

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЦЕЛУЙКО АНТОН АНДРІЙОВИЧ

УДК 631.363.3

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОГО
АПАРАТУ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

208 “Агроінженерія”

подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. А. Целуйко

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Целуйко Антон Андрійович. Дослідження технологічних параметрів різального апарату жатки зернозбиральних комбайнів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській кваліфікаційній роботі викладено аналіз та результати досліджень різальних апаратів сучасних жниварок зернозбиральних самохідних комбайнів. Результатом проведеного аналізу та синтезу є виявлення основних переваг та недоліків роботи різальних апаратів в процесі різання при збиранні зернових колосових культур. Дана класифікація та проаналізовано ефективність застосування сегментно-пальцевих різальних апаратів з різними способами скошування та різання.

Проведено теоретичні розрахунки та визначена кінематичні та конструкційні параметри запропонованого швидкісного різального апарату жаток для збирання бобових культур. Отримано математичні та аналітичні залежності робочих параметрів з режимами роботи жниварок. Побудовані графоаналітичні залежності, які дозволяють визначити та обрати різальні апарати з раціональними параметрами та кінематикою процесу різання

Провівши аналітичні дослідження, було отримано та запропоновано модель швидкісного сегментно-пальцевого апарату різання стеблового матеріалу. Отримано теоретичні залежності, які в достатній мірі характеризують технологічний процес зрізання стеблостою зерно-бобових культур при різних способах сівби. Встановлено його динамічні та кінематичні характеристики та дані рекомендації до застосування даної розробки.

Ключові слова: різальний апарат, процес різання, стеблостій, аналітичні моделі, сегментно-пальцевий апарат.

ANNOTATION

Tseluyko Anton. **Study of technological parameters of the cutting device of the header of grain harvesters.** - Qualification work on manuscript rights. Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 208 Agricultural engineering. – Polissya National University, Zhytomyr 2022.

The master's thesis presents the analysis and research results of the cutting devices of modern harvesters of grain-harvesting self-propelled combines. The result of the conducted analysis and synthesis is the identification of the main advantages and disadvantages of the operation of cutting machines in the process of cutting when harvesting grain crops. The classification is given and the effectiveness of the use of segment-finger cutting devices with various methods of beveling and cutting is analyzed.

Theoretical calculations were carried out and kinematic and structural parameters of the proposed high-speed cutting device of harvesters for harvesting leguminous crops were determined. Mathematical and analytical dependences of working parameters with harvester operating modes were obtained. Constructed grapho-analytical dependencies that will allow to determine and choose cutting devices with rational parameters and kinematics of the cutting process. After conducting analytical studies, a model of a high-speed segmental-finger apparatus for cutting stem material was obtained and proposed.

Theoretical dependences have been obtained that sufficiently characterize the technological process of stem cutting of grain and leguminous crops with different methods of sowing. Its dynamic and kinematic characteristics were established and recommendations for the application of this development were given.

Key words: cutting device, cutting process, stem, analytical models, segment-finger device.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКОШУВАННЯ РІЗАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ЖНИВАРОК

- 1.1. Огляд конструкцій сегментно-пальцевих різальних апаратів жниварок...7
- 1.2. Аналіз типів різальних апаратів жаток.....11
- 1.3. Висновки до розділу 1.....13

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШВИДКІСНОГО РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ

- 2.1. Обґрунтування застосування планетарного механізму
приводу різального апарату.....15
- 2.2. Визначення параметрів планетарного механізму приводу різального
апарату.....18
- 2.3. Висновки до розділу 2.....24

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЕННЯ ШВИДКІСНОГО РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ

- 3.1. Визначення показників роботи різального апарату.....25
- 3.2. Визначення кінематичних параметрів роботи запропонованого різального
апарату.....27
- 3.3. Висновки до розділу32

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....33

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....34

ВСТУП

Актуальність теми. Основними засобами, які застосовуються для збирання зернових і технічних культур, є самохідні зернозбиральні комбайни. Поміж основних показників технічної характеристик збиральних машин, що визначають їх продуктивність, є ширина захвату жатки комбайна та його робоча швидкість, яка на сучасних збиральних агрегатах варіюється в межах 4,5 до 13,7 м та діапазон швидкостей 1,2...3,0 м/с [1]. При збільшенні ширини захвату жатки відбудеться зростання продуктивності, зниження загальних втрат зерна і підвищення техніко-економічних показників роботи збиральних агрегатів. Поряд з цим, зростає вартість жнивarki, що призводить до росту ціни машини, встановлення більш потужного двигуна, та в цілому, зростає вага машини, і як наслідок підвищення негативного впливу на екологічні показники ґрунту. [2]

Підвищити ефективність застосування жаток в агрегаті із зернозбиральними комбайнами можливе шляхом встановлення на жатки удосконалених різальних апаратів швидкого різання, що дасть змогу збільшити робочу швидкість машини без збільшення ширини захвату.

Відомі праці вчених по розробці конструкційно-технічних схем та основних показників зернозбиральних комбайнів [2-6], в яких розглядається синтез між основними параметрами зернозбиральної машини, такими як продуктивність, пропускна здатність молотарки, потужність двигуна, ширина захвату, тип молотильного апарату та системи сепарації, та вплив їх на ефективність роботи збирального агрегату.

