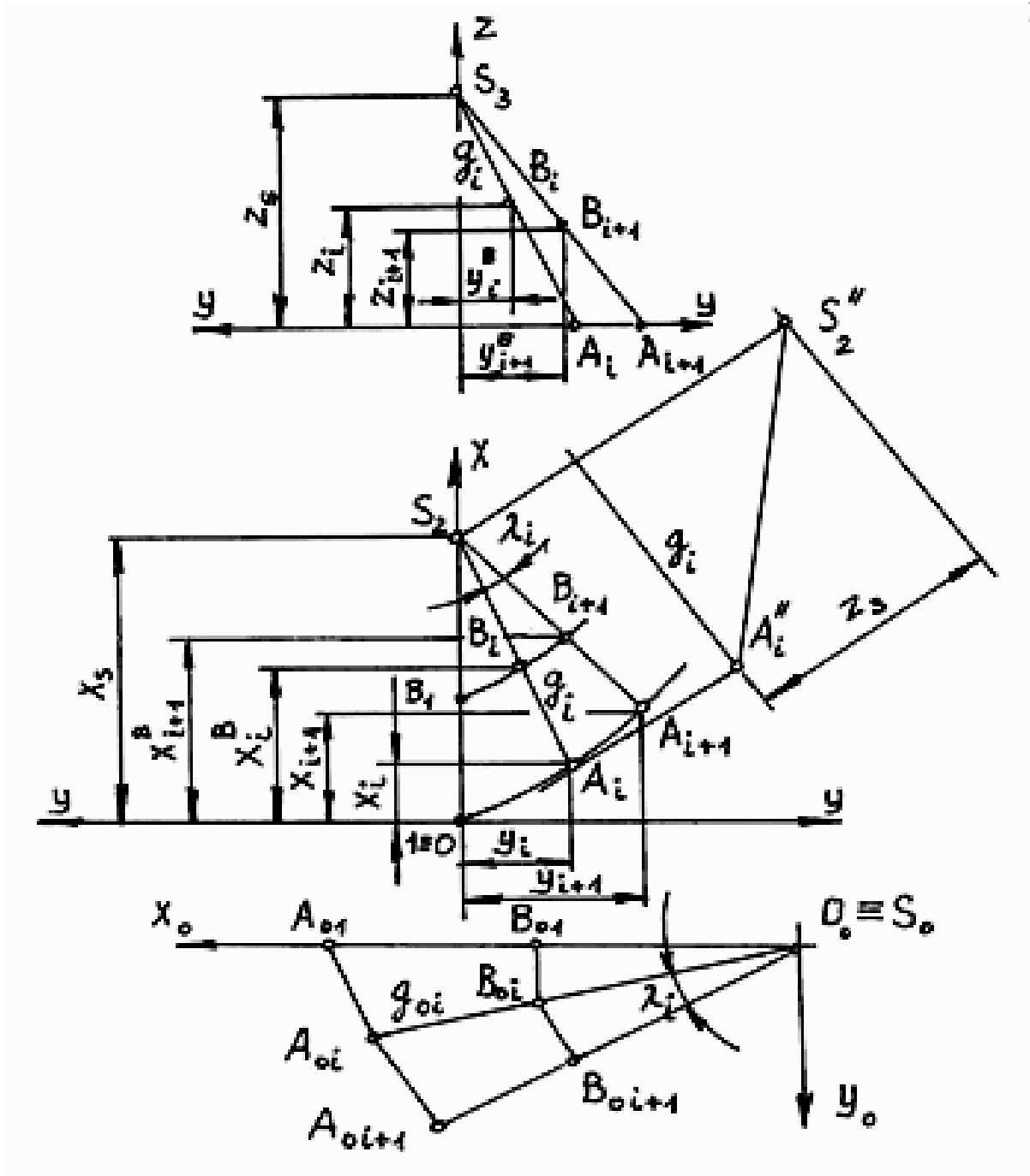


Рис. 5.11. Побудова розгортки робочої поверхні культиваторної лапи з криволінійним лезом

Величина відрізка $A_i A_{i+1}$ дорівнює

$$A_i A_{i+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}.$$

Кут λ при вершині S_o трикутника $S_o A_i A_{i+1}$ визначимо на основі теореми косинусів:

$$\lambda_i = \arccos\left(\frac{L_i^2 + L_{i+1}^2 - A_i A_{i+1}}{2L_i L_{i+1}}\right).$$

Точки A_{o_i} , які визначають форму леза розгортки, знаходимо на площині $O_{x_o y_o}$ наступним чином:

$$x_{o_i} = L_i \cos \lambda_i; \quad y_{o_i} = L_i \sin \lambda_i.$$

Першу точку $i = 1$ необхідно поєднати з віссю O_{x_o} , тоді $\lambda_i = 0$.

Лінію верхнього обрізу, утворену точками B_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), будемо на основі рішення системи рівнянь:

$$y_{o_i} = x_{o_i} \left(\operatorname{tg} \sum_{j=1}^i \lambda_{ji} \right); \quad R_i^2 = x_i^2 + y_i^2,$$

перше - це рівняння твірної, де L_i на площині $O_{x_o y_o}$, а друге - рівняння кола з центром на початку координат O і радіусом R_i , який дорівнює відрізку SB_i .

Відрізок SB_i визначимо за формулою

$$R_i = SB_i = \sqrt{(x_s - x_{\theta_i})^2 + y_{\theta_i}^2 + (z_s - z_{\theta_i})^2}.$$

Підставивши перетворене рівняння прямої в рівняння кола, маємо формулу для обчислення координати x_{oi} точки B_{oi} .

$$x_{oi} = \sqrt{\frac{SB_i}{1 + \operatorname{tg} \sum_{j=1}^i \lambda_j}}$$

Координату y_{oi} визначаємо так:

$$y_{oi} = x_{oi} \operatorname{tg} \sum_{j=1}^i \lambda_j.$$

Отримані точки з'єднуємо плавною кривою і отримуємо лінію верхнього обрізу.

Аналогічні побудови виконуємо для іншої півповерхні лапи. При графічних побудовах розгортку будуємо методом триангуляції, розбивши поверхню лапи на трикутники, так як зазначено в розділі, присвяченому графічній побудові лап.

5.4.5. Досвід проектування універсальних культиваторних лап з криволінійним лезом

За розробленою методикою спроектована універсальна культиваторна лапа з криволінійним лезом з наступними параметрами: кут розхилу лапи $2\gamma_0 = 60^\circ$; захват $2b = 270$ мм; довжина $\ell = 272$ мм; кінцевий кут нахилу

дотичної до леза лапи $\gamma_k = 7^\circ$; кут між радіус-вектором і дотичною $\theta = 42^\circ$; кут верхнього обрізу $\beta_2 = 10^\circ$; висота нижньої точки верхнього обрізу $Z_E = 10$ мм; кут нахилу твірної поверхні у першій третині леза $\beta = 28^\circ$; координати вершини конічної поверхні $X_s = 155$ мм, $Z_s = 40$ мм.

Креслення лапи зображено на рис. 5.12 і 5.13. Як видно з рисунка поперечні перерізи лапи *I, II, ..., VI* мають малу кривизну, що представляє значну зручність при виготовленні шаблонів поверхні.

Оскільки поверхня лапи складається з двох півповерхонь, а твірна *I* (рис. 5.12) для них загальна, то лапа має невеликий злам поверхні, який при виготовленні можна усунути сполучивши півповерхні радіусом 15...20 мм.

