ЛІТЕРАТУРА

НАВЧАЛЬНО–МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи з дисципліни
«Сільськогосподарські машини
та знаряддя для рослинництва»
для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»
зі спеціалізацією
«Машини сільськогосподарського виробництва»

для здобуття освітнього рівня
«БАКАЛАВР»

Частина 1

Тернопіль – 2018

УДК 631.3
ББК 40.72
Б12

Б12 Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього рівня «бакалавр» / А.В. Бабій. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. Частина 1, 2018. – 48 с.

Пропоновані методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва» розроблені відповідно до навчальних планів, освітньо-професійних програм та освітньо-кваліфікаційних характеристик підготовки студентів освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва».

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин, протокол № _1_ від _29 серпня_ 2017 р.

Схвалено й рекомендовано до друку на засіданні науково-методичної комісії факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № _1_ від _31 серпня_ 2017 р.

Укладач: доцент Бабій А.В.

Рецензент: д.т.н., доцент Ляшук О.Л.

Відповідальний за випуск: Бабій А.В.

© Бабій А.В.
© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЗМІСТ

Вступ ---------- 4

1. Види проектів та мета курсової роботи ---------- 5

2. Тематика курсового проектування ---------- 6

3. Теоретичні відомості для дослідження параметрів різального апарату ---------- 13

3.1. Принцип роботи різальних апаратів ---------- 13

3.2. Визначення ходу і кінематика ножа ---------- 21

3.3. Траєкторія абсолютного руху точок ножа ---------- 26

3.4. Умова защемлення стебел різальною парою ---------- 28

3.5. Робочі швидкості різання ---------- 30

3.6. Площа подачі та навантаження на лезо ---------- 32

3.7. Відгин стебел і висота стерні ---------- 35

3.8. Сили, що діють на ніж ---------- 38

3.9. Визначення потужності для переміщення ножа ---------- 42

3.10. Визначення продуктивності агрегату ---------- 42

Перелік використаної літератури ---------- 43

Додатки ---------- 44

ВСТУП

Розвиток сільськогосподарського виробництва в нашій державі набирає великих обертів. При правильній державній політиці такими ж темпами повинен розвиватися і машинобудівний сектор.

Зростання виробництва продуктів тваринництва в господарствах України потребує збільшення об'ємів кормів, заготівля яких відбувається у відповідні агротехнічні терміни, причому кормове забезпечення, де переважають трав'янисті компоненти, вимагає високотехнологічного обладнання для скошування рослин у різних фазах їх розвитку з суттєво відмінними фізико-механічними властивостями. Існуючі технічні засоби й технології заготівлі кормів, як показує практика, мають низьку продуктивність, високу енергоємність і недостатню експлуатаційну надійність.

Скошування рослинної маси є енергоємною операцією технологічного процесу заготівлі сухих кормів чи кормів на основі зеленої маси. Підвищення продуктивності косарок скоротить терміни збирання врожаю зі збільшенням об'єму, причому шляхами забезпечення зростання є збільшення ширини захвату або підвищення поступальної швидкості агрегату з одночасним збільшенням відносної швидкості різання. Для косарок підпорного зрізування, як найбільш поширених та, порівняно з ротаційними, менш енергоємних, підвищення відносної швидкості руху різального апарата призводить до значного зростання величин інерційних зусиль в елементах привода машин вказаного типу.

Тому завдання курсової роботи є проведення усестороннього аналізу параметрів різального апарату з можливістю подальшого його удосконалення для забезпечення максимально ефективної роботи.

1. ВИДИ ПРОЕКТІВ ТА МЕТА КУРСОВОЇ РОБОТИ

ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 встановлює чотири стадії розробки конструкторської документації виробу: технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект та робоча конструкторська документація.

Технічна пропозиція – це сукупність конструкторських документів, які повинні містити технічні та техніко-економічні обґрунтування доцільності розробки документації виробу на основі аналізу технічного завдання замовника і різних варіантів можливих рішень виробів, їх порівняльної оцінки з врахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей розроблюваних та існуючих виробів, а також патентні дослідження.

Технічна пропозиція після узгодження і затвердження у встановленому порядку є основою для розробки ескізного або технічного проекту. Технічну пропозицію виконують згідно правил визначених ГОСТ 2.118-2013.

Ескізний проект – це сукупність конструкторських документів, які повинні містити принципові конструктивні рішення, що дають загальну уяву про будову і принцип роботи, а також дані, які визначають призначення, основні параметри і габаритні розміри розроблюваного виробу.

Ескізний проект після узгодження і затвердження у встановленому порядку є основою для розробки технічного проекту або робочої документації, і виконують згідно правил, передбачених ГОСТ 2.119-2013.

Технічний проект – це сукупність конструкторських документів, які повинні містити остаточні рішення, які дають повну уяву про будову розроблюваного виробу і вихідні дані для розробки робочої документації.

Технічний проект виконують відповідно до правил, визначених ГОСТ 2.120-2013.

Робоча конструкторська документація – це сукупність конструкторських документів, за якими можна виготовити і проконтролювати виріб.

Курсовий проект (курсова робота) — вид самостійної навчально-наукової

роботи з елементами дослідження, що виконується студентами вищих або середніх-спеціальних навчальних закладів протягом семестру з метою закріплення, поглиблення і узагальнення знань, одержаних за час навчання та їх застосування до комплексного вирішення конкретного фахового завдання.

Тематика курсової роботи зазвичай є частиною наукового пошуку відповідної кафедри факультету. Проблеми наукового пошуку, зображені в курсових роботах студентів, можуть знайти своє продовження в дипломних роботах. Таким чином забезпечується наступність науково-дослідницької діяльності студентів від курсу до курсу, послідовність засобів і форм її проведення відповідно до логіки навчального процесу.

Курсова робота з дисципліни «Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва» є роботою, що забезпечує набуття практичних навичок аналізу розглядуваних процесів та надання рекомендацій для покращення ефективності роботи окремих сільськогосподарських машин. Здобутий досвід позитивно використовується студентами для складанням державної атестації на здобуття освітньо рівня «Бакалавр». Мета роботи – систематизувати, поглибити і закріпити набуті знання, розвинути навики самостійного вирішення організаційних і технічних задач, які виникають у сільськогосподарському виробництві, а також розвиток творчої діяльності.

При виконанні курсової роботи студенти повинні проявити ґрунтовні знання з фундаментальних, професійно-орієнтованих та соціально-економічних дисциплін.

2. ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Тематика курсового проектування вибрана у чіткій відповідності до навчальних планів підготовки «Бакалаврів» даної спеціальності та робочої програми дисципліни «Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва».

Курсова робота включає аналіз конструктивних, кінематичних та енергетичних параметрів заданої сільськогосподарської машини. За аналізом конструктивних особливостей машини студент проводить розрахунок кінематичних параметрів робочих органів та призначає чи аналізує заданий режим її роботи для певних умов. В ході проведення дослідження виконуються окремі елементи розрахунків технологічних та енергетичних процесів.

Перед виконанням курсової роботи студентові видається завдання, де є вихідні дані до роботи, консультант роботи та терміни поетапного її виконання.

В даному блоці тематик курсової роботи об'єктом проектування є різальний апарат підпірного зрізування рослин.

Структура розрахунково-пояснювальної записки курсової роботи:

- титульний аркуш;
- заповнений бланк завдання;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- загальні висновки;
- перелік використаної літератури;
- додатки (за необхідністю).

Об'єм розрахунково-пояснювальної записки повинен складати 25-30 сторінок друкованого тексту формату А4. Графічна частина роботи не передбачається, за винятком необхідних пояснень, які доцільно винести у додатки.

Зміст завдання «**Дослідження параметрів різального апарату».**

За вихідними даними завдання дослідити:

- аналітичні залежності, якими описано хід і кінематику ножа різального апарату (навести основні аналітичні залежності, якими описано кінематичні параметри ножа різального апарату; за вихідними даними побудувати графіки переміщення ножа, його швидкості, прискорення; встановити максимальні значення отриманих кінематичних параметрів);

- провести розрахунок параметрів, що визначають траєкторію абсолютного руху точок ножа (виконати необхідні обчислення та побудувати траєкторію абсолютного руху точок ножа за вихідними даними);

- розкрити суть умови защемлення стебел різальною парою (навести умови защемлення рослини в розхилі заданої різальної пари залежно від вологості рослин; враховуючи, що леза різальної пари є гладкі та з насічками; отримати графіки порівняльної характеристики кутів защемлення та тертя для матеріалів, що зрізаються різальною парою (пшениці, жита та трав));

- робочі швидкості різання (описати залежності та показати графічні інтерпретації зміни швидкостей різання; в залежності від переміщення ножа та для заданої геометрії різальної пари визначити ділянку різання; встановити швидкості різання на початку ділянки різання, в кінці цієї ділянки та максимальну швидкість різання; ілюструвати отримані результати);

- площа подачі і навантаження на лезо (описати залежності та визначити площу подачі і навантаження на лезо, охарактеризувати графік проходу активних лез ножа);

- сили, що діють на ніж (за питомою роботою, що витрачається на зрізування рослин з одиниці площі визначити середнє значення опору зрізуванню; показати зміну сили інерції протягом робочого ходу ножа та встановити максимальне її значення; проаналізувати основні залежності сили тертя та знайти її максимум; показати сумарний середній опір переміщенню ножа; встановити питому вагу кожної із складових опору переміщенню ножа);

- визначити потужність для роботи ножа (встановити орієнтовне значення потужності приводу ножа, використовуючи максимальну швидкість ходу ножа та середній опір його переміщенню);

- розрахувати продуктивність агрегату;

- зробити загальні висновки по роботі (навести числові дані отриманих результатів, рекомендації щодо зміни параметрів роботи різального апарату тощо).