Метою дослідження є аналітичне дослідження сегментно-пальцевого різального апарату, який дасть змогу експлуатувати комбайн з більшим діапазоном робочих швидкостей, що забезпечить підвищення продуктивності машини, шляхом обґрунтування типу та кінематично-динамічних характеристик.

На шляху до поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз технологічних та кінематичних характеристик типів, конструкцій різальних апаратів жнивareк зернозбиральних комбайнів.

2. Визначити параметри запропонованого різального апарату сегментно-пальцевого типу.
3. Виконати технологічний аналіз та визначенн параметрів швидкісного різання запропонованого апарату.
4. Встановити аналітичні залежності технологічних параметрів даного типу різального апарату від його конструкційно-кінематичних характеристик.

Об'єкт дослідження – технологічний процес скошування стеблостою зерно-бобових культур.

Предмет дослідження – аналітичні залежності конструкційно-кінематичних показників на якісні параметри роботи швидкісного різального апарату жатки зернозбирального комбайна.

Методи виконання роботи. В процесі досліджень застосовувались методики розрахунку конструкційних параметрів сільськогосподарських машин, основи теорії різання сільськогосподарських матеріалів, побудова алгоритмів та комп'ютерних моделей, на основі яких досліджено різальні апарати зернових жниварок.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Заєць М.Л. Дослідження швидкісного сегментно-пальцевого різального апарату зернової жатки / М. Л. Заєць, А. А. Целуйко // Зб. тез доповідей XXIII Міжнар. наук.-практ. конф."Сучасні проблеми землеробської механіки". МОН України, НУБІП України, ЖАТФК.- Київ. Житомир., 2022. С. 80-84.
2. Заєць М.Л. Технологічний аналіз швидкісного різального апарату та мотовила зернової жатки/ М. Л. Заєць, А. А. Целуйко // матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. 16-18 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 34-39.
3. Целуйко А. А. Визначення параметрів швидкісних сегментно-пальцевих різальних апаратів/Студентські читання–2022: матер. наук.-практ конф. науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 15-18.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінка рукописного тексту, 21 рисунків.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКОШУВАННЯ РІЗАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ЖНИВАРОК

1.1. Огляд конструкцій сегментно-пальцевих різальних апаратів жниварок

Впроцесі скошування стеблостою хлібів жниварками або збирання роздільним способом, тобто підбирання маси з валків, основним критерієм роботи різального апарата жатки є швидкість різання. Оскільки вона є вхідною умовою, що впливає на зростання робочої швидкості збиральної машини, а також, підвищує ефективність збиральних робіт та зростання годинної продуктивності зернозбирального комбайна.[7]

Конструкції жаток для скошування зерно-бобових культур, зокрема сої, не завжди справляються з тими задачами, що ставляться до них. В процесі скошування такими жниварками, у більшості випадків, спостерігаються суттєві втрати зерна, і як наслідок економічна ефективність вирощування культури знижується. З метою зменшення цих безповоротних втрат зерна, використовують спеціальні жатки для збирання з особливою конструкцією різального апарату та агрегати, які забезпечують низький зріз стеблостою (рис.1.1.). [8]



а)



б)

Рис.1.1. Жатка з гнучким сегментно-пальцевим різальним апаратом

а) - з флексі різальним апаратом; б)- приставка Biso Flex

Флексі-жниварки з еластичними різальними апаратами (РА) (рис.1.1), мають ряд переваг перед жорсткими брусковими жатками, під час збирання бобових культур, таких як, соя, сорго, горох тощо. Переваги проявляються під час збирання полеглих стеблостоїв та бобових з надкореневим низьким розташуванням плодів, що вимагає від можливостей технологічних регулювань, встановлювати на жатці мінімальну висоту зрізу при збиранні. Якщо порівнювати з жниварками із жорстким брусом, то при ширині агрегату від 4,5 м до 7 м вона зможе виконувати ефективний зріз, лише за умови рівного мікрорельєфу поверхні поля. Якщо поверхня поля була підготовлена неякісно, а на ньому завжди будуть нерівності, то втрат зерна за рахунок недорізу по висоті стебел не уникнути. Боби, які знаходяться низько залишаються під рівнем площини різального апарату, що вимагає зменшення висоти різання та зниження робочої швидкості агрегату, а також виникає проблема потрапляння в жатку ґрунту, зрізаного апаратом на виступах поверхні. Ці негативні явища суттєво впливають на якість та продуктивність виконання технологічного процесу. [8]

Застосовуючи жатки з гнучким різальним апаратом, що дозволить в достатній мірі, копіювати рельєф поверхні поля за шириною захвату жатки. Виробники жаток для збирання бобових культур залежно від модифікації та призначення агрегату встановлюють різальні апарати з висотою зрізу до 6 мм, а перепад по висоті на робочу ширину захвату може коливатись в діапазоні 100...250 мм. [7,8]