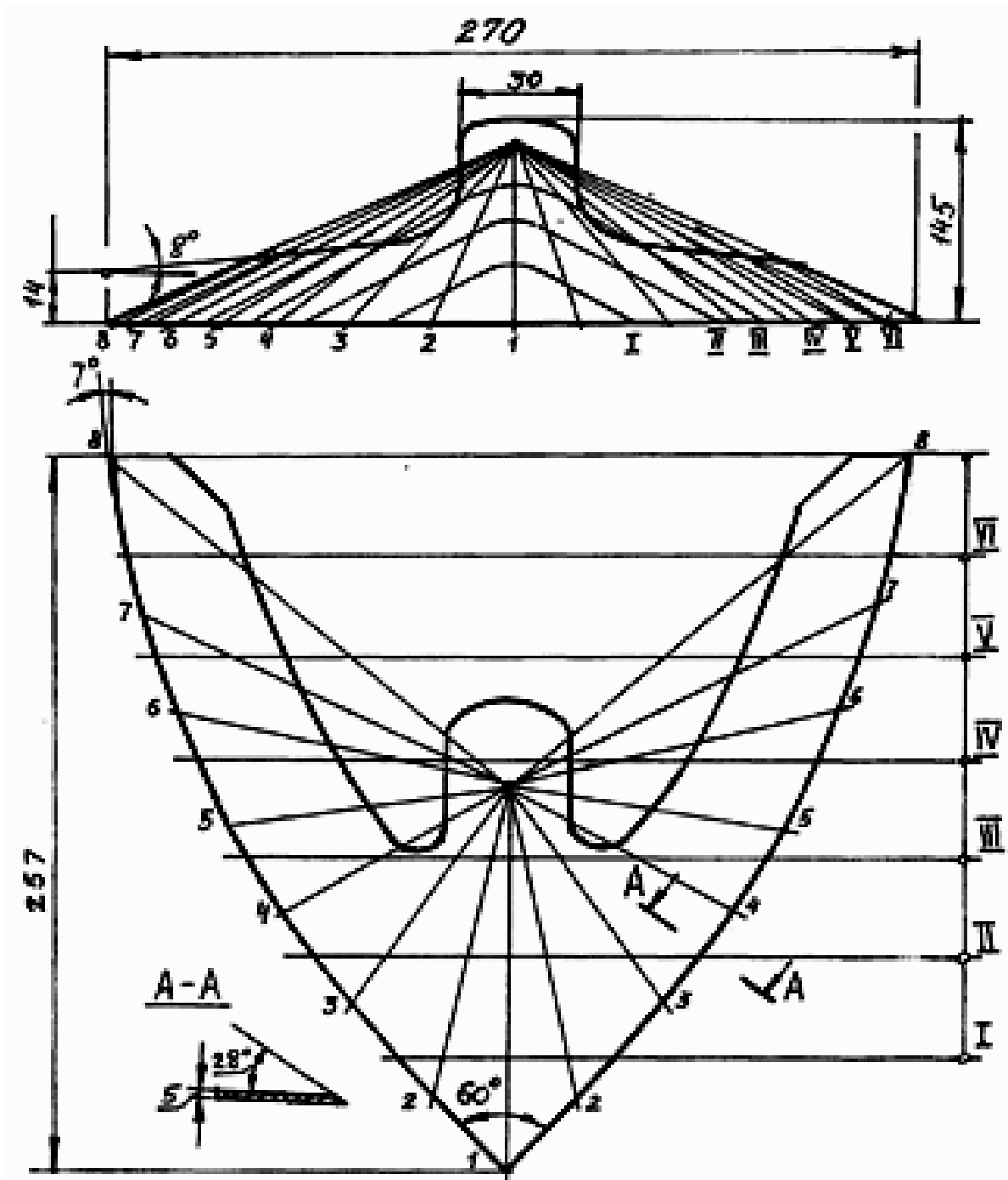


Рис. 5.12. Каркас поверхні та поверхня культиваторної лапи з криволінійним лезом

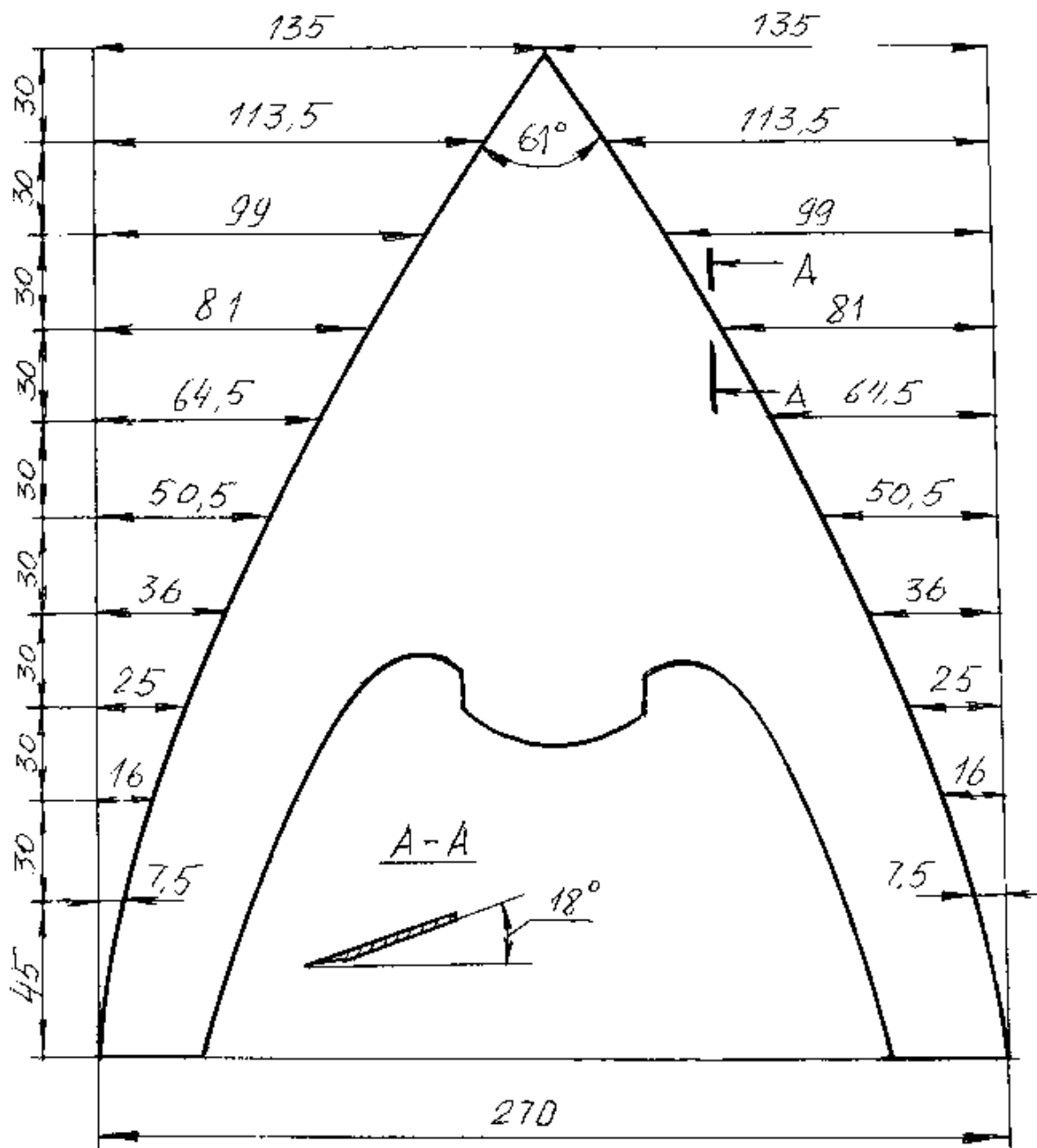


Рис. 5.13. Координати криволінійного леза культиваторної лапи

6. ПРОЕКТУВАННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП НА ОСНОВІ ТОРСОВИХ ПОВЕРХОНЬ

6.1. Технологічні основи

Культиваторні лапи призначені не тільки для боротьби з бур'янами або для розпушування ґрунту. Іноді необхідно не тільки знищувати бур'яни або розпушувати ґрунт, але й виконувати інші операції, наприклад, перемішувати ґрунт певним чином.

Вимога до переміщення ґрунту може виникати при боротьбі з бур'янами в захисних зонах просапних культур, формуванні ґрунтових валків і багато інших.

Для виконання комплексу операцій: знищення бур'янів, розпушування ґрунту, переміщення ґрунту необхідні робочі органи, поверхні яких засновані на геометричних моделях, що мають узагальнення і забезпечують проектування робочих органів у широкому діапазоні.

6.2. Геометрична модель торсової поверхні на основі напрямної кривої і руху твірної

У попередньому розділі в якості поверхні культиваторної лапи була прийнята конічна поверхня. Однак ця поверхня є окремим випадком розгортних поверхонь. Існує великий клас поверхонь, що розгортаються, які називаються торсовими [16] і які дозволяють значно розширити можливості проектування робочих поверхонь [57].

Розглянемо утворення поверхні по одній напрямній і певному закону руху твірної.

Запишемо рівняння твірної g (рис. 6.1) в проекціях:

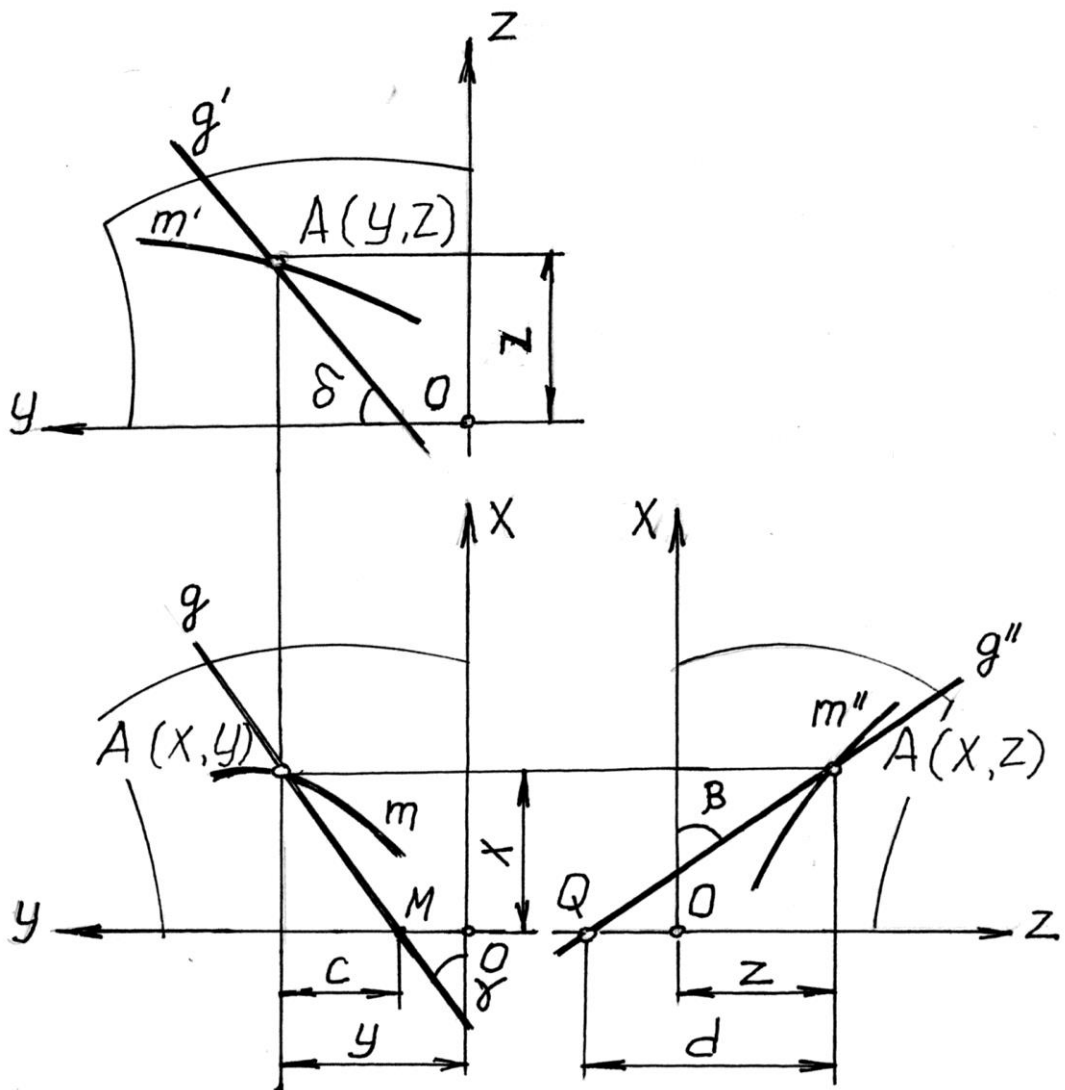


Рис. 6.1. Схема утворення поверхні по одній напрямній та закону руху твірної

- на горизонтально площині Oxy

$$y = px + c; \quad (6.1)$$

- на фронтальній площині Oyz

$$z = \kappa y + b; \quad (6.2)$$

- на профільній площині Oxz

$$z = qx + d; \quad (6.3)$$

де величини p, c, q, d, κ, b є параметрами положення твірної і є функціями параметра u [55].

Задамо напрямну криву

$$(m): x = x(u), y = y(u), z = z(u), \quad (6.4)$$

яка з твірною g мають спільну точку інцидентності A .

Виразимо параметри положення твірної через координати точки інцидентності A :

на площині Oxy :

$$p = tg\gamma; c = y - x \cdot tg\gamma; \quad (6.5)$$

на площині O_{zx} :

$$q = tg\beta; d = z - x \cdot tg\beta; \quad (6.6)$$

на площині O_{yz} :

$$\kappa = tg\delta; b = z - y \cdot tg\delta. \quad (6.7)$$

Запишемо умову торсовості [74] для проєкцій твірної на площинах O_{xy} і O_{xz} :

$$\frac{c'}{p'} - \frac{d'}{q'} = \lambda, \quad (6.8)$$

Де штрихи позначають перші похідні по параметру u .

В умові (6.8) коефіцієнт λ грає роль аналога кривизни. Якщо $\lambda = 0$, то поверхня стає розгортною, зі збільшенням коефіцієнта λ поверхня все більше відхиляється від розгортної, і в шарі ґрунту нарастають пластичні деформації [72].

Підставимо в умову (6.8) перші похідні параметрів положення проєкцій твірної.

$$\frac{y' - x \cdot p' - x' \cdot p}{p'} - \frac{z' - x \cdot q' - x' \cdot q}{q'} = \lambda. \quad (6.9)$$

Якщо нам задана одна із функцій кута нахилу твірної на одній із площин проєкцій, наприклад, на горизонтальній $p = \operatorname{tg} \gamma(u)$, то з отриманої умови приходимо до функції кута нахилу твірної на профільній проєкції $q = \operatorname{tg} \beta(u)$. На цій підставі із умови (6.9) приходимо до диференціального рівняння щодо функції q :

$$q' + q \frac{p' \cdot x'}{y' - x' \cdot p - \lambda \cdot p'} = \frac{p' \cdot z'}{y' - x' \cdot p - \lambda \cdot p'}. \quad (6.10)$$

Якщо поверхня розгортна $\lambda = 0$, то рівняння (6.10) прийме вигляд

$$q' + q \frac{p' \cdot x'}{y' - x' \cdot p} = \frac{p' \cdot z'}{y' - x' \cdot p}. \quad (6.11)$$

Найчастіше в якості параметра поверхні u прийняти координату x , то рівняння спрощується

$$q' + q \frac{p'}{y' - p} = \frac{p' \cdot z'}{y' - p} \text{ при } \lambda = 0, \quad (6.12)$$

або

$$q' + q \frac{p'}{y' - p - \lambda \cdot p'} = \frac{p' \cdot z'}{y' - p - \lambda \cdot p'} \text{ при } \lambda \neq 0. \quad (6.13)$$

Кут нахилу проекції твірної на фронтальній площині проекцій визначимо за формулою сферичної геометрії

$$\delta = \arccos(\cos \gamma \cdot \cos \beta). \quad (6.14)$$

Таким чином, визначення параметрів положення твірних дозволить задати каркас поверхні.

6.3. Обґрунтування основних параметрів геометричної моделі торсової поверхні культиваторної лапи

Симетрична поверхня культиваторної лапи призводить до того, що найбільш прийнятним є розміщення напрямної кривої в поздовжньо-вертикальній площині, яка одночасно є площиною симетрії.

При таких вимогах напрямна крива в цьому випадку є одним з основних елементів, які суттєво впливають на агротехнічні показники, так як від її форми залежить відкидання ґрунту.

За напрямну криву прийmemo дугу кола як найбільш технологічну при стикуванні лапи і стояка.

Основними параметрами напрямної кривої у цьому випадку будуть:

- радіус дуги;

- кут нахилу дотичної до горизонту в початковій точці.

З метою обґрунтування цих параметрів розглянемо рух ґрунтового агрегату по дузі кола (рис. 6.2). Для визначення швидкості руху ґрунтового агрегату по напрямній залежно від кута нахилу твірної до горизонту скористаємося диференціальним рівнянням рівноваги структурного агрегату:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 Q - f_1 P \cos \alpha - P \sin \alpha \quad (6.15)$$

де m - маса структурного агрегату ґрунту, кг;

V_R - швидкість руху структурного агрегату по напрямній, м/с;

t - час руху структурного агрегату по напрямній, с;

f_1 - коефіцієнт тертя з ґрунту з матеріалом лапи, відносні од.;

Q - відцентрова сила інерції, що діє на агрегат ґрунту, Н;

P - вага структурного агрегату ґрунту, Н;

α - кут нахилу дотичної до напрямної до горизонту, град.

Позначивши силу ваги і силу інерції наступним чином

$$P = mg; \quad Q = m \frac{V_R^2}{R},$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

R – радіус напрямної кривої, м;

Запишемо рівняння рівноваги структурного агрегату ґрунту напрямної кривої в наступному вигляді:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 m \frac{V_R^2}{R} - f_1 mg \cos \alpha - mg \sin \alpha \quad (6.16)$$

Відомо, що при русі по колу дотримуються наступні співвідношення:

$$\begin{aligned} ds &= R d\alpha = V_R dt, \\ dt &= \frac{R d\alpha}{V_R}, \end{aligned} \quad (6.17)$$

де ds - довжина дуги кола, м.