Вихідні дані для курсового проектування

№ варіанта	Тип машини	Тип різального апарата	Частота обертання вала кривошипа n, об/хв	Швидкість машини $V_м$, м/с	Ширина захвату машини B, м	Питома робота різання ε, $Н \cdot м / м^2$
1	косарка широкозахватна	нормального типу з подвійним пробігом ножа $S=2t=2t_0=152,4$ мм	600	1,6	6,0	150
2	косарка	низького різання $S=t=2t_0=76,2$ мм	500	1,3	3,2	180
3	косарка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=76,2$ мм	640	1,0	1,4	200
4	косарка широкозахватна	нормального типу з подвійним пробігом ножа $S=2t=2t_0=101$ мм	480	1,5	6,5	220
5	косарка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=90$ мм	530	1,65	4,0	240
6	жатка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=76,2$ мм	470	1,9	4,5	260
7	косарка широкозахватна	нормального типу з подвійним пробігом ножа $S=2t=2t_0=101$ мм	540	1,8	4,2	250
8	комбайн зернозбиральний	нормальний з одинарним пробігом ножа	680	1,7	4,0	240

№ варіанта	Тип машини	Тип різального апарата	Частота обертання вала кривошипа n, об/хв	Швидкість машини $V_м$, м/с	Ширина захвату машини B, м	Питома робота різання ε, $Н \cdot м / м^2$
		S=t=t_0=76,2 мм				
9	жатка	нормальний з одинарним пробігом ножа S=t=t_0=90 мм	440	1,65	6,0	230
10	косарка	низького різання S=t=2t_0=101,6 мм	470	1,4	1,8	220
11	косарка	низького різання S=t=2t_0=76,2 мм	430	1,5	2,1	210
12	жатка для збирання бобових культур	нормального типу з подвійним пробігом ножа S=2t=2t_0=152,4 мм	360	1,6	4,2	200
13	жатка для збирання грубостебельних культур	нормальний з одинарним пробігом ножа S=t=t_0=90 мм	580	1,2	5,2	190
14	косарка	нормальний з одинарним пробігом ножа S=t=t_0=76,2 мм	620	1,3	2,6	180
15	косарка	низького різання S=t=2t_0=101,6 мм	600	1,4	1,7	170
16	жатка	нормального типу з подвійним пробігом ножа S=2t=2t_0=152,4 мм	420	1,7	6,0	160
17	жатка бобова	нормального типу з подвійним пробігом ножа	500	1,4	4,2	150

№ ва-ріанта	Тип машини	Тип різального апарата	Частота обертання вала криво-шипа n, об/хв	Швид-кість машини $V_м$, м/с	Ширина захвату машини B, м	Питома робота різання ε, $Н \cdot м / м^2$
		$S=2t=2t_0=101$ мм				
18	косарка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=76,2$ мм	480	1,5	1,8	155
19	косарка	низького різання $S=t=2t_0=76,2$ мм	580	1,3	2,7	165
20	косарка широко-захватна	нормального типу з подвійним пробігом ножа $S=2t=2t_0=101$ мм	410	1,8	6,0	175
21	жатка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=90$ мм	415	2,0	3,7	185
22	косарка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=76,2$ мм	390	1,75	2,4	195
23	косарка причіпна	нормального типу з подвійним пробігом ножа $S=2t=2t_0=152,4$ мм	440	1,3	3,9	205
24	жатка причіпна	низького різання $S=t=2t_0=101,6$ мм	575	1,35	3,8	215
25	косарка широко-захватна	нормального типу з подвійним пробігом ножа $S=2t=2t_0=101$ мм	450	1,65	6,0	225
26	косарка	нормального типу з подвійним пробігом	400	1,45	1,5	235

№ ва-ріанта	Тип машини	Тип різального апарата	Частота обертання вала кривошипа n, об/хв	Швидкість машини $V_м$, м/с	Ширина захвату машини В, м	Питома робота різання ε, $Н \cdot м / м^2$
		ножа $S=2t=2t_0=152,4$ мм				
27	косарка	низького різання $S=t=2t_0=101,6$ мм	450	1,6	3,2	245
28	жатка	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=76,2$ мм	580	1,25	4,7	255
29	жатка для збирання грубих кормів	нормальний з одинарним пробігом ножа $S=t=t_0=90$ мм	570	1,35	3,0	140
30	косарка	низького різання $S=t=2t_0=76,2$ мм	420	1,5	1,2	145

Примітки: масу ножа (кг) визначаємо як добуток питомої маси одного метра ножа на ширину захвату машин, тобто

$$m_н = m' \cdot B,$$

де m' – питома маса одного метра ножа, $m' = 2,3 \frac{кг}{м}$;

В – ширина захвату машини, м.

Кількість сегментів визначаємо з врахуванням ширини захвату машини та ширини сегмента (геометричні характеристики різальної пари наведені у додатку В).

3. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ

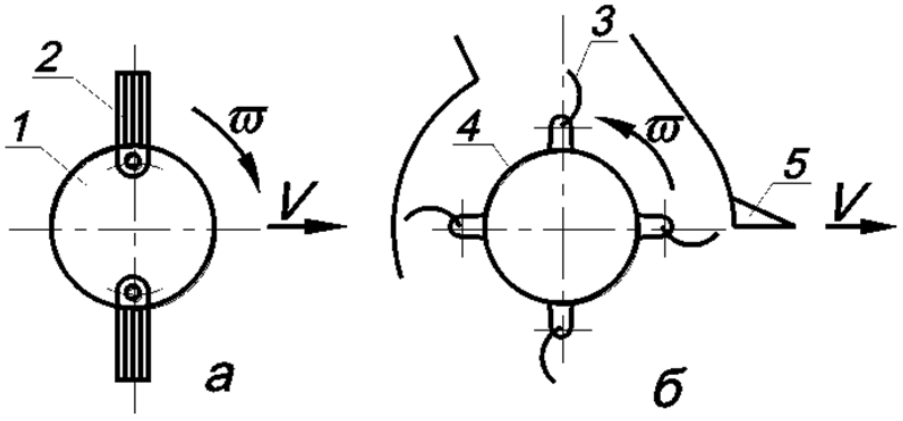
3.1. Принцип роботи різальних апаратів

Різальні апарати повинні виконувати чистий зріз рослин, без зминання, розривів, затягування і висковзування їх з-під ножів.

В основі роботи різальних апаратів можуть бути використані два принципи зрізу: безпідпірний і підпірний [1, 2].

За принципом безпідпірного зрізу працюють ротаційні різальні апарати, робочі елементи яких ножі здійснюють обертальний рух, рис. 1. Високоякісний зріз рослин без підпору можливий при коловій швидкості руху різальних елементів не менше 50...60 м/с. Опір зрізуванню при цьому погашається пружністю стебел поблизу коріння і їх інерцією.

Апарати безпідпірного різання прості за будовою та надійні в роботі, але мають суттєвий недолік – разом зі зрізом в них спостерігається небажане подрібнення стебел, значні енергозатрати на одиницю площі, косарки з такими апаратами досить металоємні.

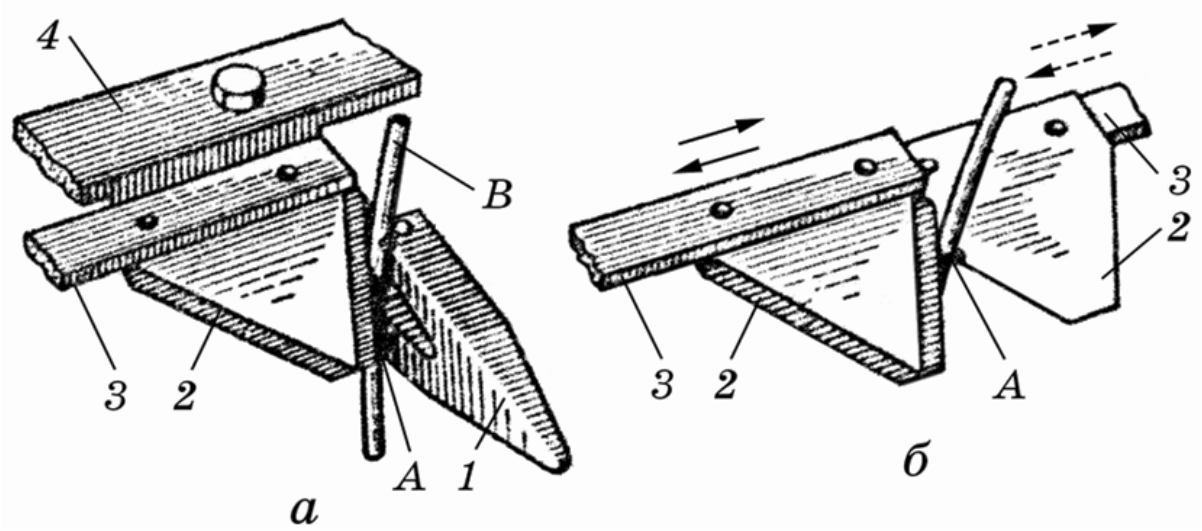


а – ротаційно-дисковий; б – ротаційно-барабанний:

1 – диск; 2 і 3 – ножі; 4 – барабан; 5 – щит

Рисунок 1 – Схема різальних апаратів безпідпірного зрізування

Принцип підпірного зрізування використовується в роботі сегменто-пальцевих і безпальцевих (двоножових) різальних апаратів, рис. 2. Перші з них мають різальну пару у вигляді сегменту 2 і протирізальної пластини пальця 1, другі – у вигляді двох сегментів протилежно рухомих ножів (або при одному нерухомому).



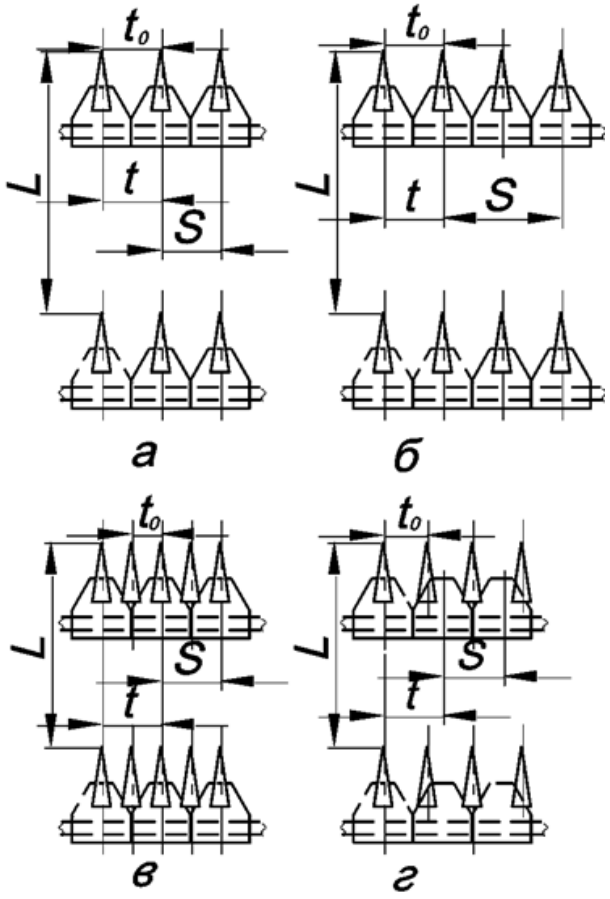
а – сегментно-пальцевий; б – безпальцевий: 1 – палець; 2 – сегмент; 3 – спинка ножа; 4 – пальцевий брус

Рисунок 2 – Різальні апарати підпірного зрізування

В сегментно-пальцевих апаратах різальна пара – сегмент 2 (рис. 2, а) та протирізальна пластина пальця 1. Сегмент підводить рослину до протирізальної пластини і, затиснувши її в розхилі цих елементів апарата, зрізає. В момент зрізу стебло (елемент В) опирається одночасно на протирізальну пластину (точка А) та на переподібний відросток, тобто на дві опори. Це зменшує імовірність прогину стебла і тим самим підвищує надійність зрізу, особливо тонкостебельних рослин, які мають незначну жорсткість.

Сегментно-пальцеві різальні апарати зрізають рослини на швидкостях 1,5...3 м/с. Вони не подрібнюють рослини та менш енергоємні, ніж апарати безпідпірного зрізування. Такі апарати знаходять широке застосування в косарках та жниварках. Але зворотно-поступальний рух ножа викликає знакозмінні інерційні зусилля, що обмежує значне підвищення робочих

швидкостей косарок і жниварок.



а – нормального різання з одинарним пробігом ножа;

б – нормального різання з подвійним пробігом ножа;

в – низького різання; г – середнього різання

Рисунок 3 – Типи сегментно-пальцевих різальних апаратів

Типи сегментно-пальцевих апаратів. Сегментно-пальцеві різальні апарати характеризуються наступними геометричними і кінематичними параметрами (рис. 3): t – крок різальної частини (відстань між осьовими лініями сегментів); t_0 – крок протирізальної частини (відстань між осьовими лініями пальців); S – хід ножа (переміщення ножа з одного крайнього положення в інше).