Але є і недоліки у цих конструкціях жниварок, вони пов'язані з їх обслуговуванням та ремонтом, зростання вартості самої машини чи агрегату. Потрібно розуміти, що у флексі жниварках та їх гнучких елементах, виникають надлишкові сили тертя, за рахунок особливості конструкції, що зумовлює інтенсивніший знос деталей та вузлів. Враховуючи можливість переналаштування різального апарату під час збирання зернових колосових культур, гнучкий брус апарату можливо встановити жорстко та

знизити інтенсивність зносу елементів різального апарату, а також затрати потужності на привод робочих органів. [6,7,8]

Виробники сільськогосподарської продукції, які спеціалізуються на вирощуванні зернових колосових культур, але частково займаються виробництвом сої чи гороху та інших бобових культур, тобто не мають у машинному парку даних флексі-жаток, мають змогу переобладнати зернові жниварки спеціальними приставками для скошування зерно-бобових культур. Це знизить витрати на придбання агрегату, оскільки приставки значно дешевші, але мають встановлений гнучкий брус різального апарату, що дозволить ефективно проводити збирання бобових. У пристосуваннях до жаток величина вертикального переміщення ножового бруса менший чим у жаток-флекс сягає від 7 см до 10 см, наприклад у приставці Viso Flex цей параметр становить 100 мм, а у Flex Ettaro 75 мм (рис. 1.2.), при ширині захвату приставки, яка відповідає робочій ширині зернових жаток, зумовлює відсутність додаткових елементів приводу та систем стабілізації механізмів. Конструкційні проблеми з монтажем з'являються, при встановленні копіюючих башмаків, які встановлені на системі підвіски, тобто потрібно передбачити необхідну компоновку, що встановити її в невеликий простір, в іншому випадку пристосування не буде виконувати своє призначення, а буде працювати, як хедер стола для збирання олійних дрібнонасіненних культур, таких як ріпак, олійна редька тощо. [7,8]



Рис. 1.2. Приставка Flex Ettaro для зернових жаток

Виробники виготовлять пристави уніфікованими, з метою використання їх на жатках різних виробників зернозбиральних комбайнів. Механізми кріплення їх виготовлені універсальними з замками-фіксаторами, для надійного кріплення приставки до стола жнивarki. Знімати власний різальний апарат не має потреби приставка перепідключається зі штатного приводу. В залежності від ширини захвату флек-приставки вага пристосування сягає від 350...1000 кг.

Важливим питанням при збиранні бобових, зокрема сої, є вибір жатки із шнеком чи стрічковим двосторонім транспортером. Зрозуміло, що із шнеком конструкція простіша, надійніша, має меншу масу, а також має нижчу вартість. Але потрібно враховувати втрати зерна при роботі шнека. Потрібно для себе визначити економічну доцільність. Втрати зерна, бобів будуть залежати від багатьох факторів:

- від щільності стеблостою;
- дозрівання та вологості матеріалу;
- робочої швидкості машини;
- кінематичного показника роботи мотовила та шнека.

Тому розрахунок та вибір типу та модифікації жатки лежить на кваліфікації фахівців господарства або покупцю.

Виробники жаток рекомендують визначити відсоток втрат у шнеці жнивarki і комбайні, провівши регулювання необхідних параметрів, і виявивши, що за жаткою втрати насіння значні, потрібно виконати відносно різку зупинку роботи та визначити кількість насіння що втрачається перед жаткою тобто втрати на шнеці при його обертанні. У відсотковому співвідношенні визначити з кількістю насіння, що втратили природнім шляхом, впливу природних факторів, якщо втрати допустимими, з токи зору АТВ то даний тип транспортера вас повинен задовільнити. Необхідно враховувати втрати на один метр ширини захвату жатки! Другий спосіб, виконати порівняння з комбайном, який

обладнаний стрічковим транспортером, приблизно тієї ж ширини захвату жатної частини. (рис.1.3.). [7,8]



Рис. 1.3. Жатка обладнана стрічково-планчастим транспортером

1.2. Аналіз типів різальних апаратів жаток

Типи різальних апаратів жниварок мають насупну компоновку: складаються з бруса, ножа із сегментними різальними елементами і протирізальних пальців. На пальцях встановлені протирізальні пластини. Ножовий брус приводиться в дію за допомогою кривошипно-шатунного механізму (МКШ). У зернових жатках можуть застосовуватись сегментно-пальцеві різальні апарати, які поділяються на (рис. 1.4., 1.5.):

- a) сегментно-пальцеві закритого типу;
- b) безпальцеві;
- c) сегментно-пальцеві відкритого типу.

Штатно встановлюють кривошипно-шатунний механізм приводу різальних апаратів, він має назву “механізм коливальної шайби (МКШ)”. Основними недоліками коливальної шайби “МКШ” є те, що, при перетворенні обертального у зворотно-поступального рух нерівномірно навантажених систем, якою є сегментно-пальцевий апарат, також виникають вертикальні

амплітудні коливання (до 8...10 мм). Що негативно впливає на фізичну втому матеріалу, з якого виготовлений МКШ, відповідно часті відмови при експлуатації.