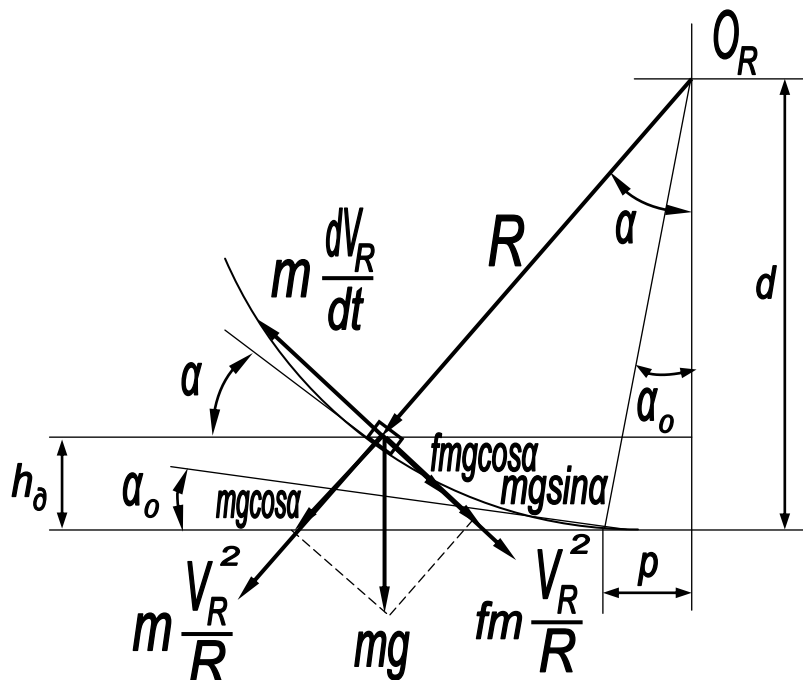


Рис. 6.2. Схема руху ґрунтового агрегату по напрямній кривій

Підставивши (6.16) (6.17) і скоротивши на масу, прийдемо до наступного диференціального рівняння руху структурного агрегату ґрунту

$$\frac{dV_R}{d\alpha} = -f_1 V_R - \frac{Rg}{V_R} (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (6.18)$$

Інтегрування отриманого рівняння дає нам наступний вираз

$$V_R^2 = \left(-\frac{2Rg \exp(2f_1\alpha)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1)\cos\alpha + 3f_1 \sin\alpha] + C \right) \exp(-2f_1\alpha) \quad (6.19)$$

Постійну інтегрування знаходимо з початкових умов в момент часу $t = 0$, коли швидкість руху структурного агрегату ґрунту по поверхні лапи дорівнює швидкості руху культиватора V , а початковий кут нахилу дотичної до напрямної рівний α_0 . У цьому випадку постійна інтегрування дорівнює

$$C = V_0^2 \exp(2f_1\alpha_0) + \frac{2Rg \exp(2f_1\alpha_0)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1)\cos\alpha_0 + 3f_1 \sin\alpha_0]. \quad (6.20)$$

Підставляючи отримане значення постійної інтегрування, отримаємо наступний вираз для швидкості руху ґрунту по поверхні лапи в функції кута підйому:

$$V_R^2 = -\frac{2Rg}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1)\cos\alpha + 3f_1 \sin\alpha] + V_0^2 \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] + \frac{2Rg}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1)\cos\alpha_0 + 3f_1 \sin\alpha_0] \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] \quad (6.21)$$

На рис. 6.3 зображені графіки зміни швидкості руху ґрунту по напрямній кривій поверхні культиваторної лапи і кута підйому ґрунту при початковому куті нахилу дотичної $\alpha_0 = 10^\circ$ і $\alpha_0 = 20^\circ$ при середньому коефіцієнті тертя $f_1 = 0,58$.

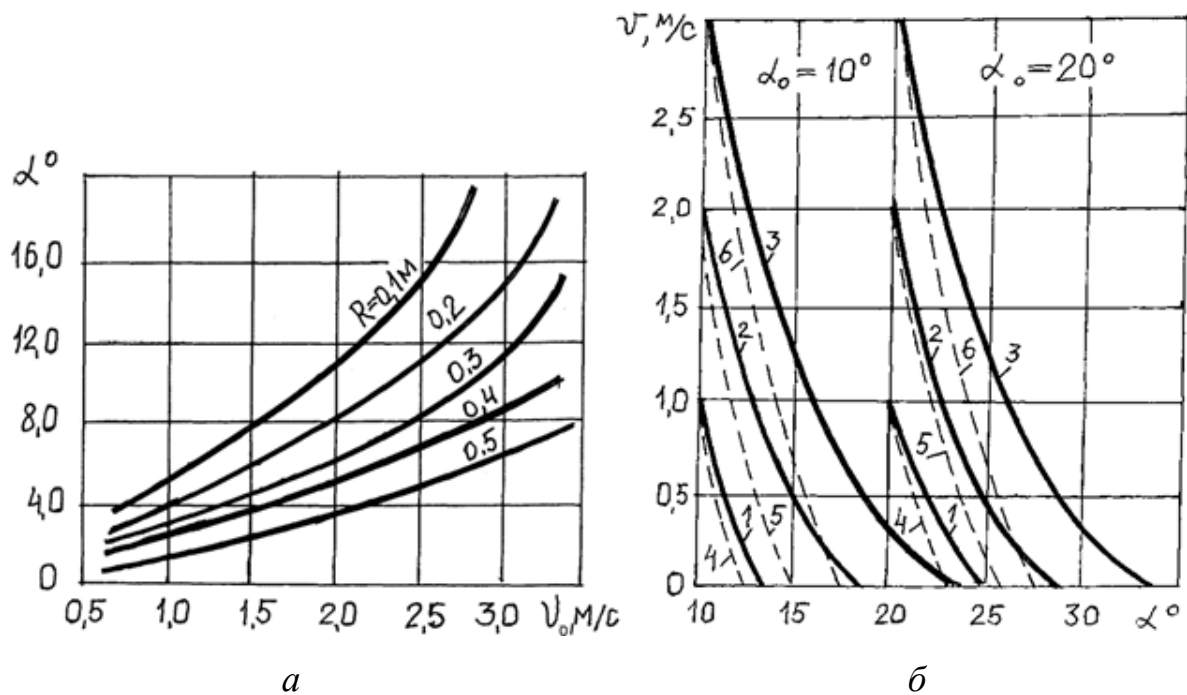


Рис. 6.3. Характеристики руху структурного елемента ґрунту при переміщенні по долоту:

a - залежність кута підйому від швидкості руху по напрямній кривій;
б - залежність швидкості руху частки від початкового кута α ;

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 - $V_0 = 1$ м/с; $R = 0,2$ м; | 2 - $V_0 = 2$ м/с; $R = 0,2$ м; |
| 3 - $V_0 = 3$ м/с; $R = 0,2$ м; | 4 - $V_0 = 1$ м/с; $R = 0,5$ м; |
| 5 - $V_0 = 2$ м/с; $R = 0,5$ м; | 6 - $V_0 = 3$ м/с; $R = 0,5$ м; |

Як видно з графіків при радіусі кривизни $R = 0,1$ м функція $\alpha(V_0)$ різко йде вгору. Зі збільшенням радіус кривизни крутизна залежності $\alpha(V_0)$

падає, а для $R = 0,5$ м наближається до практично прямої лінії. Така поведінка функції пояснюється тим, що, починаючи з початкової швидкості $V_0 = 2$ м/с яка є швидкістю руху знаряддя, починає позначатися сила інерції, яка долає силу тяжіння пласта. Особливо це помітно при $R = 0,1$ м. Із зростанням радіуса кривизни сила інерції зменшується і, отже, зменшується кут підйому ґрунту.

При радіусі кривизни $R = 0,5$ м і більше дія сили інерції практично не позначається.

Отже, при швидкості руху $V_0 \leq 2$ м/с і $R \geq 0,5$ м напрямна крива забезпечує лапі розпушування, а починаючи зі швидкості $V_0 > 2$ м/с і радіусі кривизни менше $0,5$ м лапа працює в режимі розпушування і розкидання ґрунту.

Слід зауважити, що дуга кола не єдина напрямна крива, це може бути парабола другого порядку, експонента, однак головна вимога полягає в тому, що вона повинна бути увігнута в бік руху.

Наступним важливим параметром є функція кута нахилу твірної на горизонтальній площині проєкцій $\gamma = \gamma(u)$. На рис. 6.4 показані дві залежності $\gamma = \gamma(x)$. У першій залежності значення кута γ зменшуються (рис. 6.4, а) і ребро повернення поверхні R розташовується за поздовжньо-вертикальною площиною. Така залежність $\gamma = \gamma(x)$ дозволяє проєктувати увігнуті поверхні (рис. 6.4, б). У тому випадку, коли значення γ зростають (рис. 6.4, в), ребро повернення розташовується з боку поля (рис. 6.4, г), а поверхня виходить опуклою.

Таким чином, підбираючи залежність кута нахилу твірної на горизонтальній площині проєкцій можна проєктувати як опуклі, так і увігнуті поверхні культиваторної лапи.

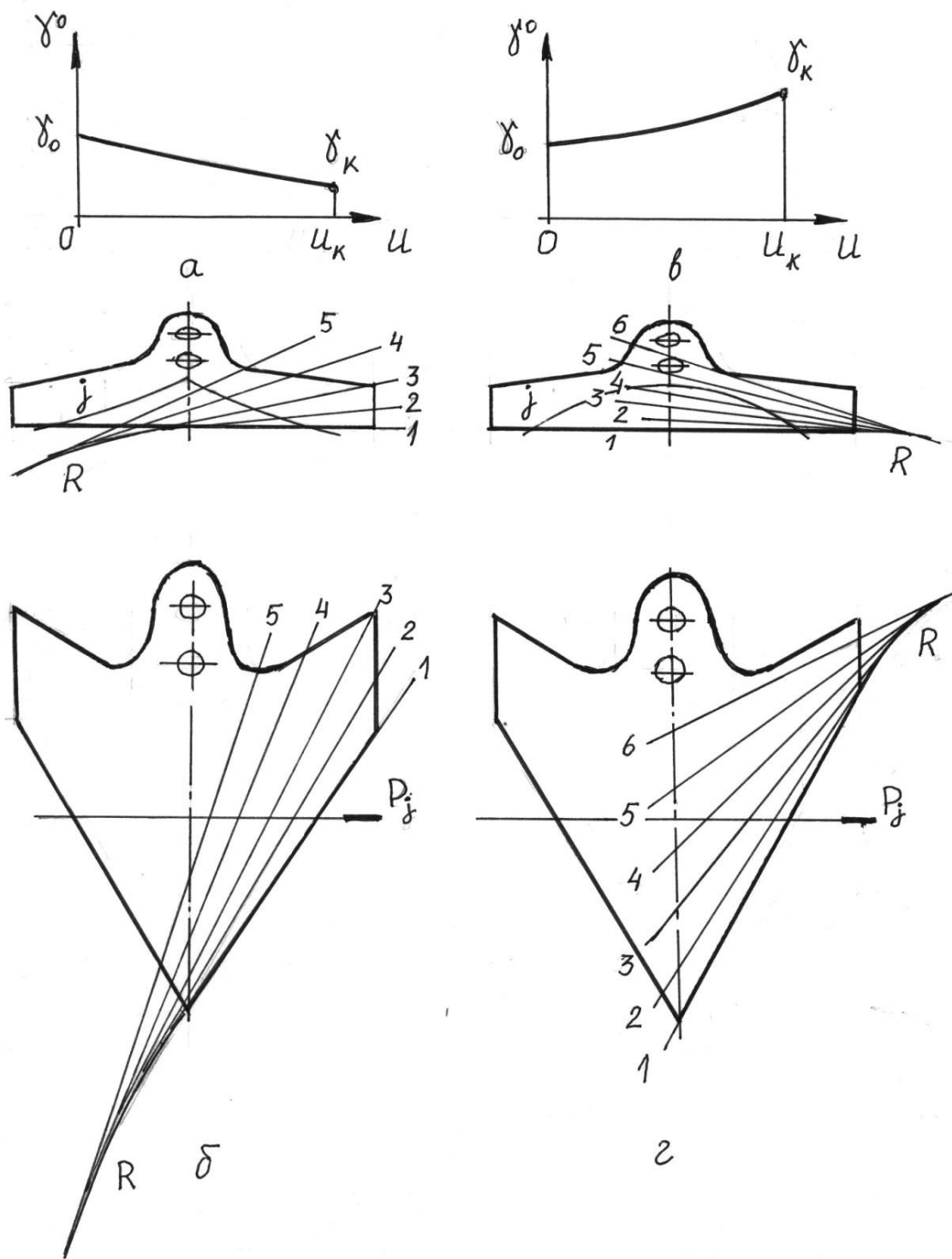


Рис. 6.4. Схема утворення розгортної поверхні лапи:

a, b - функції кута нахилу твірної на горизонтальній площині проєкцій; c, d - розміщення ребер повернення

6.4. Методика проектування культиваторної лапи для боротьби з бур'янами

6.4.1. Завдання вихідних даних

При проектуванні лап для боротьби з бур'янами задаються технологічними параметрами:

- глибина обробітку h , м;
- ширина захвату $2b$, м;

параметрами ґрунту:

- кут зовнішнього тертя φ_1 , град;
- кут внутрішнього тертя φ_2 , град;
- щільність ρ , кг/м³;

параметрами рослинних залишків і бур'янів:

- кут тертя рослин по сталі φ_3 , град;

параметрами поверхні:

- напрямної кривий;
- законом переміщення твірної у горизонтальній площині;
- коефіцієнтом кривизни λ_k

Для лап, призначених для боротьби з рослинними залишками, розпушування ґрунту не є визначальним показником, тому основну увагу слід, для запобігання зависання, приділити ковзанню бур'янів і їх сходу з леза. Підрізання і сходження рослинних залишків забезпечує напрямна крива, яка лежить в горизонтальній площині і має певну кривизну.