В залежності від співвідношення вказаних параметрів розрізняють апарати нормального різання з одинарним пробігом ножа, нормального різання з подвійним пробігом ножа, низького різання та апарат середнього різання.

Наприклад, для апарата нормального різання з одинарним пробігом ножа (рис. 3, а) є наступні співвідношення вказаних параметрів

$t=t_0=s$=76,2 мм.

Апарат нормального різання з подвійним пробігом ножа (рис. 3, б) має такі співвідношення параметрів

$2t=2t_0=s$= 152,4 мм.

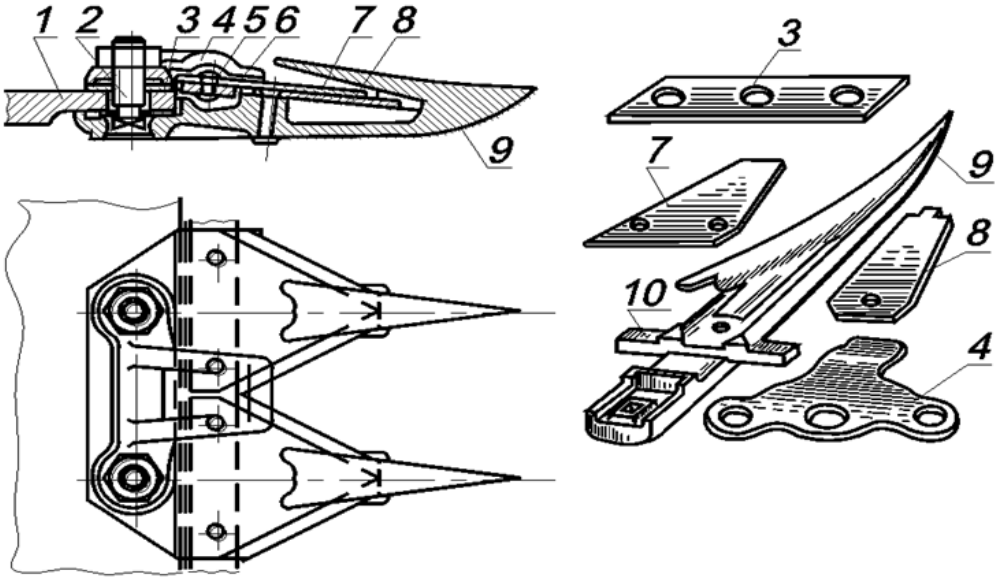
Різальний апарат низького різання (рис. 3, в) характеризується таким співвідношенням

$t=2t_0=s$=76,2 мм.

Апарат середнього різання (рис. 3, г) має співвідношення

$t=kt_0=s$=76,2 мм, де 1,2<k <1,4.

Конструкція різального апарата. На рис. 4 показана конструкція різального апарата сегментно-пальцевого типу. Різальна частина – сегменти 7



1 – пальцевий брус; 2 – болт; 3 – пластина тертя;

4 – притискна ланка; 5 – заклепка; 6 – спинка ножа; 7 – сегмент;

8 – протирізальна пластина; 9 – палець; 10 – підпори

Рисунок 4 – Сегментно-пальцевий різальний апарат

приклепані до спинки ножа 6. Протирізальні пластини 8 закріплені на пальці 9. Пальці болтами 2 прикручують до пальцевого бруса 1. Для надання жорсткості кріпленню, пальці оснащені підпорами 10.

В зібраному вигляді ніж передніми основами сегментів опирається на протирізальні пластини, а задніми – на пластини тертя 3.

Кут заточування та гострота леза сегментів впливають як на затиснення і різання стебел, так і на зносостійкість леза. Чим менший кут заточування і більша гострота леза, тим більша різальна здатність сегмента. Зносостійкість характеризує інтенсивність, з якою відбувається затуплення леза. Сегменти з малим кутом заточування і з гострим лезом затуплюються швидше. Оптимальний кут складає 19...25°, а гострота леза сегмента – 25-30 мкм.

Для приводу ножа застосовують як плоскі, так і просторові механізми, рис. 5-9. З цією метою наведемо аналіз приводних механізмів різальних апаратів сільськогосподарських машин із зворотно-поступальним рухом ножа.

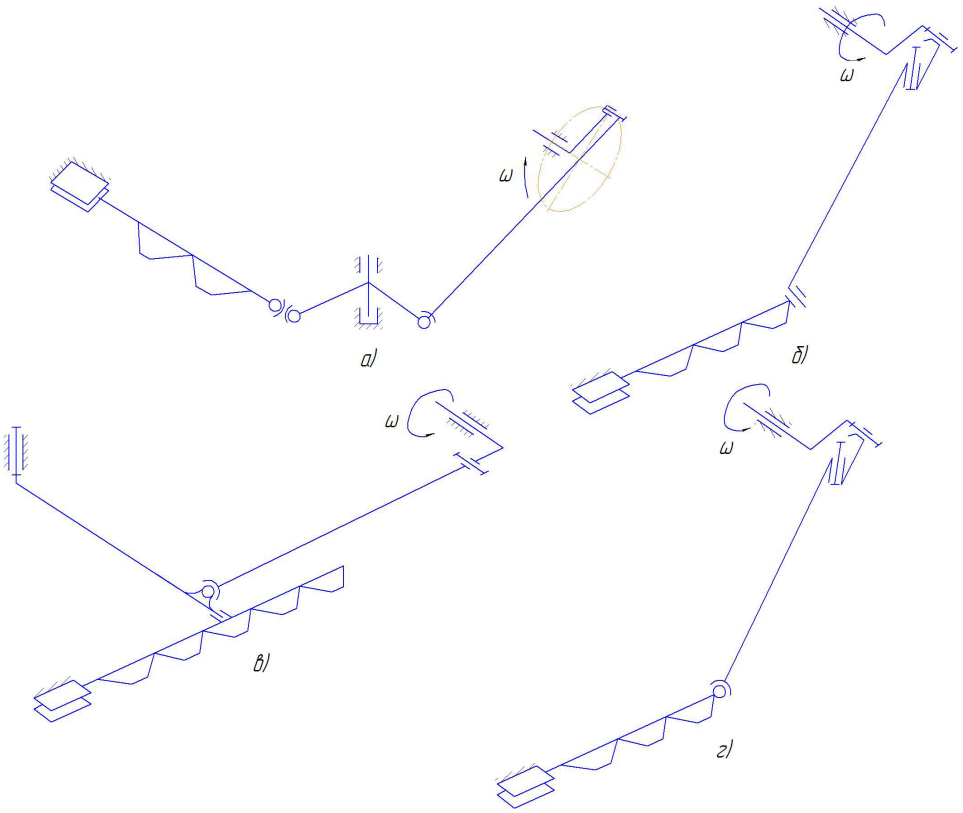


Рисунок 5 – Різні варіанти конструктивного виконання кривошипно-шатунних механізмів приводів різальних апаратів

Такі механізми можуть мати механічний, електричний, пневматичний, гідравлічний приводи, або їх поєднання. Нас в більшій мірі будуть цікавити механічні приводи різальних апаратів із зворотно-поступальним рухом ножа. Серед них можна виділити як найбільш прості та надійні такі типи приводів: кривошипно-повзунний і синусний, просторовий шестиланковий механізм, механізми коливної шайби, вилки і т.д. [3].

З наведеного переліку типів механізмів найпростішим та найпоширенішим є кривошипно-повзунний приводний механізм, рис. 5.0

На рис. 5, а – передача моменту для здійснення руху ножа здійснюється за допомогою вилки, яка шарнірно одним кінцем з'єднана з ножем, а іншим – з шатуном. На рис. 5, б і г шатун з'єднано безпосередньо з ножем тільки використані різні типи з'єднувальних шарнірів. І на рис. 5, в з'єднання ножа виконано в центральній частині спинки ножа.

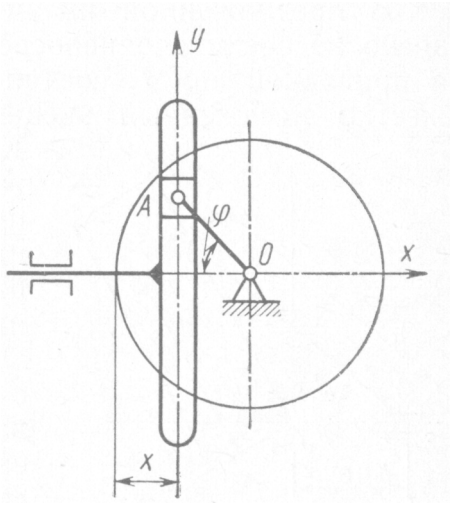
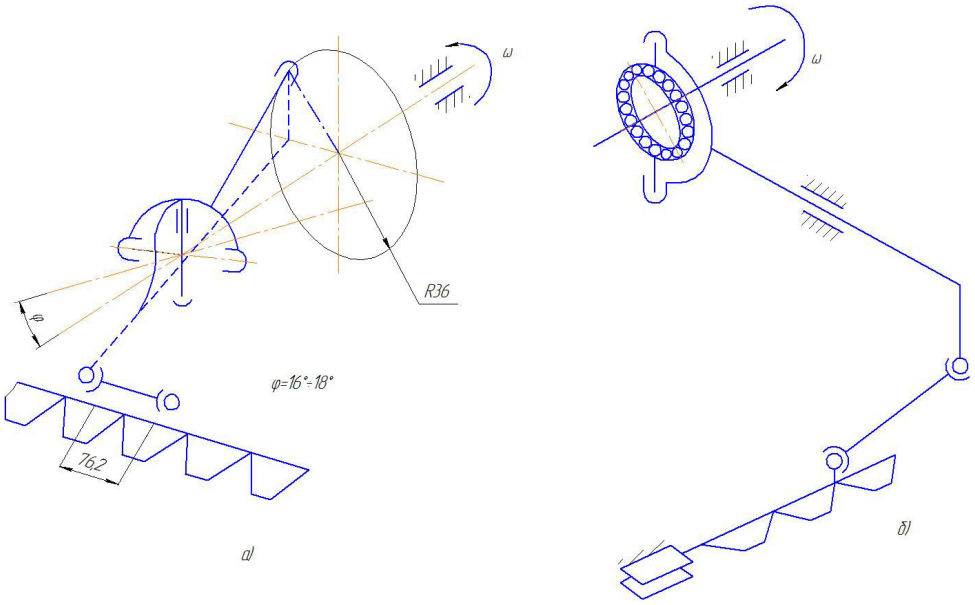


Рисунок 6 – Синусний приводний механізм

Особливістю роботи такого механізму є те, що швидкість та прискорення ножа тут змінюється за гармонійним законом коливання точки.

Питання забезпечення вигідного закону зміни швидкості та прискорення ножа дослідники вирішують по різному. Один з прикладів є надання механізму привода змінної кутової швидкості [3-5]. Звичайно, такий підхід дозволяє вирішити частину проблеми, але разом з тим ускладнюється механізм привода, що знижує його надійність та збільшує вартість.