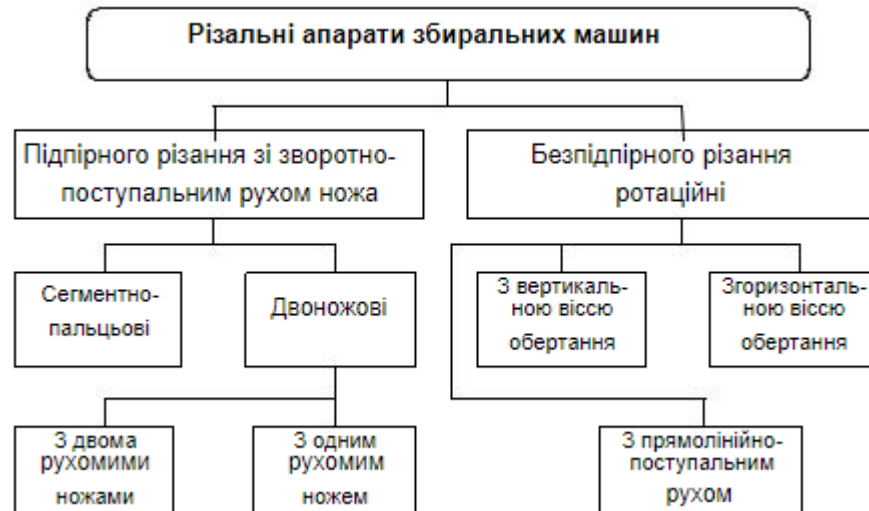


Рис. 1.4. Типи різальних апаратів та їх класифікація

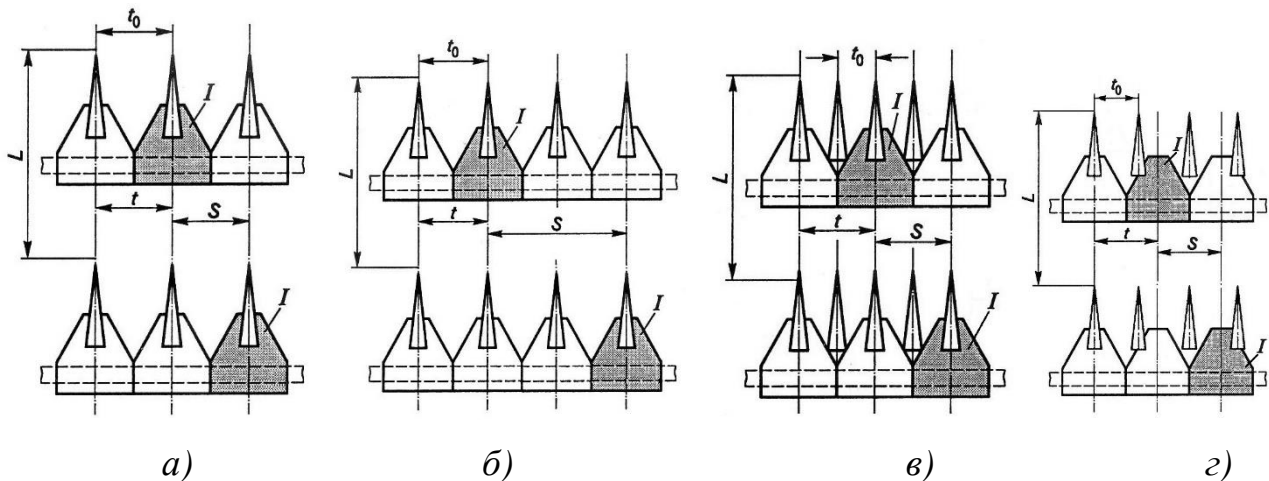


Рис.1.5. Види сегментно-пальцевих різальних апаратів жаток

а- нормального рiзання з однопрохiдним ножем; б- нормального рiзання з двопрохiдним ножем; в- низького зрiзання; г - середнього рiзання

Виникає потреба постійно відповідності осевих ліній сегментів і пальців у крайніх положеннях, щоб вони співпадали по всій довжині ножа різального апарату. Якщо відбулось відхилення більше 3..4 мм ніж різального апарату необхідно відцентрувати. З метою якісного скошування стебел рослин верхня

основа сегмента повинна бути встановлена з зазором до притискних пластин не більше 0,5 мм. Зазори регулюють бухтуванням пластин, встановленням регулювальних пластин і розташуванням пластин тертя вздовж бруса ножа. Ніж повинен легко рухатись по притискній площині пальців при незначному прикладдані усилля. У випадку установки нових елементів різального апарату, необхідно промастити поверхні тертя мастило, для зменшення сили тертя.

Нами запропоновано модернізований різальний апарат сегментно-пальцевого типу та його привод, що дозволить підвищити швидкість різання стебел та зростання робочої швидкості машини, що дасть можливість підвищити продуктивність збирального агрегату (рис. 1.6.).



Рис. 1.6. Модель різального апарату сегментно-пальцевого типу з використанням протирізальних пальців Шумахера

1.3. Висновки до розділу 1

Провівши аналіз технологічного процесу скошування різальних апаратів жаток встановлено: ефективність застосування флекс різального апарату з регулятором висоти зрізу; основними недоліками застосування відомих ТРА є потреба зменшувати швидкість руху агрегата на 0,5...0,7 м/с на тих ділянках поля, де нерівний мікрорельєф, та нерівності утворені під час поверхневого обробітку.