Параметри напрямної кривої:

- кут нахилу дотичної в початковій точці напрямної γ_0 , град;
- рівняння напрямної горизонтальній площині.

У свою чергу лапи, що мають прямолінійне лезо, яке одночасно є початковою твірною, мають напрямну у поздовжньо-вертикальній площині, по якій відбувається стикування півповерхонь.

6.4.2. Побудова поверхні лапи для боротьби з бур'янами

При проектуванні поверхні лапи приймаємо розгортну поверхню.

1. Приймаємо систему координат (рис. 6.5) так, щоб вісь розміщувалася в зворотному напрямку руху лапи, і визначаємо кут нахилу дотичної в початковій точці напрямної кривої:

$$\gamma_0 < 90^\circ - \varphi_m .$$

де φ_m - максимальний кут тертя: φ_1 - кут тертя ґрунту по сталі або φ_3 - кут тертя бур'янів по сталі.

2. Для практичних розрахунків напрямну криву можна приблизно уявити у вигляді полінома:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 , \quad (6.22)$$

коефіцієнти якого, визначимо наступним чином.

Так як напрямна починається на початку координат, то коефіцієнт $a_0 = 0$

Продиференціювавши вираз (6.22) по x отримаємо:

$$\frac{dy}{dx} = y' = a_1 + 2a_2x . \quad (6.23)$$

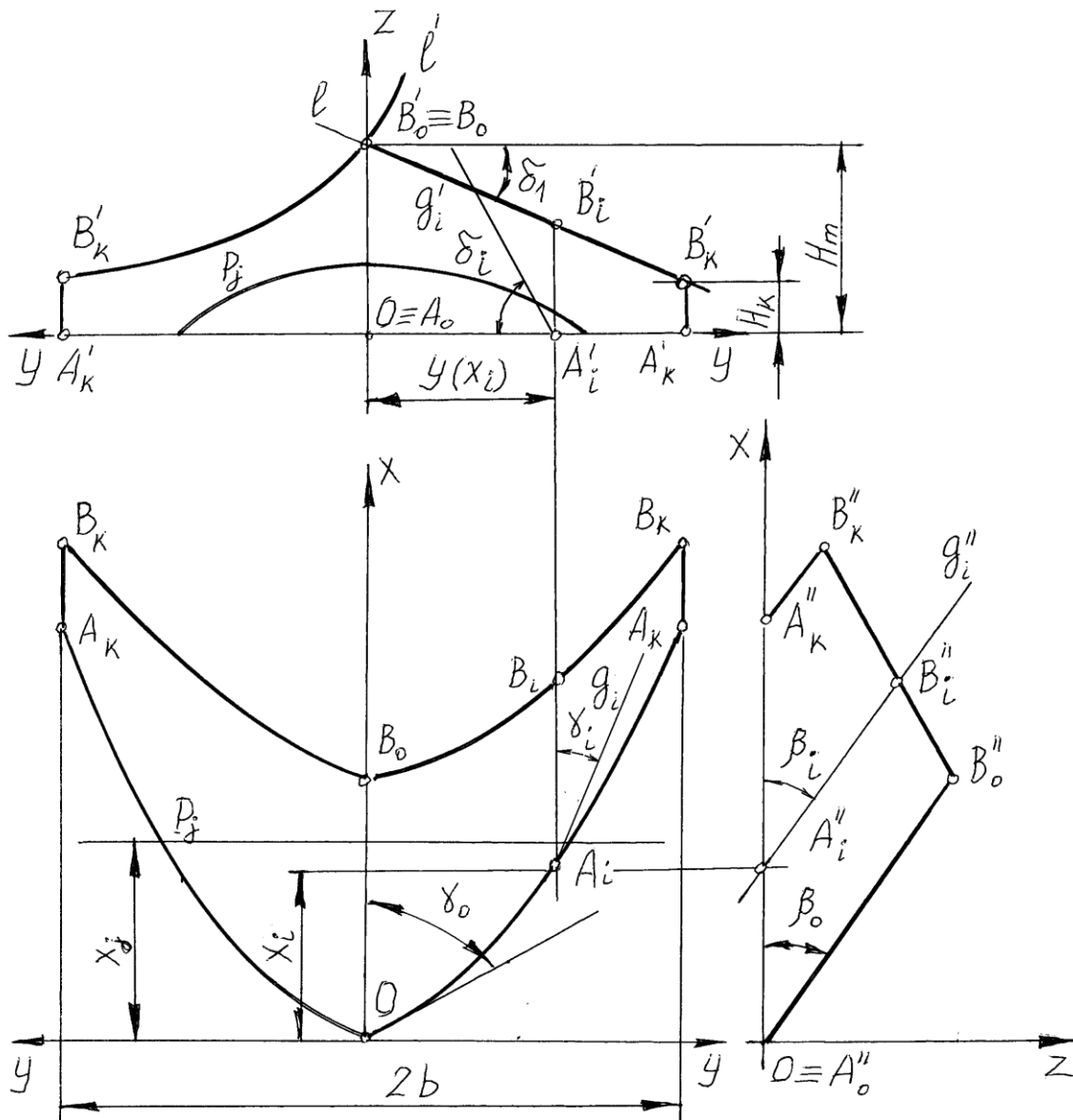


Рис. 6.5. Схема побудови поверхні лапи для боротьби з рослинністю

Похідна (6.25) дорівнює куту нахилу дотичної у початковій точці напрямної при $x = 0$:

$$\frac{dy}{dx} = y'_0 = \operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi_m) = \operatorname{ctg} \varphi_m.$$

У цьому випадку коефіцієнт полінома (6.23) a_1 дорівнює $a_1 = \operatorname{ctg} \varphi_m$.

Коефіцієнт a_2 знайдемо, обчисливши координату x_K кінцевої точки напрямної, коли $y = b$:

$$a_2 = \frac{b - x_K \cdot \operatorname{ctg} \varphi_m}{x_K^2}$$

де x_k - довжина лапи, мм.

Остаточно маємо напрямну криву L :

$$y = a_1 x + a_2 x^2, \quad z = 0$$

або, підставивши значення коефіцієнтів:

$$y = \operatorname{tg} \gamma_0 x + \frac{b - x_K \cdot \operatorname{ctg} \varphi_m}{x_K^2} x^2, \quad z = 0.$$

3. Приймаємо функцію кута нахилу твірної на горизонтальній площині проєкцій $\gamma = \gamma(x)$.

4. Для виведення рівняння поверхні знайдемо похідні:

$$p' = \frac{d}{dx} \operatorname{tg} \gamma(x); \quad y' = \frac{dy}{dx} = a_1 + a_2 2x; \quad z' = \frac{dz}{dx} = 0.$$

Підставляючи значення похідних в диференціальне рівняння твірної і враховуючи, що поверхня розгортка $\lambda = 0$, отримаємо:

$$q' + q \frac{p'}{y' - p} = 0$$

або
$$\frac{d}{dx} \operatorname{tg} \beta(x) + \operatorname{tg} \beta(x) \frac{\frac{d}{dx} \operatorname{tg} \gamma(x)}{a_1 + 2a_2 x - \operatorname{tg} \gamma(x)} = 0.$$

Застосувавши чисельні методи інтегрування, в результаті отримаємо функцію кута нахилу твірної на поздовжньо-вертикальній площині $\beta = \beta(x)$.

Початкове значення кута β_0 приймаємо з виразу

$$\beta_0 \leq 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}$$

де φ_2 - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

5. Для побудови поверхні задамо крок каркаса твірних по осі Ox :

$$\Delta x = \frac{x_K}{n},$$

де n - число твірних.

6. Згідно з виразами для напрямної кривої

$$x = x_i, \quad y_i = \operatorname{tg} \gamma_0 x_i + \frac{b - x_K \cdot \operatorname{ctg} \varphi_m}{x_K^2} x_i^2$$

і для параметрів проєкцій твірних

$$p_i = \operatorname{tg} \gamma_i, \quad c_i = y_i - x_i \cdot \operatorname{tg} \gamma_i,$$

$$q_i = \operatorname{tg} \beta_i, d_i = -x_i \cdot \operatorname{tg} \gamma_i,$$

$$k_i = \operatorname{tg} \delta_i, b_i = -y_i \cdot \operatorname{tg} \delta_i, \text{ де } x_i = \Delta x \cdot i,$$

складаємо каркас поверхні, який можна представити у вигляді таблиці (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Дані каркаса поверхні

№ твірної, i	Напрямна кривая		Параметри положення проєкцій твірних на площинах					
	x_i	y_i	горизонтальна		поздовжньо- вертикальна		поперечно- вертикальна	
			p_i	c_i	q_i	d_i	k_i	b_i
0	0	0	p_0	c_0	q_0	d_0	k_0	b_0
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
i	x_i	y_i	p_i	c_i	q_i	d_i	k_i	b_i
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
n	x_n	y_n	p_n	c_n	q_n	d_n	k_n	b_n

7. Верхній обріз лапи l (див. рис. 6.5) визначається сукупністю точок $B_i (i=0, n)$. Для його побудови визначимо його проєкції на поперечно-вертикальній площині Ouz .

При русі лап утворюються борозни, які залежать від площі робочої поверхні і істотно впливають на випаровування вологи, тому для

полольных лап площа поверхні лапи повинна бути найменша. Зменшення площі лапи можливо за рахунок форми верхнього обрізу.

Тут можливі два варіанти, які залежать від форми верхнього обрізу. Варіант перший передбачає прямолінійний обріз. Його слід застосовувати тоді, коли максимальна висота поверхні лапи менше глибини обробітку $H_m < 0,5h$.

Другий варіант полягає в тому, що обріз виконується по увігнутій кривій, яка зменшує площу робочої поверхні лапи і борозноутворення. У цьому випадку $H_m > 0,5h$.

8. При виконанні обрізу по першому варіанту його контур буде описуватися рівнянням:

$$z = -tg\delta_1 y + H_m .$$

З геометричних міркувань (рис. 6.5) маємо:

$$tg\delta_1 = \frac{H_m - H_k}{b} ,$$

де H_m - максимальна висота поверхні лапи, м;

H_k - мінімальна висота поверхні лапи, м.

Координати точок верхнього обрізу B_i визначимо, якщо розв'яжемо систему рівнянь

$$\begin{aligned} z &= -tg\delta_1 y + H_m , \\ z &= k_i y + b_i \end{aligned} ,$$

звідки маємо $y_i = \frac{H_m}{k_i + tg\delta_1}$, $z_i = k_i \frac{H_m}{k_i + tg\delta_1} + b_i$.

9. При виконанні верхнього обрізу за другим варіантом слід визначити його рівняння. Найбільш підходящим є поліном другого ступеня

$$z = d_0 + d_1 y + d_2 y^2 \quad (6.24)$$

Для визначення коефіцієнтів знайдемо першу похідну

$$\frac{dz}{dy} = d_1 + 2d_2 y \quad .$$

Прийmemo $\frac{dz}{dy} = -1$, що відповідає куту нахилу дотичній в точці B_0

$$\delta_1 = 45^\circ .$$

Складемо систему рівнянь, поставляючи значення координат початкової $B_0(0, H_m)$ і кінцевої $B_K(b, H_K)$ точок верхнього обрізу:

$$\begin{aligned} -1 &= d_1, \\ H_m &= d_0, \\ H_K &= d_0 + d_1 b + d_2 b^2 \end{aligned} \quad .$$

Рішенням системи будуть наступні значення коефіцієнтів: $d_1 = -1$, $d_0 = H_m$ і $d_2 = \frac{1}{b^2}(H_K - H_m + b)$. Остаточнo будемо мати таке рівняння проекції верхнього обрізу лапи:

$$z = H_m - y + \frac{1}{b^2}(H_K - H_m + b) y^2 .$$

Координати точок верхнього обрізу B'_i в цьому випадку розраховують розв'язанням системи рівнянь

$$z = H_m - y + \frac{1}{b^2}(H_k - H_m + b)y^2,$$

$$z = k_i y + b_i.$$

10. При виготовленні лап необхідно будувати шаблони поверхні, які будуть визначатися рівнянням площини P_j при значенні координати $x = x_j$

Шаблони утворюються при перетині твірних поверхні поперечно-вертикальними площинами P з певним кроком Δx_j по осі Ox :

$$y_{j,i} = p_i x_i + c_i,$$

$$z_{j,i} = q_i y_i + b_i$$

при $i = (0, n)$ для j -го шаблону.