Для привода різальних апаратів використовуються також механізми коливної шайби та коливної вилки (рис. 7), їх основною перевагою є невеликі габарити. Це дозволяє такі механізми розмістити у вигідному місці з конструктивних міркувань. Проте, такі механізми привода мають суттєві недоліки: по-перше, вони є порівняно складними; по-друге, деталі таких механізмів вимагають високої точності виготовлення та монтажу; по-третє, такі механізми мають не досить високу надійність при роботі. Крім того, суттєвим недоліком ще є неможливість використовувати в їх конструкції противаги для зрівноважування сил інерції від зворотно-поступального руху ножа.



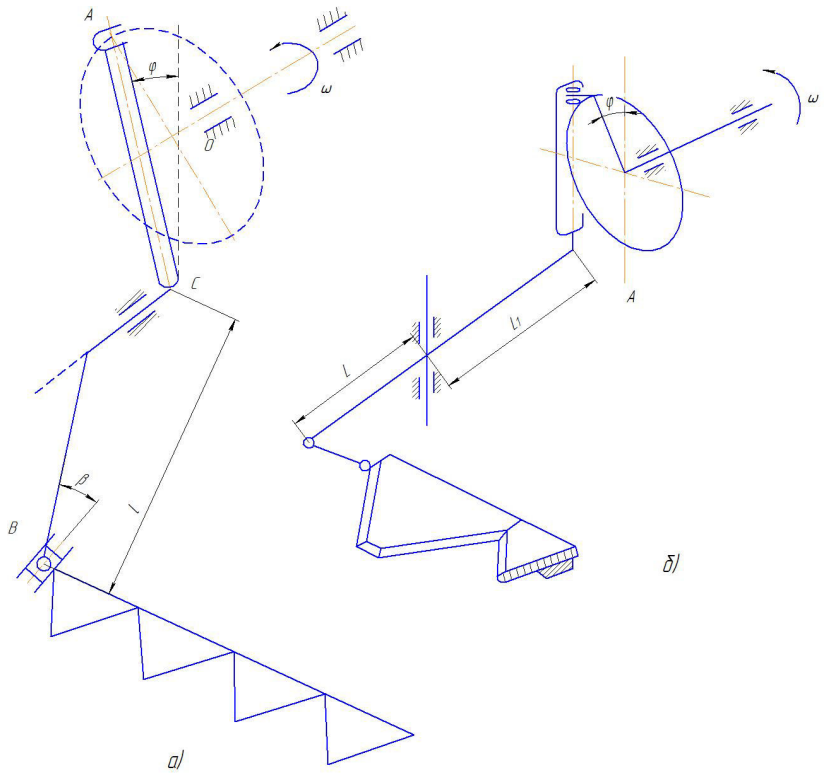
а – механізм коливної вилки; б – механізм коливної шайби

Рисунок 7 – Просторові приводні механізми

Кулісні механізми, рис. 8, використовують на косарках з фронтальним розміщенням різального апарата. У порівнянні з кривошипно-повзунним кулісний механізм є більш компактним та дозволяє своє встановлення як в центрі так і знизу пальцевого бруса [3, 6]. Недоліками таких механізмів є нерівномірність робочої швидкості ходу ножа, а його прискорення змінює свій знак та досягає значних значень. Через що виникають значні інерційні сили, які викликають суттєві вібрації всього різального апарата.

Частково вказані недоліки вирішені в кулісному механізмі з подвійним

шарнірним зв’язком куліси з кривошипом, рис. 8, б. Але загальним недоліком обох розглядуваних кулісних механізмів є складність конструкції, висока точність виготовлення деталей привода тощо.



а – простий кулісний приводний механізм; б – кулісний механізм з подвійним шарнірним зв’язком куліси з кривошипом

Рисунок 8 – Приводні кулісні механізми

Розглянемо ще один тип приводних механізмів у вигляді двох спряжених коліс, рис. 9 [6]. Причому в спряженні є одне кругле колесо, а інше не кругле. Розміщення центрів коліс та положення кривошипа показані на рис. 9. При обертанні ведучого круглого колеса, яке є в постійному зачепленні з не круглим, останнє, обертаючись, приводить в дію кривошип, а через нього і шатун. Підібравши геометрію коліс, можна забезпечити необхідний закон руху ножа на ділянці різання. Також за кінематичним аналізом такого механізму встановлено, що він забезпечує більш «м’який» закон прискорення для ножа, що суттєво знижує інерційні сили.

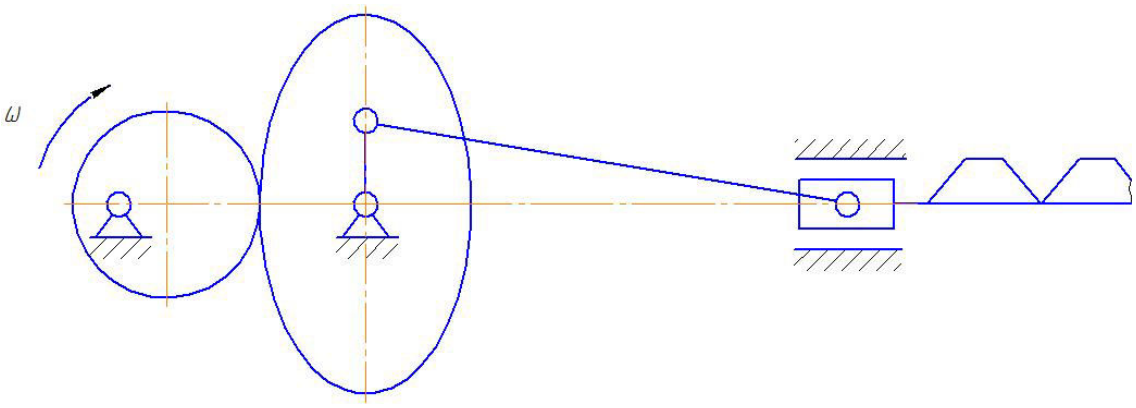


Рисунок 9 – Приводний механізм із спряженими колесами

Дуже подібним до приводного механізму із спряженими колесами є кулачковий приводний механізм.

Основним недоліком розглядуваного приводного механізму із спряженими колесами є складність реалізації представленої конструкції на практиці.

Отже, зроблений аналіз конструктивних і кінематичних особливостей приводних механізмів показує, що якість роботи різального апарата в значній мірі залежить від типу приводного механізму, який може забезпечувати той чи інший кінематичний режим роботи такого апарата. Це ж стосується і продуктивності різального апарата, яка залежить від швидкості різання.

Розглянемо кінематичні параметри приводного механізму на прикладі найпростішого – кривошипно-шатунного (кривошипно-повзунного) механізму.

3.2. Визначення ходу і кінематика ножа

У зернозбиральних машинах для приводу ножа застосовують головним чином дезаксіальні кривошипно-шатунні механізми. При цьому дезаксіал h по відношенню до радіусу кривошипа r рівний у комбайнів $(1\ldots2)r$, у жаток $(2\ldots3)r$. тоді як у косарок $h=(7\ldots8)r$. У останньому випадку у зв'язку із

зміною положення пальцевого бруса при копіюванні башмаками рельєфу значення h постійно міняється [2].

Визначення ходу ножа. Дезаксіал має вплив на хід ножа s і його кінематичну характеристику. Якщо і для центрального (аксіального) механізму $s = 2r$ то для зміщеного $s > 2r$. Це добре видно з рис. 10

$$s = BC_л - BC_п,$$

де

$$BC_л = \sqrt{(l+r)^2 - h^2} \text{ і } \quad BC_п = \sqrt{(l-r)^2 - h^2}\ .$$

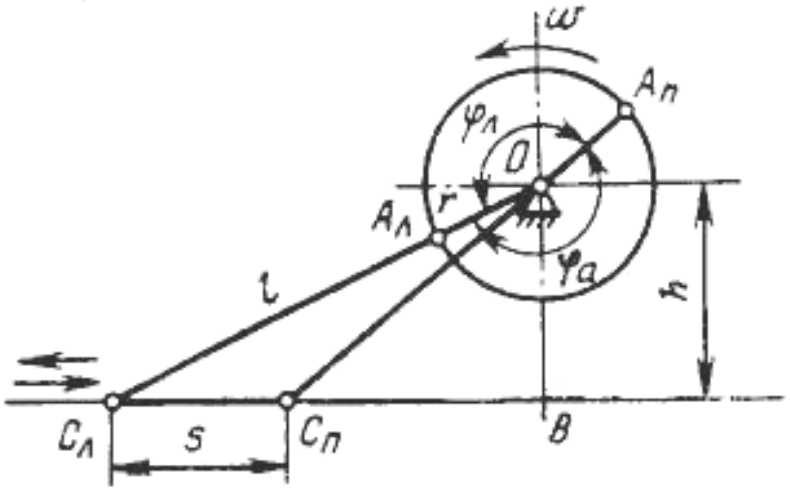


Рисунок 10 – Визначення ходу ножа різального апарату

Для комбайнів, наприклад, при $h = r$ і $l = 10r$ – хід ножа s більше $2r$ на 1%, а для косарок при $h = 7r$ і $l = 25r$ – на 7,5%.

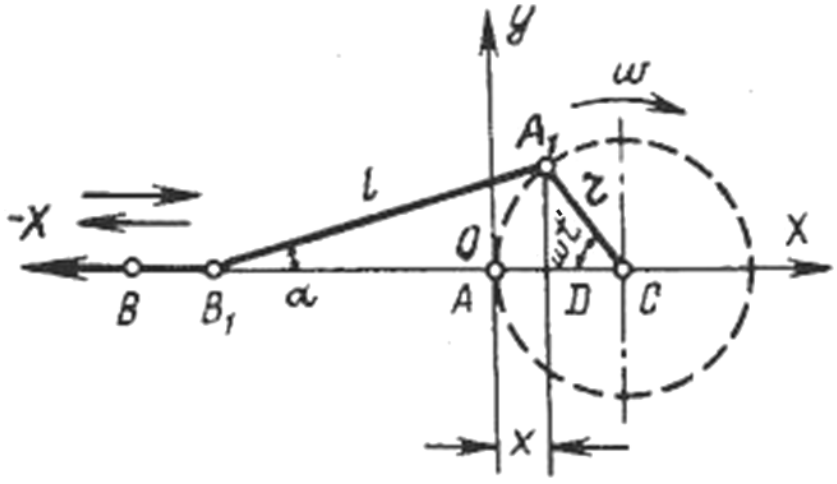


Рисунок 11 – Визначення переміщення ножа

При русі ножа вліво кут $\varphi_л$, повороту кривошипа менше, ніж кут $\varphi_п$ його повороту при русі ножа вправо. Отже, при постійній швидкості обертання кривошипного валу дезаксіального механізму час ходу ножа вліво буде меншим, ніж час зворотного ходу. Тому і середні швидкості ножа при протилежних ходах не будуть рівні. Для механізму цього типу не будуть рівні швидкості ножа навіть в моменти проходження однієї і тієї ж точки при прямому і зворотному ході.

Для більшої стійкості пальцевого бруса у вертикальній площині необхідно, щоб кривошипний вал зміщеного механізму обертався проти ходу годинникової стрілки, якщо пальцевий брус розташований зліва від кривошипа, і по ходу годинникової стрілки, якщо він розташований праворуч від кривошипа.

У цих випадках максимальна сила нормального тиску направлена вниз і притискує пальцевий брус до ґрунту, забезпечуючи стійкий хід ножа.