Встановлено необхідність низького швидкісного різання стебел під час збирання низькорослих сортів за малої щільності рослин та з умови висоти розташування першого плода.

Якщо жатка не зрізає всі стебла, з'являється необхідність регулювати кут нахилу різального апарата в напрямку руху комбайна. Наслідком втрат недорізом стебел є підвищена швидкість руху комбайна, що призводить до її падіння, і як наслідок, зниження продуктивності машини та питомих експлуатаційних витрат на операцію.

Кінематичний показник роботи мотовила повинен становити 1,25...1,35, тобто вищий за лінійну швидкість машини. При таких режимах роботи зростає ударне навантаження на стеблостій, та зростає вібрація хедера жатки, що спричиняє додаткові втрати врожаю .

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШВИДКІСНОГО РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ

2.1. Обґрунтування застосування планетарного механізму приводу різального апарату

Вимоги сьогодні вимагають від сучасних жаток високої швидкості скошування маси та подачі її до молотарки комбайна, але є цілий ряд перепон, які потрібно подолати в процесі проектування механізм приводу ножа (МПН) планетарного типу, який ми пропонуємо встановити, таку систему має назву привод «Шумахер», що є прототипом системи швидкісного різання стеблостою (рис.2.1.)

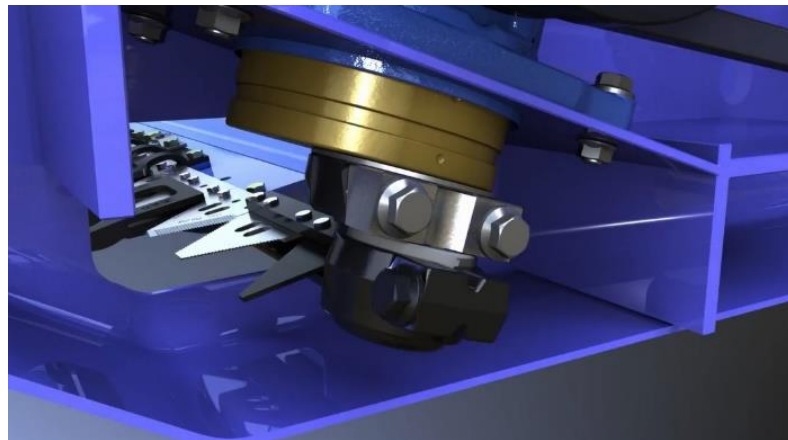


Рис. 2.1. Система швидкісного різання стеблостою «Шумахер»

Привод планетарного типу забезпечує перетворення обертального руху привідного валу в зворотно-поступальний рух головки ножа різального апарату жнивarki. У ньому застосовують диференційну планетарну передачу, яка переміщує брус леза в поздовжній горизонтальній площині (рис. 2.2.) Оскільки в процесі приводу немає вертикальних коливань різального апарату, таким чином ми позбудемось вказаних недоліків кривошипно-шатунних просторових приводів. Ми не отримуємо вертикального переміщення, а отже, уникамо дисбалансу, вібрацій, перевантаження на лезі, а також з'являється можливість

збільшити швидкість руху леза апарату, відповідно і швидкість зрізання. Змінивши підхід до застосування планетарного приводу у співвідношенні з шатунним, кількість ходів леза ножа на МКШ – $n=7$ ходів/с, а на МПН - до $n=11$ ходів/с).