11. Розгортку поверхні будуюмо за допомогою тріангуляції, так як зазначено у пункті 5.4.4 розділу 5 «Проектування культиваторних лап з криволінійним лезом».

На рис. 6.6 і 6.7 зображені полольні лапи, що мають наступні параметри: ширина захвату $2b = 270$ мм; кут розхилу лапи $2\gamma_0 = 61^\circ$; довжина $l = 317$ мм.

Для опуклої поверхні (рис. 6.6) функція кута нахилу горизонтальної проєкції твірної має вигляд $\gamma = 0,126x + 30$, а для увігнутою (рис. 6.7) має вигляд $\gamma = -0,14x + 60$.

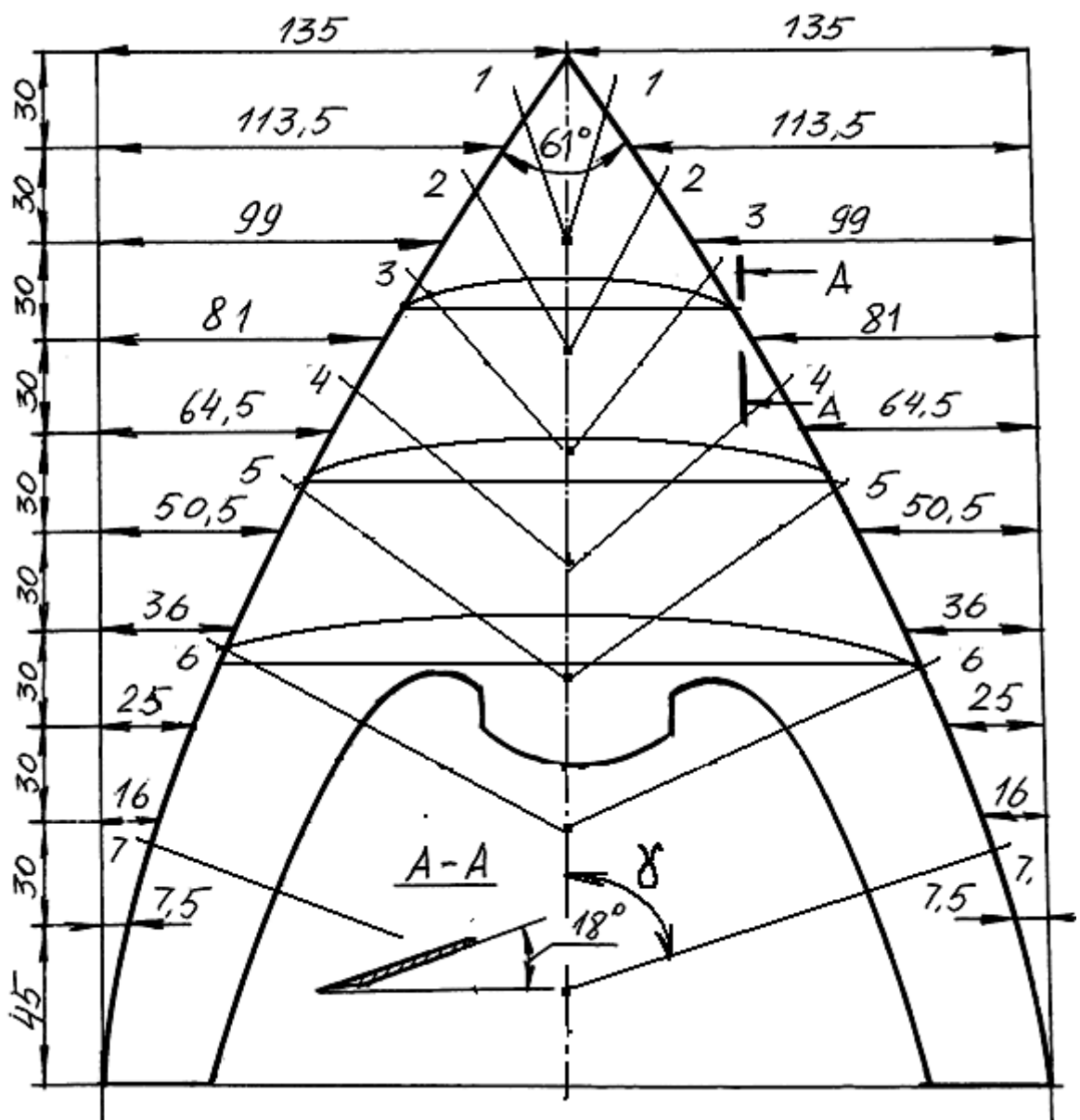


Рис. 6.6. Полольна культиваторна лапа з опуклою поверхнею

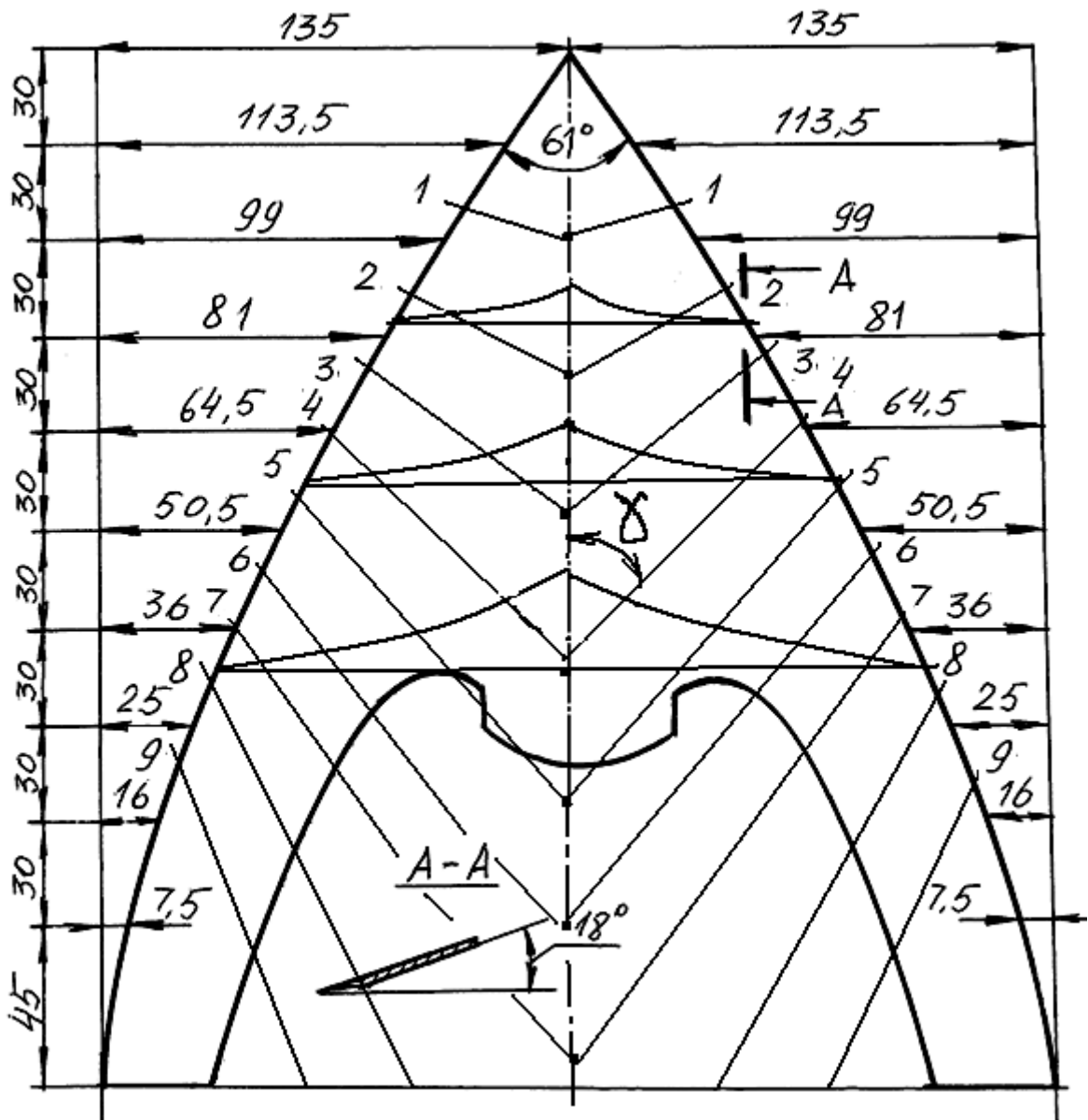


Рис. 6.7. Полольна культиваторна лапа з увігнутою поверхнею

6.5. Методика проектування розпушувальних (універсальних) культиваторних лап

6.5.1. Завдання вихідних даних

Розпушувальні культиваторні лапи призначені для передпосівного обробітку ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур. Передпосівний обробіток ґрунту виконується культиваторними лапами, які мають стрільчасту форму. Ці лапи називають універсальними, тому що вони поєднують дві операції: розпушування ґрунту та боротьбу з бур'янами.

При проектуванні лап, які призначені для розпушування ґрунту, задаються технологічними параметрами:

- глибина обробітку h , м;
- ширина захвату $2b$, м;

параметрами ґрунту:

- кут зовнішнього тертя φ_1 , град;
- кут внутрішнього тертя φ_2 , град;

параметрами поверхні:

- напрямна крива;
- закон переміщення твірної в горизонтальній площині.

Для розпушувальних лап, необхідно приймати за напрямну таку лінію, яка забезпечить інтенсивний вплив на ґрунт у момент сколювання. З цієї ж точки зору, напрямна крива повинна мати на початку максимальну кривизну. Поверхня лапи складається з двох симетричних напівповерхонь, тому напрямна крива розміщується в повздовжньо-вертикальній площині та є спільною для обох напівповерхонь.

Параметри напрямної кривої:

- початковий радіус-вектор r_0 , м;
- кут нахилу дотичної в початковій точці напрямної α_p , град;
- кут нахилу дотичної у верхній точці напрямної β , град;
- виліт напрямної l , м.

Параметрами положення кривої профілю, будуть координати полярного центра x_c, z_c , м.

6.5.2. Побудова поверхні універсальної культиваторної лапи

Так як лобова проекція лапи значно менша ніж переріз скиби ґрунту, приймаємо розгортну поверхню $\lambda = 0$.

1. Задаємося системою координат та визначаємо кут нахилу дотичної в початковій точці напрямної кривої, яка співпадає з початком координат. У цьому випадку для якісного розпушування ґрунту необхідно приймати значення кута розпушування $\alpha_p = 28^\circ$ [52, 53] (рис. 6.11).

2. В якості напрямної кривої приймемо криву основу на зворотній залежності коефіцієнта защемлення, який характеризує ступінь взаємодії грудок ґрунту між собою [76]. Рівняння цієї залежності має вигляд

$$K_{зц} = K_{зцо} e^{-w\varphi},$$

де $K_{зцо}$ - початковий коефіцієнт защемлення, що визначається кутом нахилу дотичної в початковій точці напрямної кривої, відн. од;
 φ - полярний кут повороту радіус-вектора, рад.

Рівняння напрямної має вигляд

$$r = \frac{d e^{w\varphi}}{2f_2 K_{зщ0}} = r_0 e^{w\varphi} ,$$

де f_2 - внутрішній кут тертя ґрунту, відн. од;

d - середній діаметр грудок ґрунту, мм,

$r_0 = \frac{d_0}{2f_2 K_{зщ0}}$ - початковий радіус-вектор напрямної кривої, мм.

3. Початковий коефіцієнт защемлення визначимо за номограмою, яка наведена на рис. 6.8.