Кінематика ножа. Кінематичні показники ходу ножа – переміщення x, швидкість ϑ і прискорення j визначимо в залежності від кута повороту кривошипа.

Оскільки у відсотковому відношенні похибка кінцевого результату є невеликою, то для спрощення нехтуватимемо впливом кінцевої довжини шатуна та дезаксіала і визначимо x, ϑ і j для центрального кривошипно-шатунового механізму.

Переміщення ножа. Кривошип радіусом r (рис. 11), обертаючись з постійною кутовою швидкістю ω по ходу годинникової стрілки, за час t' обернеться на кут $\omega t'$ і перейде з положення A в положення A_1. При цьому ніж переміститься на відстань $x = CB - CB_1$.

З урахуванням того, що $CB = r + l$ і $CB_1 = l\cos\alpha + r\cos\omega t$, переміщення ножа буде рівне

$$x = r(l - \cos\omega t') + l(1 - \cos\alpha).$$

Оскільки $A_1D = r\sin\omega t' = l\sin\alpha$,

то

$$\sin\alpha = r\sin\omega t'/l,$$

$$\cos\alpha = \sqrt{1-(r/l)^2\sin^2\omega t'}.$$

Для існуючих механізмів відношення $r:l = 0{,}1\ldots0{,}04$. Тому без великої похибки можна прийняти $\cos\alpha = 1$.

Тоді отримаємо наступну залежність переміщення ножа від кута повороту кривошипа

$$x = r(1-\cos\omega t'). \qquad (1)$$

Якщо, скориставшись тим же рисунком, розмістимо в точці A початок прямокутних координат з осями X і Y, то і для проекції пальця кривошипа A_1 на лінію отримаємо таке ж рівняння (1), яке буде рівнянням правильного гармонійного коливання.

Швидкість і прискорення ножа. Продиференціювавши рівняння (1) за часом, отримаємо рівняння, що визначає швидкість ножа залежно від часу t' або кута повороту кривошипа $\omega t'$.

Друга похідна цього рівняння виражає значення прискорення ножа.

Якщо відлік кутів повороту кривошипа проводити не від горизонтального його положення, а від вертикального (від осі Y), то рівняння переміщення, швидкості і прискорення ножа приймають вигляд

$$x = r\sin\omega t', \qquad (2)$$

$$\vartheta = r\omega\cos\omega t', \qquad (3)$$

$$j = -r\omega^2\sin\omega t', \qquad (4)$$

З приведених залежностей виходить, що швидкість ножа пропорційна ω і r, а прискорення пропорційне радіусу і квадрату кутової швидкості. Максимального значення воно досягає при крайніх (мертвих) положеннях ножа.

Звівши праву і ліву частину рівняння (3) в квадрат, після нескладних перетворень виразимо швидкість ножа залежно від його переміщення та середнього положення $\vartheta = f(x)$

$$\vartheta^2 = r^2\omega^2 - x^2\omega^2$$

або

$$\vartheta^2/(r\omega)^2 + x^2/r^2 = 1. \qquad (5)$$

Останнім виразом є еліпс. Таким чином, графік зміни швидкості ножа визначається еліпсом з півосями r і ωr, центр якого співпадає з центром кривошипного валу.

Для побудови еліптичного графіка $\vartheta = f(x)$ приймають відношення масштабів для швидкостей і переміщень $M_\upsilon / M_x = 1/10;\ 1/20;\ 1/30$ і так далі. Якщо ж взяти як окремий випадок це відношення рівним $1/\omega$, то отримаємо півколо на діаметрі, рівному ходу ножа s, з центром в точці O (рис. 12).

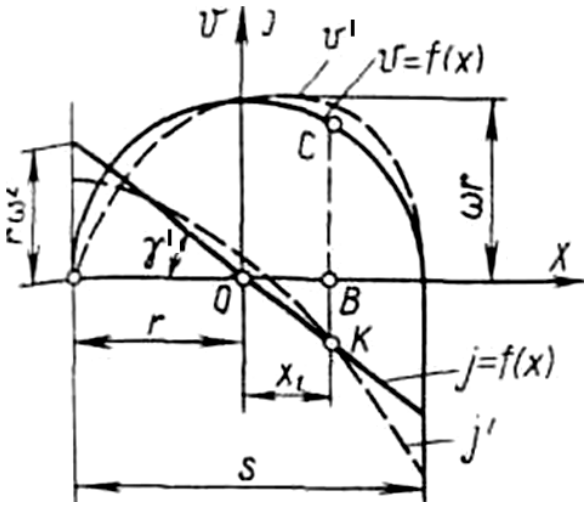


Рисунок 12 – Графіки швидкості і прискорення залежно від переміщення ножа

При переміщенні ножа на x_1 швидкість його визначатиметься ординатою *BC*.

Якщо через точку О проведемо пряму під кутом γ' до горизонтальної осі,

то за умови, що $tg\gamma' = -\omega^2$, вона відповідатиме рівнянню (4), що виражає прискорення $j = f(x)$. При визначенні кута нахилу прямої треба враховувати прийняті масштаби прискорень і переміщень M_j і M_x

$$tg\gamma' = -\frac{\omega^2 M_j}{M_x}. \qquad (6)$$

Для вказаного вище переміщення ножа x_1 значення прискорення визначається ординатою *BK*.

Характер залежності $\vartheta' = f(x)$ і $j' = f(x)$ для дезаксіального механізму показаний на рис. 12 пунктирними лініями. Максимальна швидкість в цьому випадку на 7...9 % більше, ніж у центрального механізму. Різниця відхилень максимальних прискорень не перевищує 7 %. Зсув між максимальними значеннями швидкостей і прискорень для механізмів цих типів за кутом повороту кривошипа складає 16... 18^0.

Зважаючи на невелику відмінність в кінематичних показниках центрального і зміщеного механізмів, розрахунок параметрів різального апарату можливо вести виходячи з розгляду найпростішого з них – центрального.

3.3. Траєкторія абсолютного руху точок ножа

Ніж різального апарату бере участь в двох рухах – в переносному разом з машиною із швидкістю $\vartheta_м$ і відносному з швидкістю, що визначена за залежністю (3). За час повороту кривошипа на кут $\omega t' = \pi$ сегменти ножа перемістяться з крайнього лівого положення в крайнє праве, пройшовши у відносному русі шлях $s = 2r$. А в переносному русі разом з машиною пересунуться на відстань *L*, яка рівна

$$L = \vartheta_м t' \text{ або } L = \vartheta_м \frac{\pi}{\omega}. \qquad (7)$$

Шлях L, який проходить машина за час половини оберту кривошипа, називають подачею.

Складаючи геометрично переміщення ножа у напрямі переносного і відносного руху, можна побудувати траєкторію абсолютного руху якої-небудь точки *A* сегменту (рис. 13). Для цього зображені на кресленні в масштабі півколо радіусу *r* і відрізок *L* (подача) розбивають на однакову кількість частин. Точка *A*, переміщаючись на x_1, в переносному русі пройде шлях 0-1, а переміщаючись на x_2 – шлях 0-2 і т.д. Точки перетину проекцій однойменних точок належатимуть траєкторії абсолютного руху точки *A*. Інші точки сегменту здійснюватимуть рух по аналогічних траєкторіях.

При зворотному ході ножа точки сегменту з правого положення перейдуть в ліве, здійснивши рух по таких же траєкторіях. Неважко переконатися, що їх рух відбувається по синусоїдальних кривих.

Для сучасних збиральних машин подача *L,* частіше за все, рівна 50...80 мм.

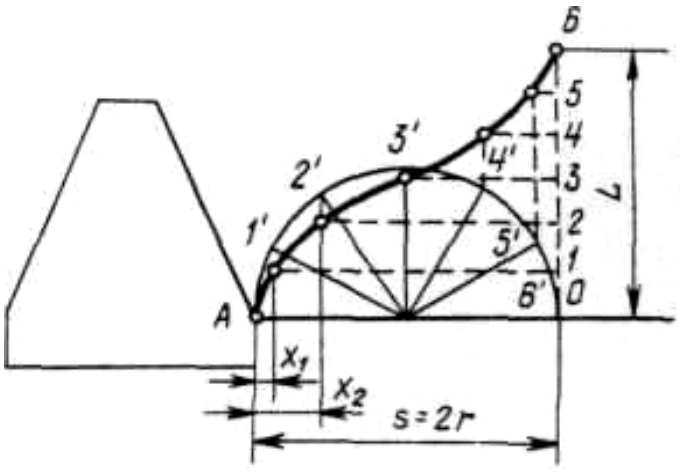


Рисунок 13 – Побудова траєкторії абсолютного руху точки ножа

3.4. Умова защемлення стебел різальною парою

Для високоякісного зрізу необхідна умова, при якій відсутнє виштовхування стебел з різальної пари. Визначимо цю умову (рис. 14) [2, 7].

Граничний кут $\gamma = \alpha_1 + \alpha_2$ різальної пари, при якому не відбувається висковзування стебла, називається кутом защемлення (затискання).

Позначимо: φ_1 і φ_2 – кути тертя і N_1 і N_2 – нормальні реакції на стебло з боку леза сегменту і протирізальної пластини.

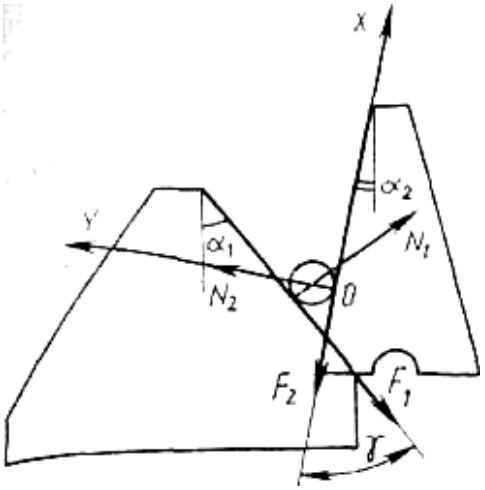


Рисунок 14 – Обґрунтовування кута защемлення стебел

Сили тертя, що виникають між стеблом і лезами різальної пари, будуть рівні

$$F_1 = N_1 tg\varphi_1 \text{ і } F_2 = N_2 tg\varphi_2 .$$

Прийнявши напрям осі OX прямокутної системи координат по лінії леза протирізальної пластини, а осі OY по лінії дії сили N_2, запишемо умову рівноваги стебла

$$\left.\begin{aligned} \sum X &= N_1 \sin\gamma - F_2 - F_1 \cos\gamma = 0; \\ \sum Y &= N_2 - F_1 \sin\gamma - N_1 \cos\gamma = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Щоб не було виштовхування стебла, необхідно дотримувати умову

$$F_2 \geq N_1 \sin\gamma - F_1 \cos\gamma$$

або

$$N_2 tg\varphi_2 \geq N_1 \sin\gamma - N_1 tg\varphi_1 \cos\gamma \ . \qquad (9)$$

З другого рівняння (8)

$$N_2 = N_1 \cos\gamma + F_1 \sin\gamma = N_1 \cos\gamma + N_1 tg\varphi_1 \sin\gamma$$

або

$$N_2 = N_1\left(\cos\gamma + tg\varphi_1 \sin\gamma\right). \qquad (10)$$

Підставивши одержаний вираз для N_2 в нерівність (9), отримаємо

$$\cos\gamma tg\varphi_2 + \sin\gamma tg\varphi_1 tg\varphi_2 \geq \sin\gamma - tg\varphi_1 \cos\gamma \ .$$

Після перетворення знаходимо, що

$$tg\gamma \leq tg\left(\varphi_1 + \varphi_2\right).$$

Звідси

$$\gamma \leq \varphi_1 + \varphi_2 \ .$$

Отже, умова защемлення стебел в розхилі різальної пари матиме вигляд

$$\gamma = \alpha_1 + \alpha_2 \leq \varphi_1 + \varphi_2 \ . \qquad (11)$$

Залежно від вологості рослин сума кутів їх тертя об гладкі леза різальної пари знаходиться в межах $20...35^0$ для пшениці та жита і $25...60^0$ для трав. Для сегментів з насічкою значення кутів збільшують на 30...50 %. У зв'язку з цим кут γ різальної пари приймають рівним $30...45^0$.