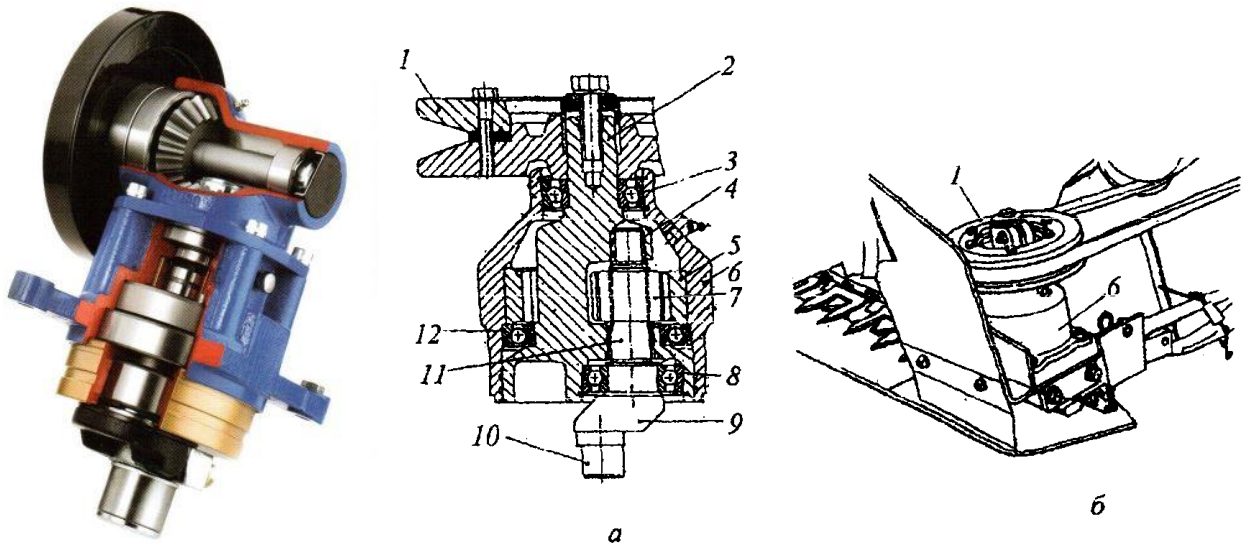


Рис. 2.2. Планетарний механізм приводу швидкісного різального апарату

а – поперечний переріз механізму; б – місце встановлення на жатку; 1 – шків привідний; 2 – водило механізму; 3, 8 і 12 – кулькові підшипники; 4 - підшипник гольчастий; 5 - зубчасте колесо; 6 - корпус; 7 – сателіт привідного вала; 9 - кривошип; 10 - палець з'єднання кривошипа з ножем; 11 – ведений вал привода.

Принцип роботи планетарний механізму приводу наступний. Від редуктора приводу різального апарату крутний момент передається на шків 1, який приводить в рух водило 2 і сателіт 7. Сателіт, рухаючись по внутрішніх зубцях колеса 5, передає обертання на вал 11 кривошипа 9. Палець 10 приводу, шарнірно з'єднаний з шаровим механізмом апарату, що переміщує його у зворотно-поступальному напрямку.

Сегменти та протирізальні пальці, які встановлюються під кутом до різальної крайки леза ножа, мають можливість встановлюватись по чергово через один зеркально до горизонтальної площини різання (рис. 2.3.).



Рис. 2.3. Схема встановлення сегментів відносно пальців

Протирізальні пластини на подвійних пальцях також встановлені відповідно напрямку сегмента ножа. Такий спосіб встановлення сегментів та пластин дозволяє підвищити ефективність защемлення стебл та їх фіксації під час початку різання та повного відрізання, а також запобігає заклинюванню маси в зазорі різальної пари, та дозволяє отримати рівний профіль зрізу стебл. Дозволяє знизити температуру нагріву поверхні різального апарату.

З метою зменшення зусилля різання запропоновано на сегменті 6, в зоні різання, збільшити зуби насічки лека, що дасть змогу зменшити кут атаки стебла і виконати агресивний профіль зуба лека (рис. 2.4.).

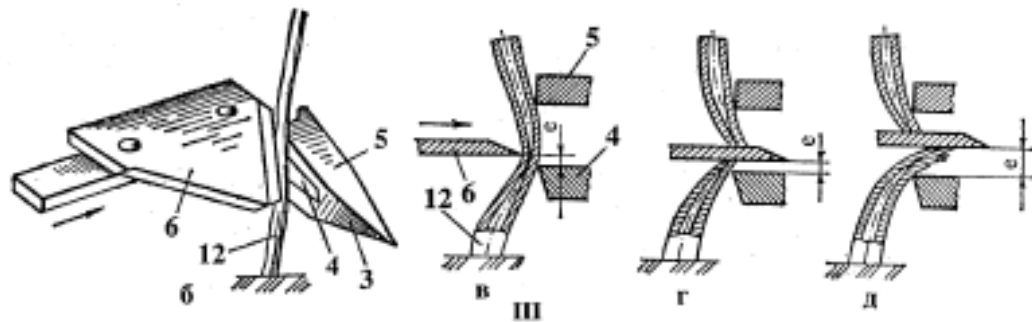


Рис. 2.4. Схема зрізання стебла різальним апаратом

Запропонована модернізація знижує енергетичну складову приводу ножа, виконується умова не заклинювання маси в зазорі між лезом 6 та пластиною 4, зростає плавність ходу ножа різального апарата. Лека ножа встановлюються до

бруса кінчним болтовим кріпленням з контр гайкою, що дає високу надійність фіксації та тривале утримання сегмента нерухомо.

2.2. Визначення параметрів планетарного механізму приводу різального апарату

При визначенні параметрів планетарного механізму приводу різального апарату зернозбиральних жаток основним завданням є, визначення і узгодження кінематичних та конструкційних параметрів таким чином, що координатна точка, на початку руху сателіта, мала прямолінійну траєкторію, тобто забезпечувався зворотно-поступальний рух. Подібна прикладна задача відображена в джерелах [11] і [12].

Розглянемо схему руху зображену на (рис. 2.5.), на якій показано триланковий одноступінчастий планетарний механізм із внутрішнім зачепленням сателіта [10,14,15].