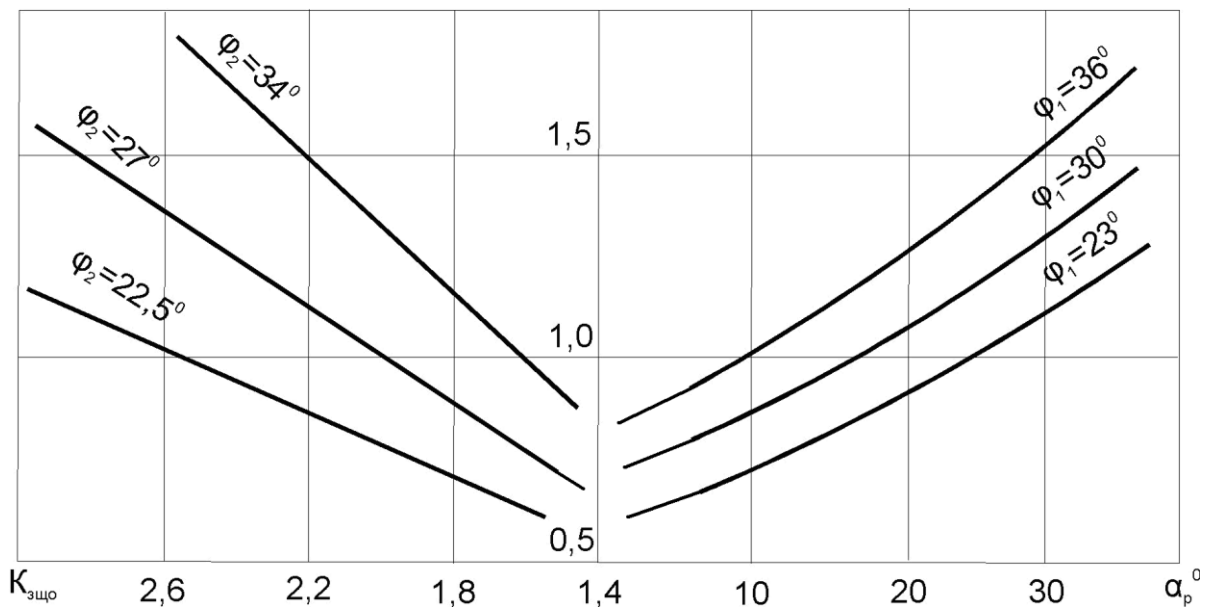


Рис. 6.8. Номограма для визначення початкового коефіцієнта защемлення

4. Задаємося початковим розміром грудок ґрунту d_{i0} та вираховуємо початковий радіус-вектор напрямної кривої:

$$r_0 = \frac{d_{i0}}{2f_2 K_{зщ0}}$$

5. Будуємо напрямну криву за схемою яка наведена на рис. 6.9.

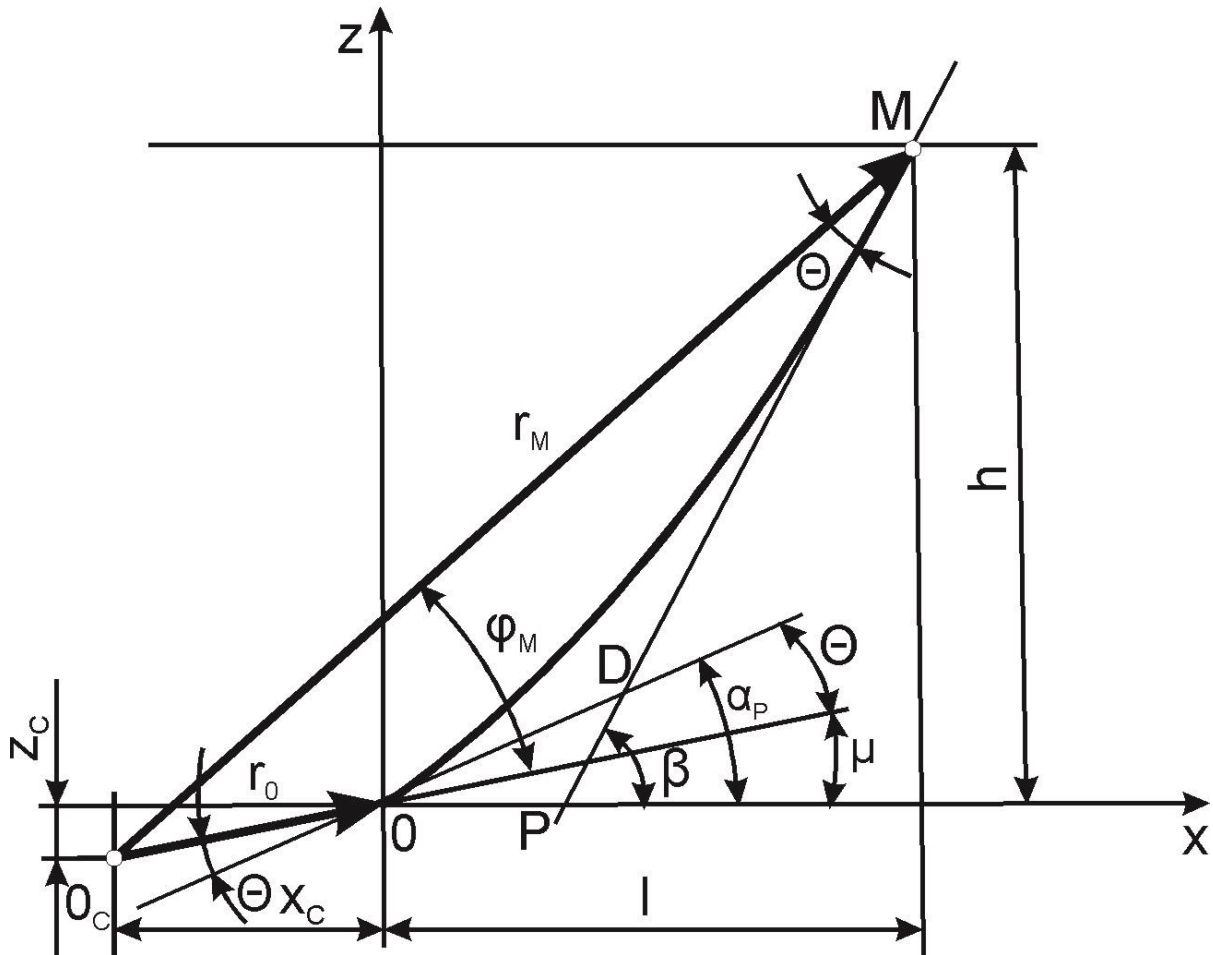


Рис. 6.9. Схема проектування напрямної на базі зворотної експоненціальної залежності коефіцієнта защемлення

Напрямна крива плавно переходить в стояк, на якій кріпиться лапа, тому кут нахилу асимптоти β приймаємо рівний 90^0 .

Визначаємо полярний кут розхилу коли радіус-вектор в точці M :

$$\varphi_M = \beta - \alpha_P$$

Задавшись вильотом напрямної кривої та глибиною обробітку, визначаємо кут між радіус-вектором і дотичною:

$$\theta = \operatorname{arccctg} \left\{ \frac{1}{\varphi_M} \left[\ln(h \cos \mu - l \sin \mu) - \ln \left[h \cos(\varphi_M - \mu) - \sin(\varphi_M - \mu) \right] \right] \right\}.$$

Розв'язком нелінійного рівняння визначаємо кут нахилу початкового радіус-вектора:

$$\mu = \operatorname{arctg} \left(\frac{1 - \operatorname{tg} \alpha_p \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{tg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \theta} \right).$$

Визначаємо координати полярного центра:

$$z_c = -r_o \sin \mu,$$

$$x_c = -r_o \cos \mu.$$

6. Задаємось функцією закону переміщення твірної в горизонтальній площині. Тут можливі два варіанти функції кута нахилу твірної в горизонтальній площині $\gamma = \gamma(\varphi)$, наведені на рис. 6.10.

В першому варіанті функція, $\gamma = \gamma(\varphi)$ починаючи з деякого значення γ_0 зростає, а в другому - зменшується. У зв'язку з тим, що площа робочої поверхні лапи невелика, функцію кута нахилу твірної, можна описати лінійно:

$$\gamma = k\varphi + \gamma_0,$$

яка буде відрізнятися за варіантами тільки знаком при коефіцієнті k .

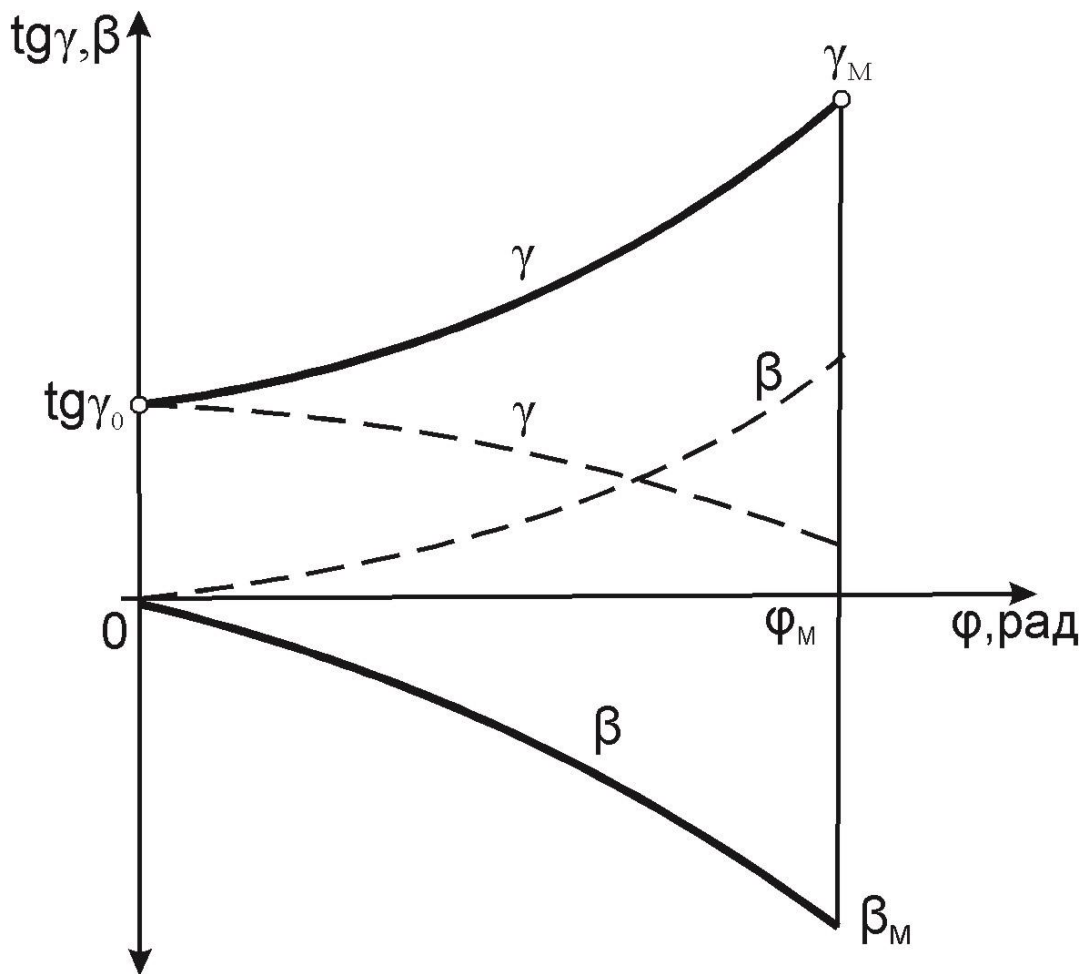


Рис. 6.10. Можливі варіанти функцій кутів нахилу проекції твірних

Варіант вибору функції $\gamma = \gamma(\varphi)$ залежить від ґрунту. Для суглинків і важко суглинкових чорноземів слід приймати функцію $\gamma = \gamma(\varphi)$, яка зростає. В цьому випадку зростання кута γ буде сприяти розпушуванню по мірі входження леза в ґрунт. Функція яка зменшується при коефіцієнті $-k$, буде забезпечувати розпушування супіщаних ґрунтів.

Для розпушувальних лап необхідно приймати прямолінійне лезо, яке забезпечує одночасне сколювання ґрунту по всій його довжині. В цьому

випадку лезо лапи буде співпадати з початковою твірною, тому кут її нахилу вибирається з умови ковзання бур'янів:

$$\gamma_0 < 90^\circ - \varphi_3,$$

де φ_3 - кут тертя бур'янів по сталі, град.

7. Для формування поверхні запишемо всі функції, які входять в диференційне рівняння положення твірних.

Рівняння напрямної кривої в параметричному вигляді:

$$z = -z_c + r_0 e^{w\varphi} \sin(\varphi - \mu),$$

$$x = -x_c + r_0 e^{w\varphi} \cos(\varphi - \mu),$$

$$y = 0.$$

$$\operatorname{tg} \gamma = k\varphi + \operatorname{tg} \gamma_0.$$

8. Диференціюємо вказані функції по параметру φ який є полярним кутом повороту радіус-вектора:

$$z'_\varphi = \frac{dz}{d\varphi} = r_0 [We^{w\varphi} \sin(\varphi - \mu) + e^{w\varphi} \cos(\varphi - \mu)],$$

$$x'_\varphi = \frac{dx}{d\varphi} = r_0 [We^{w\varphi} \cos(\varphi - \mu) - e^{w\varphi} \sin(\varphi - \mu)],$$

$$y'_\varphi = \frac{dy}{d\varphi} = 0,$$

$$p'_\varphi = \frac{d}{d\varphi} \operatorname{tg} \gamma(\varphi) = k.$$

9. Підставляємо значення диференціалів в диференціальне рівняння положення твірних і враховуючи, що поверхня разгортна $\lambda = 0$ будемо мати:

$$q' + q \frac{p'_\varphi x'}{y' - x'_\varphi p} = \frac{p'_\varphi z'}{y' - x'_\varphi p}.$$

Початкове значення першої похідної має значення $q'_0 = \operatorname{tg} \beta_0$ де $\beta = 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2}$.