Після того, як відбудеться защемлення стебла в різальній парі, воно

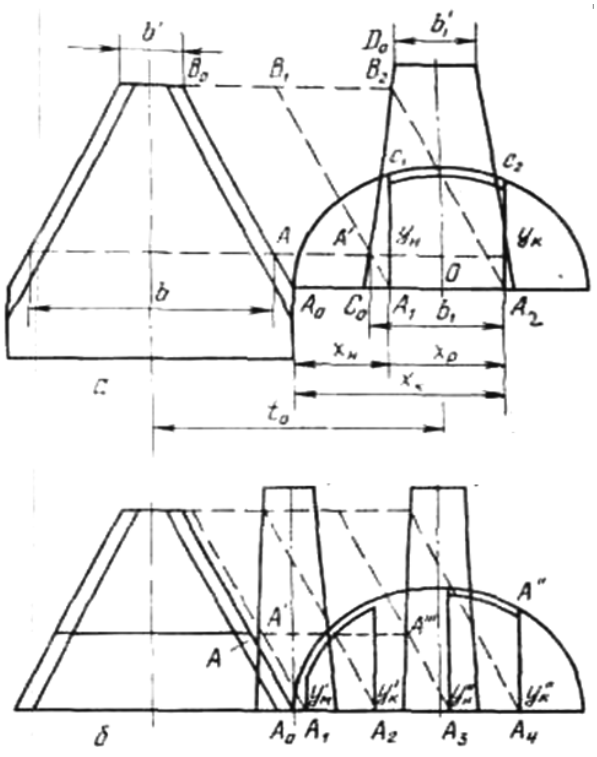
починає переміщатися разом з машиною і якість його зрізання залежатиме тільки від відносної швидкості ножа.

3.5. Робочі швидкості різання

Швидкість різання, яка визначається швидкістю руху ножа збиральної машини, можна характеризувати середнім її значенням. Проте для аналізу умов різання краще скористатися її значенням в процесі різання, тобто визначити робочі швидкості. Вони для апаратів різних типів неоднакові.

Виходитимемо з положення, що ніж перерізує стебла біля кромки пальця, і знайдемо значення швидкостей на початку і кінці різання.

Побудуємо графік швидкості ножа, віднесеної до його переміщення x, узявши масштаб швидкостей $M_{\vartheta} = \omega$ в м/с на 1 мм (рис. 15, *а*). Для цього від вибраної точки A_0 відкладаємо відрізок $A_0O=r$ і з точки O радіусом кривошипа r проводимо півколо [2].



а – нормального різання; *б* – низького різання

Рисунок 15 – Визначення робочих швидкостей різання апаратів

При переміщенні сегмента зліва направо на шляху $x_н$ його ріжуча кромка A_0B_0 підводитиме рослини до лівої кромки C_0D_0 протирізальної пластини. Частина леза A_0A через перекриття відростками пальців на стебла не впливає. Як тільки точка A леза сегмента A_0B_0 торкнеться кромки C_0D_0, почнеться процес зрізання стебел. Точка A_0 при цьому переміститься в положення A_1, тому швидкість початку різання $\vartheta_н$ в прийнятому масштабі визначиться відрізком $y_н = A_1C_1$ і буде $\vartheta_н = y_н M_\vartheta$.

Різання закінчиться в той момент, коли ніж переміститься на відрізок $x_к$ і верхня точка B_0 різальної кромки перейде в положення B_2. Оскільки за той же час точка A_0 опиниться в положенні A_2, швидкість кінця різання $\vartheta_к$ визначиться відрізком $y_к = A_2C_2$, тобто буде $\vartheta_к = y_к M_\vartheta$.. Отже, процес різання рослин проходить в той період, коли точка A сегменту переміщається на ділянці $x_р = x_к - x_н$. Робочі швидкості різання у апаратів нормального різання близькі до максимального значення швидкості ножа.

У апаратів низького різання (рис. 15, *б*) зрізання стебел відбувається біля середнього і крайнього пальців. Швидкості $\vartheta_н'$ і $\vartheta_н''$ початку різання біля середнього і крайнього пальців відповідно складають

$$\vartheta_н' = y_н' M_\vartheta \text{ і } \vartheta_н'' = y_н'' M_\vartheta,$$

а швидкості кінця різання

$$\vartheta_н' = y_к' M_\vartheta \text{ і } \vartheta_н'' = y_к'' M_\vartheta.$$

Як випливає з приведеного, різання відбувається з непостійною робочою швидкістю. Особливе побоювання викликає низька швидкість (≤0,5 м/с) початку різання біля середнього пальця, що може служити причиною недоброякісного зрізу стебел у цей момент і забивання різального апарату. Зменшення ширини пальців від 25 до 18 мм дозволяє довести початкову швидкість різання біля середнього пальця до 0,7...0,8 м/с. Для підвищення

працездатності таких апаратів, крім того, потрібне більш ретельне регулювання зазорів і заточування лез.

Щоб забезпечити необхідні робочі швидкості різання і доброякісну роботу різального апарату, необхідно середню швидкість руху ножа $\vartheta_{ср}$ погоджувати із швидкістю поступального руху машини $\vartheta_{м}$. Найкращий технологічний ефект роботи, наприклад, тракторних косарок визначається співвідношенням $\vartheta_{ср} = (1{,}25...1{,}30)\vartheta_{м}$.

Значення робочих швидкостей різання залежить також від того, відцентрований ніж чи ні. Ніж вважається відцентрованим, якщо осьові лінії пальців і сегментів в крайніх положеннях співпадають або зміщені на однакові відрізки в протилежні сторони. Якщо цей зсув для двох крайніх положень ножа неоднаковий, то швидкість кінця різання при прямому ході і початку різання при зворотному буде менше ніж у апарату з центрованим ножем. При зсуві ножа апарату нормального різання від центрованого положення на 5...10 мм швидкість кінця різання буде нижче на 30...40 % в порівнянні з центрованим ножем, а в апаратах нормального різання з некратним пробігом ножа – на 57...70%. В апаратах низького різання зсув ножа на 3 мм приводить до нульової швидкості початку різання біля середнього пальця. Тому для забезпечення високоякісної роботи різального апарату центрування ножа обов'язкове.

3.6. Площа подачі та навантаження на лезо

Площа подачі – площа поля, на якій відбувається зріз стебел одним ножовим сегментом за один хід ножа.

Побудуємо для апарату нормального різання графік пробігу активних лез ножа (рис. 16), який дозволяє бачити, що лезо C_1D_1 пробігає площадку $D_1C_1C_2D_2$ [2, 7]. На заштрихованій площадці стебла вже зрізали лезом AB при ході ножа вліво. Частину площі лезо проходить після зустрічі з протиріжучою

пластиною.

Площа подачі S формою може бути у вигляді фігури 1-2-3-4-5-6-7-8, обмеженою ламаною кривою, де ділянки 1-2, 4-3, 5-6 і 8-7 за напрямком залежать від кута α_2 і кута тертя стебел об кромку протирізальної пластини φ_2, а ділянки 2-3 і 6-7 є частиною косинусоїд, описуваних точками B і C_1.

Після ділянки 4-3 відбувається подальше відхилення стебел сегментом під кутом, рівним сумі кутів α_1 і φ_1.

Дана фігура рівновелика фігурі EE_1E_2, яка обмежена косинусоїдою, описуваною середньою точкою E передньої основи сегменту. Враховуючи відносний і переносний рух ножа, що характеризується рівняннями

$$x = r(1-\cos\omega t') = r(1-\cos\varphi)$$

і

$$y = \frac{L\omega t'}{\pi} = \frac{L\varphi}{\pi},$$

визначимо площу подачі

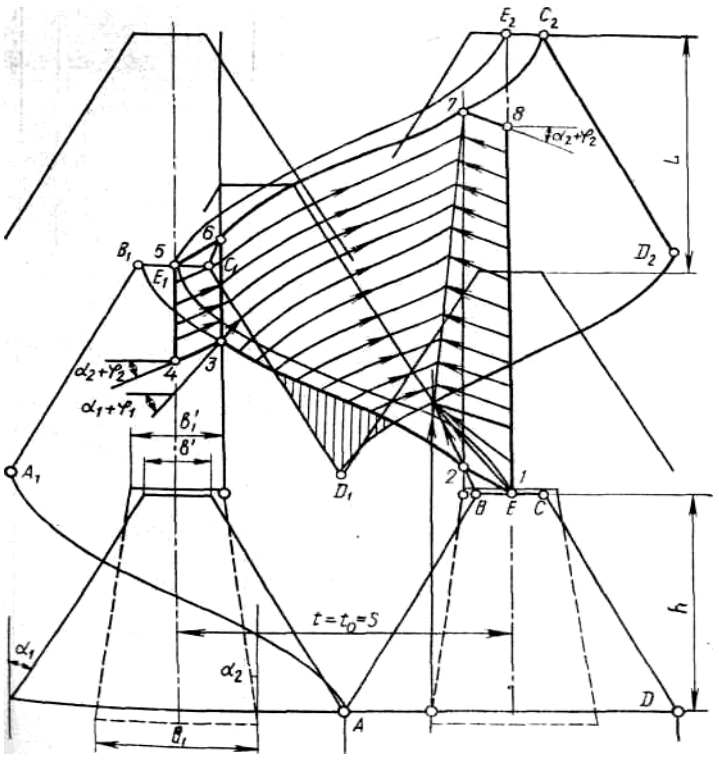


Рисунок 16 – Графік проходу активних лез ножа

$$S = \int_0^{2\pi} xdy = \int_0^{2\pi} r(1-\cos\varphi)\frac{L}{\pi}d\varphi = \frac{Lr}{\pi}\left|\varphi - \sin\varphi\right|_0^{2\pi} = 2Lr$$

або

$$S = Ls\,. \tag{12}$$

Формула (12) справедлива і для різальних апаратів інших типів. Її можна записати:

- для апарата нормального різання

$$S = Ls = Lt_0 = Lt\,;$$

- для апарата нормального різання з подвійним ходом ножа

$$S = Ls = 2Lt_0 = 2Lt\,;$$

- для апарата низького різання

$$S = Ls = 2Lt_0 = Lt\,.$$

Розрахункове навантаження на лезо – найбільша частина площі подачі, на якій сегмент зрізає рослини за один хід ножа біля одного з пальців.