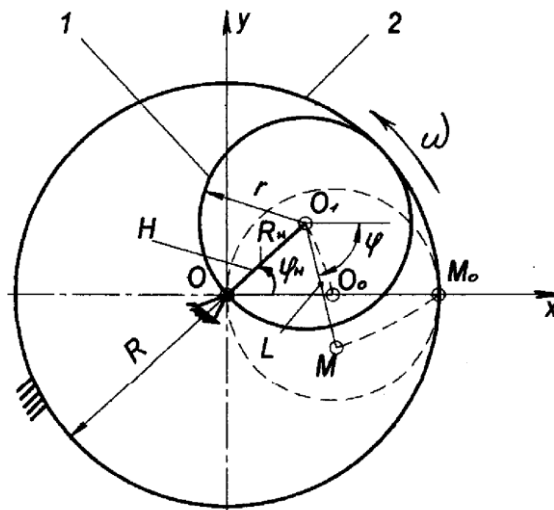


Рис. 2.5. Розрахункова схема визначення параметрів планетарного механізму приводу ножа різального апарату:

1 - сателіт; 2 - опорне колесо; H – водило.

Якщо водило обернеться на кут φ_n (рис. 2.5.) центр обертання сателіта з точки O_0 переміститься в положення O_1 , а вісь сателіта виконає оберт на кут φ який можна визначити з формули:[10,11]

$$\varphi = i_{1H} \cdot \varphi_H, \quad (2.1.)$$

де $i_{1H} = 1 - i_{1,2}$ - передаточне відношення планетарної передачі;

$$i_{1,2} = -1 \frac{z_2}{z_1} - \text{передаточне відношення зубчатої пари.}$$

z_1, z_2 - кількість зубів сателіта і нерухомого колеса;

C - число пар у механізмі.

Тоді траєкторія руху сателіта тобто, точки M в початковий момент M_0 , запишемо наступним чином:

$$x = R_H \cdot \cos \varphi_H + L \cdot \cos \varphi_{1H} \varphi_H \quad (2.2)$$

$$y = R_H \cdot \sin \varphi_H + L \cdot \sin \varphi_{1H} \varphi_H \quad (2.3)$$

де R_H - довжина тіла водила;

L - довжина від центра осі сателіта до траєкторії точки M

З метою забезпечення $y = \text{const}$, потрібно визначити першу похідну по φ_H і прирівняти її до нуля:

$$R_H \cdot \cos \varphi_H + L i_{1H} \cdot \cos i_{1H} \varphi_H = 0 \quad (2.4)$$

тоді отримаємо:

$$i_{1H} \frac{\cos i_{1H} \varphi_H}{\cos \varphi_H} = -\frac{R_H}{L} \quad (2.5)$$

Аналізуючи отриману модель (2.5) бачимо, що передаточне число буде становити $i_{1H} = -1$, що забезпечить прямолінійний рух точки M . Згідно отриманих математичних моделей, а також передаточного числа пари, яке рівне -1 , параметри механізму приводу різального апарату будуть наступні (рис. 2.2., 2.6.):

$$i_{1H} = 1 - \frac{z_2}{z_1} = 1; z_2 = 2z_1; R = 2R_H; R_H + r = R = 2r; R_H = r = L;$$

z_1, z_2 - потрібно встановити з парною кількістю зубів.

Визначимо згідно встановлених геометричних параметрів приводу хід ножа:

$$x = S = 2R_H (1 - \cos \omega t), \quad (2.6.)$$

Де ω ($\omega t = \varphi_H$) - кутова швидкість обертання водила, рад/с

Тоді, максимальна відстань переміщення ножа різального апарату буде становити:

$$x_{\max} = S_{\max} = 2R_H (1 - \cos \pi) = 4R_H, \quad (2.7.)$$

Звідки визначимо швидкість різання ножа:

$$V = \frac{dx}{dt} = 2\omega r \cdot \sin \omega t. \quad (2.8)$$

Взявши першу похідну від (2.8) отримаємо прискорення руху ножа:

$$W = \frac{d^2x}{d^2\varphi_H} = 2\omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega t. \quad (2.9)$$

Провівши кінематичні дослідження планетарного механізму приводу різального апарату, визначено:

- в даному типі приводу відсутні інерційні сили, в порівнянні із кривошипно-шатунним механізмом.

- оскільки, хід ножа при кривошипному приводі має двократну довжину кривошипа механізму, тому єдиним способом збільшення величини ходу є збільшення плеча важеля даного приводу, що призводить до зростання негативного явища вертикальних сил інерції та розбалансування системи.

- встановивши планетарний тип приводу різального швидкісного апарату, ми отримаємо зменшення затрат енергії на привід до 25%, а зростання ККД на 10...12 %.

Враховуючи дані переваги планетарного приводу ножа різального апарату жатки, приймаємо рішення про доцільність подальшого дослідження та використання в приводі різальних апаратів жатних частин даного пристрою.