Інтегруючи, отримаємо залежність кута нахилу твірної на провздожньо-вертикальній площини:

$$q = \operatorname{tg} \beta(\varphi).$$

10. Каркас поверхні будуємо за схемою (рис. 6.11). Одночасно з інтегруванням визначаємо координати напрямної кривої

$$z_i = -z_c + r_0 e^{w\varphi_i} \sin(\varphi_i - \mu),$$

$$x_i = -x_c + r_0 e^{w\varphi_i} \cos(\varphi_i - \mu),$$

Параметри положення твірних

$$p_i = \operatorname{tg} \gamma_i, \quad c_i = y_i - x_i \cdot \operatorname{tg} \gamma_i,$$

$$q_i = \operatorname{tg} \beta_i, \quad d_i = -x_i \cdot \operatorname{tg} \gamma_i,$$

$$k_i = \operatorname{tg} \delta_i, \quad b_i = -y_i \cdot \operatorname{tg} \delta_i, \quad \text{де } \varphi_i = \Delta\varphi \cdot i,$$

де $\Delta\varphi$ - крок інтегрування.

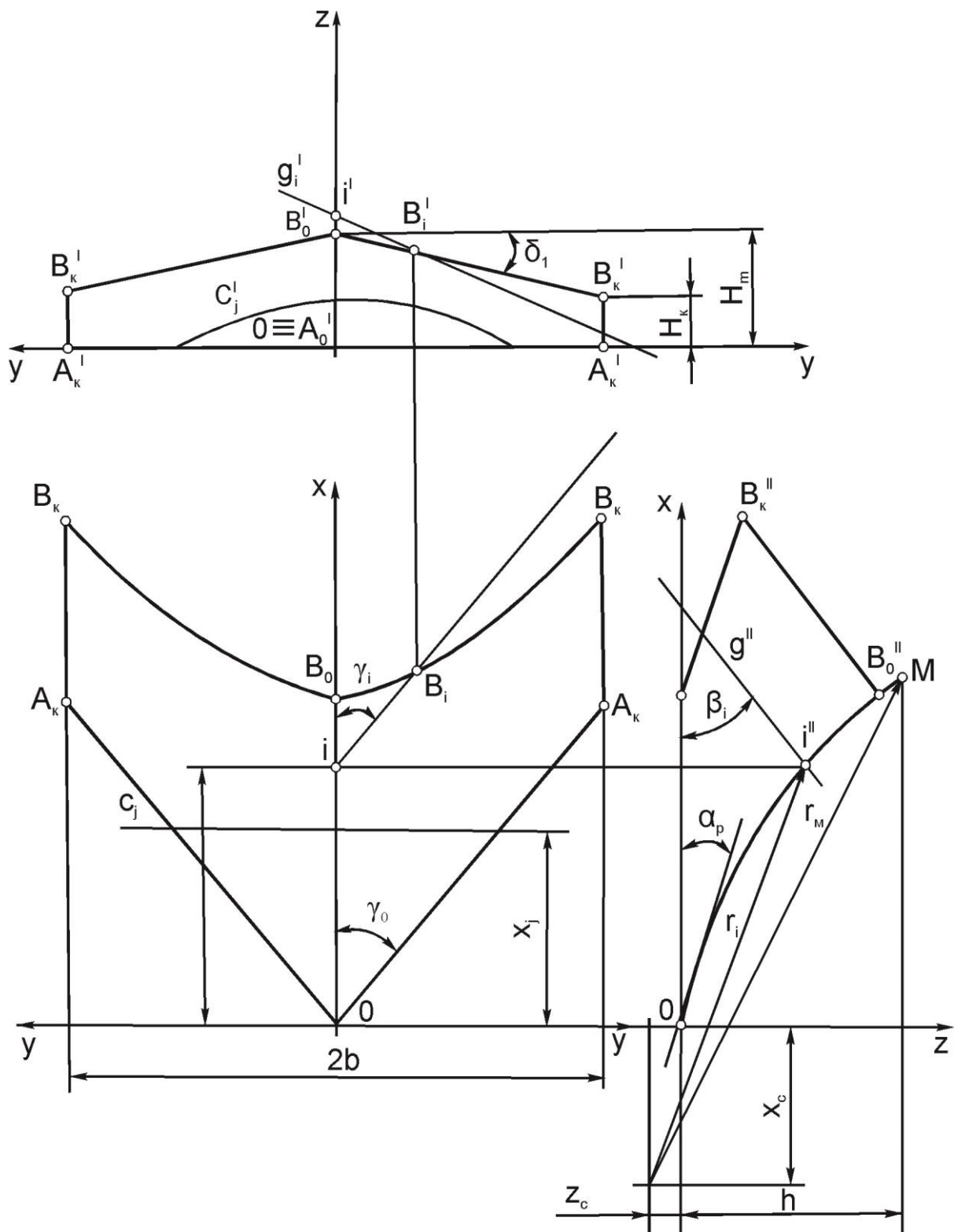


Рис. 6.11. Схема побудови поверхні розпушувальної лапи

Складаємо каркас поверхні, результати наведені у табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Дані каркаса поверхні

№ твірної, i	Напрямна крива			Параметри положення проєкцій твірних на площинах					
	φ_i	x_i	z_i	горизонтальна		поздовжньо-вертикальна		поперечно-вертикальна	
				p_i	c_i	q_i	d_i	k_i	b_i
0	μ	x_μ	z_μ	p_0	c_0	q_0	d_0	k_0	b_0
.
.
i	i	x_i	y_i	p_i	c_i	q_i	d_i	k_i	b_i
.
.
n	φ_M	x_M	y_M	p_n	c_n	q_n	d_n	k_n	b_n

11. Верхній обріз лапи виконаємо прямолінійним, який описаний рівнянням:

$$z = -tg\delta_1 y + H_m ,$$

де H_m - максимальна висота поверхні лапи в поздовжньо-вертикальній площині симетрії, мм;

З геометричних міркувань (рис. 6.11) маємо:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{H_m - H_K}{b},$$

де H_K - мінімальна висота поверхні крила лапи, м.

12. Координати точок верхнього обрізу B_i на поперечно-вертикальній площині Oyz буде визначатись розв'язанням системи рівнянь:

$$\begin{cases} z = -\operatorname{tg} \delta_1 y + H_m, \\ z = k_i y + b_i \end{cases}$$

звідки будемо мати

$$y_i = \frac{H_m - b_i}{k_i + \operatorname{tg} \delta_1},$$

$$z_i = k_i \frac{H_m - b_i}{k_i + \operatorname{tg} \delta_1} + b_i$$

В горизонтальній площині Oxu визначимо координату x_i з рівняння:

$$x_i = \frac{1}{p_i} \left(\frac{H_m - b_i}{k_i + \operatorname{tg} \delta_1} - c_i \right),$$

В результаті розрахунків буде сформовано масив координат точок верхнього обрізу лапи $B_i(x_i, y_i, z_i)$:

$$B = \begin{vmatrix} x_0, x_1, x_2, \dots, x_n \\ y_0, y_1, y_2, \dots, y_n \\ z_0, z_1, z_2, \dots, z_n \end{vmatrix}.$$

13. Для побудови шаблонів поверхні визначаємо відстань між ними:

$$\Delta_x = \frac{x_K}{s},$$

де s - кількість шаблонів поверхні;

x_K - координата кінця леза лапи, яка відповідає ширині півзахвату, мм.

Координати j -го шаблону визначаємо з виразу:

$$y_{j,i} = p_i x_i + c_i,$$

$$z_{j,i} = q_i y_i + b_i$$

де $x_j = \Delta_x \cdot j$, $j = (0, s)$.

В результаті розрахунків будемо мати масив координат j -го шаблону:

$$C_j = \begin{vmatrix} x_j, x_j, x_j, \dots, x_j \\ y_{j,0}, y_{j,1}, y_{j,2}, \dots, y_{j,n} \\ z_{j,0}, z_{j,1}, z_{j,2}, \dots, z_{j,n} \end{vmatrix}.$$

14. Розгортку поверхні будемо за допомогою триангуляції, так як наведено у пункту 5.4.4 розділу 5 «Проектування культиваторних лап с криволінійним лезом».

Наведену методику побудови поверхні можна реалізувати як в графічному так і в графоаналітичному варіанті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдотьев Е.Я. Геометрия роющих и режущих органов растений и животных // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К.: Будівельник, 1982 - Вып. 33. – С. 37-39.
2. Бабицкий Л.Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. – К.: Урожай, 1998. – 164 с.
3. Бабицкий Л.Ф., Бауков А.В. Определение основных геометрических параметров зубчатых роющих органов биологических прототипов землероев // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов / Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1976. – Вып. 118. – С. 51-56.
4. Бабицкий Л.Ф., Витвицкий А.Г. Перспективы создания рабочих органов плоскорезов-рыхлителей почвы // Механизация сельскохозяйственного производства / Научные труды КГАУ. – Симферополь, 2000. – Вып. 65. – С. 15-19.
5. Бауков А.В. Влияние угла наклона рабочего органа на глубину проникновения пластических деформаций в почве / А.В. Бауков // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов: труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1970. – Вып. 56. – С. 145–147.
6. Бауков А.В. Поперечный профиль рыхлительного рабочего органа и процесс трещинообразования / А.В. Бауков // Почвообрабатывающие и посевные машины : труды МИМСХ. – Мелитополь, 1967. – Т. V, вып. III. – С. 22–34.

7. Бауков А.В., Кушнарев А.С. Использование методов механики сплошных сред при проектировании рыхлительных рабочих органов культиваторов // Вопросы механизации сельского хозяйства. – Мелитополь, 1971. – С. 17-32.
8. Бауков А.В., Кушнарев А.С. Сравнительные испытания рыхлительных рабочих органов культиваторов в полевых условиях // Почвообрабатывающие и посевные машины / Научные труды Мелитопольского ИМСХ. – Мелитополь, 1967. – Т. У. – Вып. III. – С. 35-45.
9. Бахмутов В.А. Исследование явления залипания рабочих органов почвообрабатывающих машин и борьба с ним // Земледельческая механика / Труды ВАСХНИХ. – М.: 1961. Т. VI. – С. 23-31.
10. Бекетов П.В. Работа культиватора-плоскореза на повышенных скоростях // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1972. – № 2. – С. 19-20.
11. Бондарев С.І. Вплив ступеня спрацювання лез культиваторних лап на енергетичні та якісні показники їх роботи // Науковий вісник НАУ – К.: 2002. – Вип. 50. – С. 227-230.
12. Бугайченко Н.В. Определение коэффициента трения сорняка на лезвии лапы культиватора // Усовершенствование почвообрабатывающих машин / Материалы н.-т. с. ВИСХОМ. – М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1963. – С. 76-87.

13. Булгаков В.М. Основні напрями наукового забезпечення механізації сільського господарства та сільськогосподарського машинобудування / В.М. Булгаков, М.Д. Даценко // Вісник ДДАУ. – Дніпропетровськ. – 2009. – № 2. – С. 11–16.
14. Бурченко П.Н. Обработка почвы от В.П.Горячкина до наших дней // Техника в сельском хозяйстве. 1999. - № 6. – С. 34-36.
15. Бурченко П.Н., Иванов А.М., Кирюхин В.Г., Орлов М.Н. Энергетическая оценка корпусов КСЭ-01 и плугов для работы на повышенных скоростях // Тракторы и сельхозмашины. 1970. – № 9. – С. 22-25.
16. Бюшгенс С.С. Линейчатые развертывающиеся и косые линейчатые поверхности / С.С. Бюшгенс; под общ. ред. В.П. Горячкина // Теория конструкции и производство : сб. трудов ВИСХОМ. – М.–Л. : Сельхозгиз, 1935. – Т. 1. – С. 58–82.
17. Вилде А.Л., Цесниекс А.Х. и др. Комбинированные почвообрабатывающие машины. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 128 с.
18. Василенко Е.И. Рабочий процесс плоскореза-щелевателя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1982. - № 6. – С. 13-16.
19. Василенко П.М. Культиваторы / П.М. Василенко, П.Т. Бабий. – К. : Изд-во УАСХН, 1961. – 237 с.