Площа навантаження $S_н$ на лезо визначається типом апарату і пов'язана з площею подачі S залежністю

$$S_н = kS\,. \tag{13}$$

Якщо для спрощення вважати, що в апарата нормального різання всі стебла з площі, обмеженою косинусоїдою EE_1E_2, зрізаються за один хід ножа біля одного пальця, то $S_н = S$ і $k = 1$.

В апаратах нормального різання з подвійним пробігом ножа і низького різання середній палець ділитиме цю площу на дві нерівні частини $S'_н$ і $S''_н$.

Кількість стебел, що зрізаються активним лезом біля середнього пальця, неоднакова за кількістю стебел, що зрізаються тим же лезом біля крайнього пальця. В апарата низького різання навантаження біля середнього пальця складає $S'_н = 0{,}23S$, а біля крайнього $S''_н = 0{,}68S$.

Апаратом з подвійним пробігом ножа стебла з площі подачі F зрізаються лезами двох сегментів біля середнього і крайнього пальців. Тому навантаження відповідно рівні: $S'_н = 0{,}23S$ і $S''_н = 0{,}68S$. Отже, коефіцієнт $k = 0{,}68$ для апарату низького різання і $k = 0{,}32$ для апарату з подвійним пробігом ножа.

З наведеного видно, що максимальні навантаження мають апарати нормального різання з одинарним пробігом ножа, а мінімальні – з подвійним пробігом ножа.

Питоме навантаження – це площа S_0, на якій зрізаються стебла одним сантиметром робочої довжини леза сегменту. Для косарок $S_0 = 6...7$ см^2, для зернозбиральних машин $S_0 = 8...9$ см^2.

Навантаження на лезо можна характеризувати також числом рослин, що зрізаються ним. Наприклад, при $L = 70$ мм, $s = 76{,}2$ мм і густині рослин зернових культур 800 на 1 м^2 одержуємо $S = 53{,}3$ см^2 і число рослин, що зрізаються лезом сегмента апарата нормального різання при кожному робочому ході, не менше чотирьох-п'яти. Враховуючи нерівномірність розподілу рослин, розрахункове число стебел, що зрізаються лезом, в цьому випадку можна вважати рівним восьми-десяти.

3.7. Відгин стебел і висота стерні

При роботі різального апарату частина стебел відгинається пальцями і сегментами і зрізається в похилому положенні, внаслідок чого висота стерні виходить неоднаковою. Відгин стебел залежить не тільки від конструктивних особливостей різального апарату, але і від режиму його роботи. Необхідність вивчення цього питання диктується вимогою уникати втрат полеглих і відхилених стебел. Підвищення, наприклад, висоти стерні на 10 мм при збиранні трав приводить до недобору маси на 9...10% [2].

Відгин стебел. Для з'ясування характеру відгину стебел подивимось на

діаграмі за переміщенням сегменту ножа апарату нормального різання і його дією на стебла, що розташовані на осьовій лінії пальця (рис. 17).

При русі сегменту вліво робочим лезом буде *AB,* а при зворотному ході – лезо *CD.* Вплив кута тертя стебел об кромку пальця нехтуватимемо і будемо вважати їх відхиленими перпендикулярно осі пальця. Тоді за час двох ходів ножа стебла, що зрізаються на ділянці $k_1 - k_4$, за характером можуть бути поділені на три групи.

Груп *I* – стебла від k_1 до k_2, які мають поперечний відгин $g_1 = \frac{b_0}{2}$ і зрізані біля кромки *MN* пальця на ділянці *ab.*

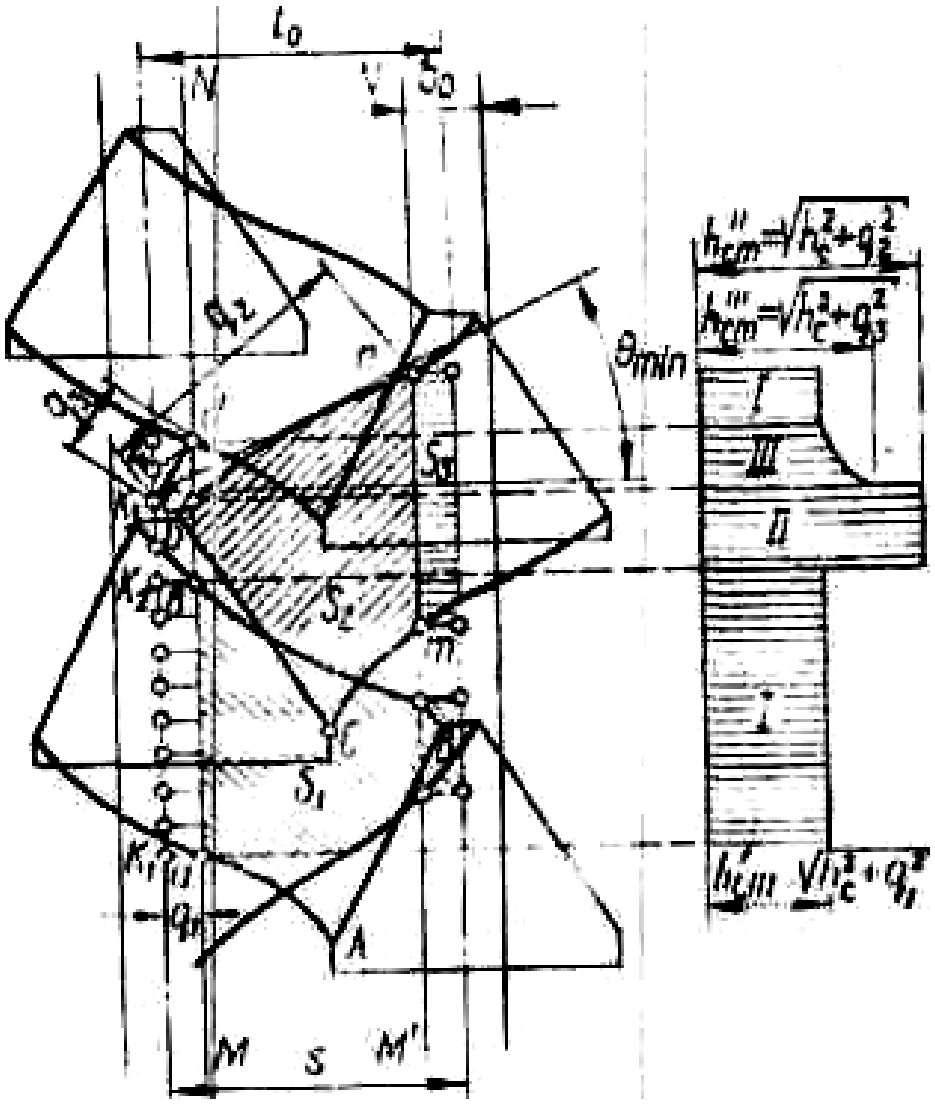


Рисунок 17 – До визначення величини відгинання стебел

Тут же зрізаються рослини з площадки S_1. Стебла, розташовані біля кромки *MN*, зрізаються без відгину.

Група *II* – стебла від k_2 до k_3, відхилені спочатку наполовину ширини пальця і потім разом з лезом сегменту, не проковзуючи відносно нього, до кромки $M'N'$ пальця. Тут же на ділянці *mn* зрізаються рослини з площадок S_2 і S_3.

Поперечним прийнято називати відгин стебел від k_2 до k_3. Його значення, без урахування кривизни відігнутих стебел, визначається за залежністю

$$q_2 = \frac{t_0 - \frac{b_0}{2}}{\cos\theta_{\min}}, \qquad (14)$$

де $\theta_{\min}$ – кут, утворений дотичною до середньої точки абсолютної траєкторії точки і напрямом відносного руху ножа.

Враховуючи рівняння руху сегменту

$$x = (1 - \cos\omega t') \text{ і } y = \vartheta_м t = \frac{L\omega t'}{\pi},$$

можемо визначити тангенс кута θ

$$tg\theta_{\min} = \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt'}}{\frac{dx}{dt'}} = \frac{L}{\pi r \sin\omega t'}.$$

Мінімальне значення кута θ буде при $\omega t' = \frac{\pi}{2}$, тобто

$$tg\theta_{\min} = \frac{L}{\pi r}.$$

Оскільки

$$\cos\theta_{\min} = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\theta \min}}.$$

то залежність (14) після перетворення набуде вигляду

$$q_2 = \left(t_0 - \frac{b_0}{2} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{L}{\pi r} \right)^2} \,. \qquad (15)$$

Поперечний відгин стебел q_2 пропорційний t_0, $\vartheta_м$ і обернено пропорційний ω.

Група *III* – стебла від k_3 до k_4, не захоплювані сегментами і нахилені пальцевим брусом вперед до точки *d*, де і відбувається їх зріз. Такий відгин називається поздовжнім. Його найбільше значення q_3 відповідає стеблам, розташованим далі від точки *d*, найменше – поблизу неї. Поздовжній відгин за інших рівних умов залежить в основному від подачі *L*.

Висота стерні $h_{ст}$ визначатиметься встановленою висотою зрізу h_c і відповідним відгином *q*

$$h_{ст} = \sqrt{h_c^2 + q^2} \,. \qquad (16)$$

На рис. 17 справа представлена діаграма висоти стерні при відгині стебел всіх трьох груп.

З рис. 15 і 16 видно, що за один прохід ножа частиною площі подачі леза сегменту не пробігають (ділянка *III* поздовжнього відгину стебел), а по іншій частині – пробігають двічі (заштрихована ділянка на рис. 15). Обидві ці ділянки є джерелами втрат урожаю: перша через підвищений відгин стебел, друга – через багатократне перерізання їх.

3.8. Сили, що діють на ніж

Під час роботи ніж різального апарату знаходиться під впливом сили опору зрізу *R,* сили інерції ножа *P* і сили тертя ножа *F*.

Сила *R* залежить від площі навантаження $S_н$ і густини стеблестою, а також від технологічних властивостей рослин.

Оскільки ця робота виконується при переміщенні x_p ножа від початку до кінця різання, то для апарату нормального різання, що має z сегментів, можна записати вираз для середнього значення сили опору зрізу

$$P_{зр} = \frac{\varepsilon S_н z}{x_p}, \tag{17}$$

де ε – питома робота, що витрачається на зрізування рослин з одиниці площі (середнє значення), $Н \cdot м / м^2$;

$S_Н$ – площа навантаження на лезо сегмента, м^2;

z – кількість сегментів;

x_p – величини переміщення ножа, що відповідає початку і закінченню зрізування, м.

Сила інерції *P* визначається масою $m_н$ ножа і його прискоренням j. З врахуванням (1) і (4) сила інерції залежно від переміщення ножа може бути виражена так

$$P_{ін} = m_н r \omega^2 \left(1 - \frac{x}{r}\right). \tag{18}$$

Максимальне її значення буде при $x = 0$ і $x = 2r$.

Сила тертя *F* складається з сили тертя F' від сили ваги ножа і сили тертя F'' від дії шатуна

$$F = F' + F''. \tag{19}$$

Сила тертя від сили ваги ножа

$$F' = fG_н, \tag{20}$$

де $G_н$ – сила ваги ножа (Н), яка визначається

$$G_н = m_н g\,, \tag{21}$$

тут g – прискорення вільного падіння, $g = 9{,}81$ м/с^2;

f – коефіцієнт тертя, рівний 0,25...0,3.