20. Василенко П.М. Учение В.П. Горячкина и современные методы исследования сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1968. – № 1. – С. 10–15.
21. Василенко П.М., Короткевич П.С. О влиянии формы бокового профиля режущих рабочих органов и скорости движения на их тяговое сопротивление // Тракторы и сельхозмашины. 1965. - № 8. – С. 8-11.
22. Васильковский С.М. Работа культиваторов в условиях Среднего Поволжья // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1974. - № 2. – С. 14-17.
23. Васильковский С.М., Клюев В.В. Исследование сопротивления почвы движению культиваторной лапы. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. - № 4. – С. 37.
24. Веников А.Г. Обоснование формы бокового профиля и величины выноса рабочей части стойки плоскорежущей лапы / А.Г. Веников // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов: труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1980. – Вып. 158. – С. 39–42.
25. Войтюк Д.Г., Булгаков В.М., Дацишин А.В. Создание сельскохозяйственной техники, технический уровень которой будет отвечать современным требованиям стандартизации сертификации // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного

університету. – Вінниця: ВДАУ, 2004. – Вип. 19. – С. 145-153.

26. Волошко Н.И. Предельно допустимая толщина лезвия культиваторных лап // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1966. - № 5. – С. 55-56.
27. Гаврильченко А.С. Обоснование формы лезвия культиваторной лапы // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – Вінниця: ВДАУ, 2004. Вип.. 19. – С. 189-194.
28. Гаврильченко А.С. Параметрический метод проектирования полольных культиваторных лап с криволинейным лезвием // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Вип. 20. Механізація сільськогосподарського виробництва. – Х.: ХДТУСГ, 2003. – С. 224-228.
29. Гаврильченко А.С. Проектирование универсальных культиваторных лап с учетом скорости обработки // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2005. Вип. 26. – с. 48-55.
30. Горячкин В.П. Собрание сочинений; Т. 1-3, Издательство «Колос», М.: 1968.
31. Григорян Ш.М., Сухудян Р.А. Обоснование параметров полольных лап / Труды Арм. НИИМЭСХ. Ереван. – Вип. 5, 1968. – С. 279-293.
32. Гуков Я.С. К вопросу обоснования угла раствора лемехов рабочего

органа плоскореза-глубокорыхлителя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный научно-технический сборник. – Киев, 1982. – Вип. 53. – С. 59-63.

33. Гуков Я.С. Обґрунтування кута різання робочих органів культиваторів-розпушувачів // Вісник аграрної науки, 1998. - № 11. – С. 54-57.
34. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-прінт, 1999. – 280 с.
35. Дроздов В.Н., Сердечный А.М. Комбинированные почвообрабатывающие посевные машины. – М.: Агропромиздат. 1988. – 112 с.
36. Кириченко А.С. Тяговое сопротивление плоскорезущего рабочего органа // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1970. - № 1. – С. 40-41.
37. Кобець А.С. Основи теорії робочих органів сільськогосподарських машин. – Дніпропетровськ. 1999. – 204 с.
38. Козаченко О. Обґрунтування профілю леза лапи культиватора мінімальної енергоємності / О. Козаченко, О. Шкрегель, О. Блезнюк // Вісник Львівського національного аграрного університету. – Львів, 2008. – Т. 2, № 12. – С. 347–353.

39. Коломиец С.М. Описание реакций почвы на рабочие органы культиватора // Механізація сільськогосподарського виробництва / Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2000. – Вип. 1. – С. 280-285.
40. Концепція розроблення системи машин для виробництва сільськогосподарської продукції / Я.С. Гуков, М.І. Грицишин, Л.В. Погорілий [та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 9. – С. 48–50.
41. Корабельский В.И., А.С.Павлоцкий. К вопросу теоретического исследования процесса деформации почвы клином с целью его геометрического моделирования // Сельскохозяйственные машины / Сборник научных трудов МИИСП. 1973. – Вып. 1. – Часть II. – Т. X. – С. 48-51.
42. Корабельский В.И., Павлоцкий А.С. К вопросу комплексного геометрического моделирования процесса деформации и разрушения почвы клином различной геометрии // Почвообрабатывающие и посевные машины и динамика агрегатов / Труды ЧИМЭСХ. 1974. – Вып. 89. – С. 104-108.
43. Кострицын А.К. К обоснованию параметров рабочих органов к плугам и безотвальным рыхлителям для щелевания дна борозды / Труды ВИМ. – М.: 1981. – Т. 90.
44. Кострицын А.К. Об угле сдвига рабочими органами почвообрабатывающих орудий // Механико-технологические

основы защиты почв от эрозии / Труды ВИМ. – М.: 1983. – Т. 96. – С. 102-107.

45. Кравченко Б.И. Определение сил взаимодействия между сорняками и лезвием и величины перекрытия лап // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1971. - № 10. – С. 42-44.
46. Кравчук В.И., Голобородько В.Т., Николаева Л.Г. Использование стрелчатых лап, разработанных по условиям минимального угла резания и деформации // Механізація сільськогосподарського виробництва / Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2000. – Вип. 1. – С. 185-193.
47. Кривошапко С.Н. Торсовые поверхности и оболочки : справочник / С.Н. Кривошапко. – М. : Изд-во УДН, 1991. – 287 с.
48. Кувшинов А.А., Гальцов В.В. и др. Усовершенствование рабочих органов культиваторов // Механизация сельскохозяйственного производства / Научные труды Крымского государственного аграрного университета. – Симферополь, 1999. – Вып. 59. – Часть II. – С. 46-50.
49. Кулен А., Кунперс Х. Современная земледельческая механика. – М.: Агропромиздат, 1986. – 394 с.

50. Кушнарєв А.С. Механика почв: задачи и состояние работ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. - № 3. – С. 9-13.
51. Кушнарєв А.С. Некоторые закономерности деформации почвы / А.С. Кушнарєв, А.В. Бауков // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов : труды ЧИМЭСХ. – 1970. – Вып. 33. – С. 44–49.
52. Кушнарєв А.С. Проектирование рыхлительных рабочих органов культиваторов / Кушнарєв А.С., Бауков А.В., Найдыш В.М. – К. : Изд-во УСХА, 1979. – 20 с.
53. Кушнарєв А.С. Рабочие органы для почвозащитной технологии / А.С. Кушнарєв // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 5. – С. 12–15.
54. Кушнарєв А.С. Рыхлительная лапа культиватора, рабочей поверхностью которой является отсек поверхности третьего порядка с двумя семействами круговых образующих / А.С. Кушнарєв, В.М. Яхненко // Повышение эффективности использования широкозахватных и скоростных машинно-тракторных агрегатов : научные труды УСХА. – К., 1977. – Вып. 141. – С. 150–153.
55. Найдыш В.М. Конструирование поверхностей из многопараметрических множеств линий и поверхностей / В.М. Найдыш // Научные труды Украинской сельскохозяйственной

академии. – К., 1980. – Вып. 234. – С. 141–144.

56. Найдыш В.М. Конструирование поверхностей, проходящих через их специальные линии / В.М. Найдыш // Известие высших учебных заведений : авиационная техника. – 1981. – № 2. – С. 88–90.
57. Найдыш В.М. Развертывающиеся линейчатые поверхности, заданные линией пространства параметров / В.М. Найдыш, И.Г. Балюба // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К., 1979. – Вып. 27. – С. 89–90.
58. Науково-технічна політика в сільському господарстві / В.М. Булгаков, В.В. Адамчук, Д.Г. Войтюк [та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2007. – № 3. – С. 5–10.
59. Осадчий А.П. Сравнительный теоретический анализ тяговых сопротивлений клина при косом и лобовом резании // Земледельческая механика / Труды ВАСХНИЛ. – М.: 1969. – Т. XII. – С. 327-337.
60. Осадчий А.П. Уравнение усилий скалывания и излома пласта почвы и других материалов // Земледельческая механика / Труды ВАСХНИЛ. – М.: 1968. – Т. X. – С. 248-256.
61. Панов И.М. Перспективы развития конструкций почвообрабатывающих машин и орудий. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 3, 1987. – С. 13-16.

62. Панов И.М. Почвообрабатывающая техника: состояние и проблемы развития // Тракторы и сельскохозяйственные машины. № 11, 2003. – С. 9-11.
63. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А.Н. Панченко. – Днепропетровск : ДГАУ, 1999. – 140 с.
64. Пастухов В.І., Фесенко Г.В., Фесенко Т.Г. Розробка робочого органу культиватора для біологічної системи землеробства // Механізація сільськогосподарського виробництва / Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. –Х.: 2002. – Вип. 12. – С. 88-90.
65. Попов И.Ф. О влиянии раствора почвообрабатывающего клина и лезвий лап культиваторов // Земледельческая механика / Труды ВАСХНИЛ, 1969. – Т. XII. – С. 345-348.
66. Рашевский П.К. Курс дифференциальной геометрии. – М.: ГИТТЛ. 1956. – 420 с.
67. Рыков В.Б., Коптев А.В., Тараник В.И. Новый стерневой культиватор // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1992. - № 3-4. – С. 17-18.
68. Рябцев Г.А. Влияние подвески лап на подрезание сорняков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1974. - № 6. – С. 46-47.

69. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М. : Машиностроение, 1965. – 308 с.
70. Синеоков Г.Н. Рабочие органы культиваторов / Г.Н. Синеоков // Теория, конструкции и производство сельскохозяйственных машин. – М. : Сельхозиздат, 1936. – Т. 4. – С. 402–418.
71. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
72. Тищенко С.С. Геометрическая адаптация поверхностей почвообрабатывающих рабочих органов к выполняемому процессу / С.С. Тищенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59. – Т. 1. – С. 110–114.
73. Тищенко С.С. Изучение динамических характеристик отвальных рабочих органов почвообрабатывающих машин / С.С. Тищенко, В.А. Дубровин // Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roslinney. – Warszawa, 2002. – S. 385–389.
74. Тищенко С.С. Обобщенная геометрическая модель адаптивной поверхности рабочего органа почвообрабатывающей машины / С.С. Тищенко, Б.А. Волик // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2001. – Вип. 2. – С. 39–44.
75. Тищенко С.С. Проектирование стрельчатых культиваторных лап с

криволинейным лезвием / С.С. Тищенко // Науковий вісник НАУ. – К. : НАУ, 2004. – Вип. 73. – С. 304–309.

76. Тищенко С.С. Проектування напрямних кривих поверхонь ґрунтообробних робочих органів із заданою кривиною/ С.С. Тищенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України – 2010. В. 144. Ч. 3 Серія «Техніка в АПК» - С.243-252
77. Тищенко С.С., Гаврильченко А.С., Ботвинский В.В. Проектирование стрельчатых культиваторных лап с криволинейным лезвием на основе логарифмической спирали // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ, 2004. – Вип. 73. – С. 304-309.
78. Тищенко С.С., Гаврильченко А.С., Волик Б.А. К динамике движения сорняков по полевой культиваторной лапе // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КДТУ. 2003. – Вип.. 33. – С. 95-99.
79. Чиковани А.Ш. Обоснование параметров скоростных культиваторных лап // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1975. - № 2. – С. 11-13.
80. Шанина З.М., Кушнарев А.С., Хохотва А.А., Дядечко М.Н., Горавой В.К. Плоскорез с зубчатыми рабочими органами // Земледелие. 1984. - № 3. – С. 62.

81. Шевченко И.А. Разработка и совершенствование технологий и технических средств для обработки почвы в аспекте их агрофизических показателей. – Варшава: IBM i ER. 1997. – 125 с.
82. Яхненко В.М. Конструирование поверхностей подерным способом // Кибернетика графики и прикладная геометрия поверхностей / Труды МАИ. – М.: 1972. – Т. IX. – Вып. 243. – С. 84-87.
83. Яхненко В.М. Методика проектирования рыхлительных лап культиваторов, рабочей поверхностью которых является отсек поверхности третьего порядка с двумя семействами круговых образующих / В.М. Яхненко // Аналитические и графические методы рационального конструирования поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин : научные труды УСХА. – К., 1974. – Вып. 129. – С. 9–12.
84. Яхненко В.М. Применение отсека поверхности третьего порядка с двумя семействами круговых образующих в качестве рабочей поверхности рыхлительной лапы культиватора // Аналитические и графические методы рационального конструирования поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих машин / Научные труды УСХА. – К.: 1974. – Вып. 129. – С. 6-8.
85. Dubrowin W., Mironienko W. Techniczne zabezpieczenie gospodarstw rolnych Ukrainy I rola doradztwa rolniczego w ich rozwoju // Rozwoj infrastruktury technicznej wsi w dzialalnosci doradztwa rolniczego. – Warszawa: IBMER, 2003. – S/ 73-80.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**ТИЩЕНКО СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ,
ДУБРОВІН ВАЛЕРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ,
ТЕСЛЮК ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ,
ВОЛЯНСЬКИЙ МИХАЙЛО СТАНІСЛАВОВИЧ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ
ТЕОРІЯ І РОЗРАХУНОК
РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН
ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

За авторським редагуванням