Сила тертя від дії шатуна залежить від нормальної сили N_0 і коефіцієнта тертя f, рис. 18.

$$F'' = fN_0\,. \tag{22}$$

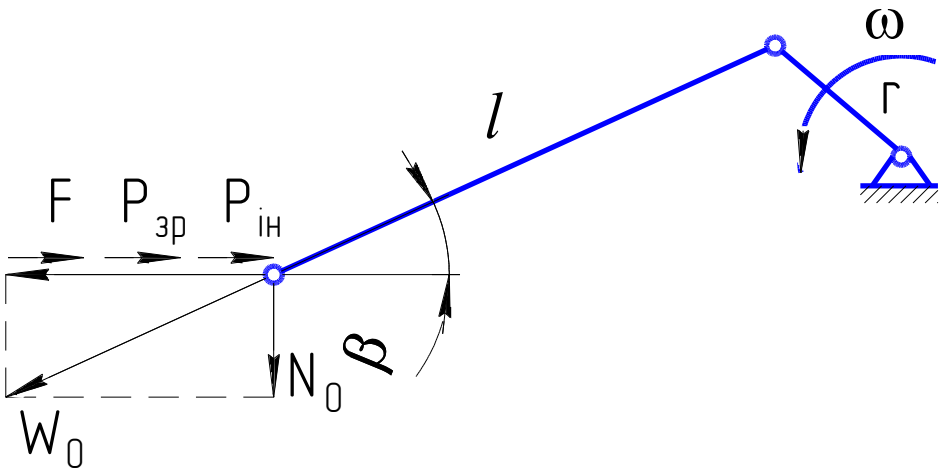


Рисунок 18 – Розрахункова схема до визначення сили тертя в механізмі

Нормальна сила N_0 визначається

$$N_0 = \left(P_{зр} + P_{ін} + F\right)tg\beta\,. \tag{23}$$

В розгорнутому вигляді

$$N_0 = \left(P_{зр} + P_{ін} + F' + F''\right)tg\beta = \left(P_{зр} + P_{ін} + fG_н + fN_0\right)tg\beta\,.$$

Звідси

$$N_0 = \frac{(P_{зр} + P_{ін} + fG_н)tg\beta}{1 - ftg\beta}. \quad (24)$$

Тоді сила тертя від дії шатуна

$$F'' = f\frac{(P_{зр} + P_{ін} + fG_н)tg\beta}{1 - ftg\beta}. \quad (25)$$

Загальний вираз для визначення сили тертя, яка виникає при роботі різального апарата

$$F = f\frac{(P_{зр} + P_{ін} + fG_н)tg\beta}{1 - ftg\beta} + fG_н. \quad (26)$$

Аналізуючи вираз (26), видно, що сила тертя залежить від кута повороту кривошипа та є неперервною. Кут β приймемо умовно 30^0.

Результуюча сила опору руху ножа

$$R_0 = P_{зр} + P_{ін} + F. \quad (27)$$

Її значенням користуються при розрахунку пальця кривошипа, механізму передач і споживаної потужності.

Після цього встановлюємо питомі значення складових навантаження на привод від роботи ножа: сила різання – х %; сила інерції – у %; сила тертя – z %.

3.9. Визначення потужності для переміщення ножа

Потужність, необхідна для подолання опору зрізуванню стебел, тертя і сил інерції ножа, може бути визначена за формулою

$$N = \frac{R_0 \vartheta}{1000}, \tag{28}$$

де R_0 – сила опору руху ножа, Н; ϑ – швидкість ножа, м/с.

3.10. Визначення продуктивності агрегату

Підсумовуючи ефективність роботи косарки, розрахуємо годинну продуктивність агрегату в цілому за формулою

$$W = 0{,}1\vartheta_м \cdot B \cdot \tau, \tag{29}$$

де W – годинна продуктивність агрегату, га/год;

$\vartheta_м$ – дійсна робоча поступальна швидкість машини, км/год;

B – конструктивна ширина захвату косарки, м;

τ – коефіцієнт використання ширини захвату косарки, прийняти $\tau = 0{,}95$.

Перелік використаної літератури

1. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку [Текст] : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 543 с.

2. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Под ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986.– 688 с.

3. Турбин Б. И. Снижение вибрации и шумов в сельскохозяйственных машинах [Текст] / Б.И. Турбин, В.Н. Дроздов. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.

4. Бойко Т.В. Влияние привода режущего аппарата на производительность и качество работы жатвенной машины [Текст] : дис. ... канд. тех. наук. – БГСХА, 1975. – 182 с.

5. Турбин Б.Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет [Текст] / Б.Г. Турбин, А.Б. Лурье, С.М. Григорьев – Л.: Машиностроение, 1967. – 577 с.

6. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С.П. Тимошенко – М. : «Наука», 1967. – 442 с.

7. Босой Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин [Текст] / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах – М.: Машиностроение, 1980. – 565 с.

8. Ільченко В.Ю. Машинвикористання в землеробстві [Текст] / Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос – К.: Урожай, 1996. – 384 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин

КУРСОВА РОБОТА

з _Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва_
(назва дисципліни)

на тему: **Дослідження параметрів різального апарату**

Студента (ки) _____ курсу _____
групи_____
спеціальності_____

_____

_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____

_____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали

м. Тернопіль – 20__ рік

Додаток Б

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра *технічної механіки та сільськогосподарських машин*
Дисципліна *Сільськогосподарські машини та знаряддя для рослинництва*
Спеціальність *133 Галузеве машинобудування*
Спеціалізація *Машини сільськогосподарського виробництва*
Курс III Група МС Семестр 6

ЗАВДАННЯ

на курсову роботу

Студентові _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ**

2. Термін здачі студентом закінченого проекту _____

3. Вихідні дані до проекту радіус кривошипа $r = 37{,}3$ мм;
частота обертання кривошипа $n = 640$ об/хв;
поступальну швидкість агрегату, $\vartheta_м = 1$ м/с
конструктивні параметри різальної пари;
питома робота, що витрачається на зрізування рослин з одиниці площі, $\varepsilon = 200$ $Н \cdot м / м^2$;
кількість сегментів, $z = 18$; маса ножа, $m_н = 3{,}2$ кг.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
Вступ. Дослідження параметрів різального апарату: 1. Визначення ходу і кінематика ножа.
2. Траєкторія абсолютного руху точок ножа. 3. Умова защемлення стебел різальною парою.
4. Робочі швидкості різання. 5. Площа подачі і навантаження на лезо.
6. Сили, що діють на ніж. 7. Визначення потужності для переміщення ножа.
8. Визначення продуктивності агрегату.
Загальні висновки. Перелік використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу, якщо передбачено не передбачено

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів курсового проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Дослідження параметрів різального апарату: Визначення ходу і кінематика ножа		
2.	Траєкторія абсолютного руху точок ножа		
3.	Умова защемлення стебел різальною парою		
4.	Робочі швидкості різання		
5.	Площа подачі і навантаження на лезо		
6.	Сили, що діють на ніж		
7.	Визначення потужності для переміщення ножа		
8.	Визначення продуктивності агрегату		
9.	Загальні висновки		
10.	Перелік використаної літератури		

Студент

(підпис) (прізвище, ім’я, по батькові)

Керівник роботи к.т.н., доцент Бабій Андрій Васильович

(підпис) (вчений ступінь, посада, прізвище, ім’я, по батькові)

Додаток В

Таблиця В.1 – Конструктивні параметри різальних пар

Тип різального апарату	Сегмент, рис.В.1							Протирізальна пластина, рис. В.1						
	B	t_1	m	h	α	γ	e	B_1	b	b_1	α_1	γ_1	e_1	$(\alpha+\alpha_1)$
$S = t = t_0 = 76{,}2$ мм	80 75	76 76	16 16	55 54	28° 40′ 29°	19° 19°	2 2	59 49	37 29,5	21 23	7° 40′ 3° 50′	60 60	3 2	36° 20′ 32° 50′
$S = 2t = 2t_0 = 152{,}4$ мм	75	76	16	54	29°	19°	2	58	24	21	1° 30′	45	2	30° 30′
$S = t = 2t_0 = 101{,}6$ мм	70	101	6	48	44° 40′	19°	2	58	24	21	1° 30′	45	2	46° 10′
$S = t = 2t_0 = 76{,}2$ мм	80	76	16	55	28° 40′	19°	2	59	25	16	4° 30°	60	2	33° 10′
$S = t = 1{,}5\,t_0 = 76{,}2$ мм	80	76	16	55	28° 40′	19°	2	59	40	19	10°	60	3	38° 40′
$S = t = t_0 = 90$ мм	85	90	12	55	38° 10′	23°	3	65	37	21	7° 40′	45	3	45° 40′
$S = 2t = 2t_0 = 101$ мм	75	50	15	45	21°	22°	2	53	25	22	3°	60	3	24°

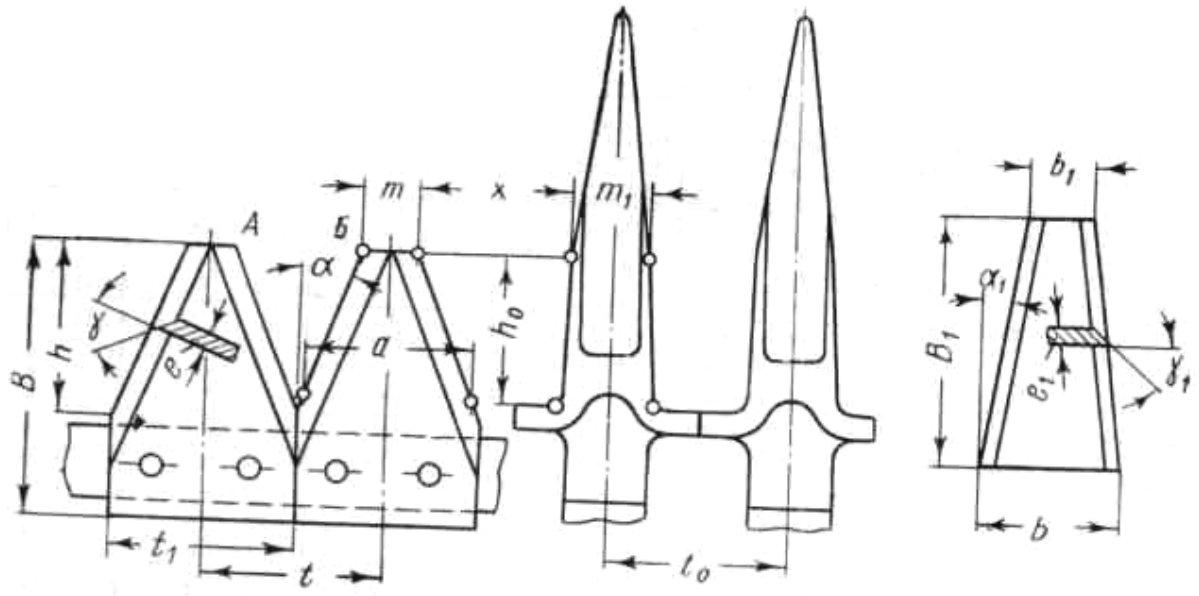


Рисунок В.1 – Параметри різальної пари

Формат 60х90 Папір ксероксний.
Обл. вид. арк. ___
Наклад 40 прим. Зам. № ___

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001
E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua

© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Навчально-методична література