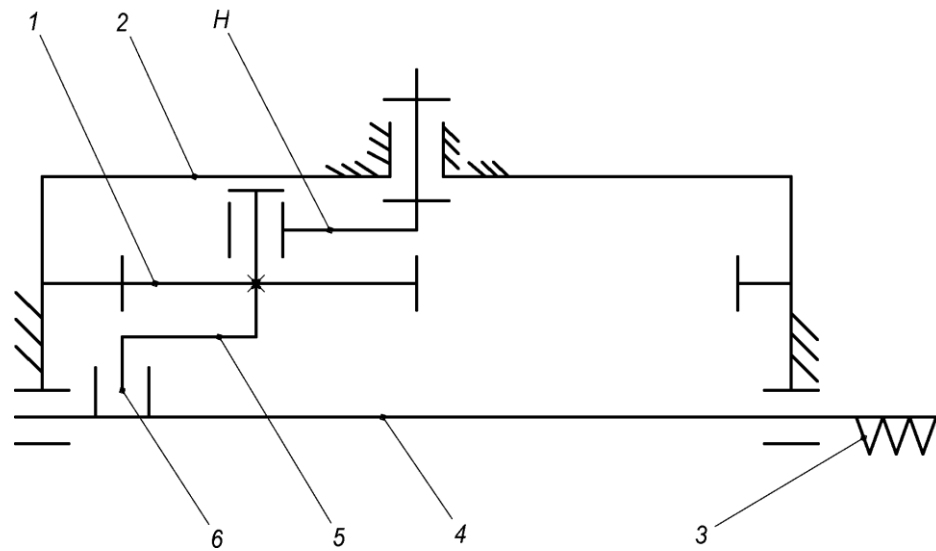


Рис. 2.6. Схема планетарного механізму приводу різального апарату, з
прямолінійним рухом сателіта:

*1 - сателіт; 2 – сонячне нерухома шестерня; H - водило; 3 – сегменти ножа; 4 -
головка різального апарату; 5 – важіль кривошипа; 6 – палець.*

Оскільки в меті даної роботи декларували ціль позбутися шатунного приводу різальних швидкісних апаратів жниварок, а від так і незрівноважені сили інерції у вертикальній площині. Можливе рішення даної проблеми полягає у застосуванні типу привідного механізму, який має назву «синусний» (рис. 2.7.)

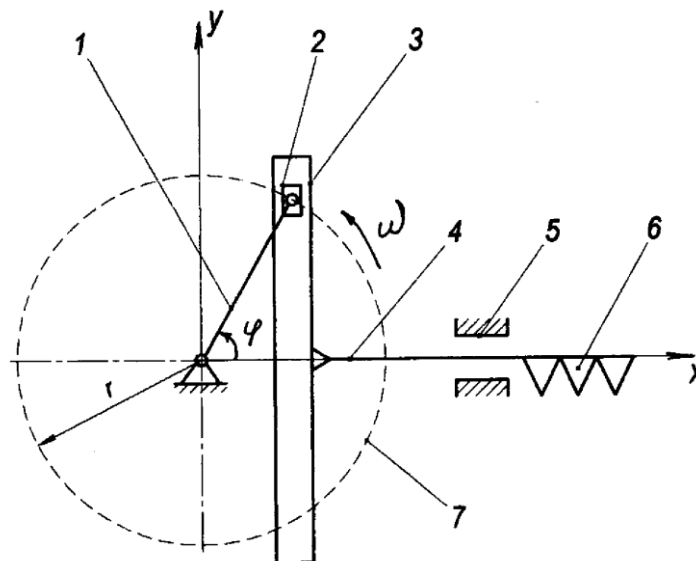


Рис. 2.7. Схема кінематична «синусоїдного» приводу різального апарату жаток
низького зрізу:

1 – кривошипний механізм; 2 - повзун; 3 – направляюча куліса; 4 – привід ножа; 5 – кульова опора; 6 – сегментно-пальцевий різальний апарат; 7 - траєкторія кінцевої точки кривошипа.

Принцип роботи даного типу механізмів полягає у перетворенні обертового руху у зворотньо-поступальних ножа апарату без застосування шатуна. В даному конструктивному рішенні вал кривошипа 1 прикріплений до повзуна 2, який рухається по направляючих куліси 3, яка в свою чергу передає лінійне переміщення на головку приводу різального апарату. Рух ножа 4, відбувається тільки поступально в площині завдяки кульовій опорі 5. Направляючій надається тільки зворотньо-поступальний рух від пальця кривошипаяки обертаться по радіусу r , якому передається обертовий рух від редуктора приводу жатки комбайна.

При початковій точці положенні кривошипа, направляюча куліса почне свій рух у праве крайнє положення (рис.2.7.). Звідки отримаємо аналітичні рівняння руху ножа різального апарату:

$$x = r(1 - \cos \varphi) \cdot r(1 - \cos \omega t) , \quad (2.10)$$

ω - кутова швидкість обертання вала кривошипа, рад/с.

Звідки швидкість ходу

$$V = \frac{dx}{dt} = r\omega \cdot \sin \omega t , \quad (2.11)$$

Тоді

$$W = \frac{d^2x}{d^2t} = r\omega^2 \cdot \cos \omega t , \quad (2.12.)$$

Звідки можемо визначити хід ножа

$$S = 2r \quad (2.13)$$

Аналізуючи математичні моделі (2.10-2.13), кінематичні параметри ножа різального апарату, описуються законом “гармонічного коливального руху” ланки, так само як і в кривошипно-шатунному механізмі по загальновідомими

способами розв'язку даного виду механізмів представлених у працях [13, с.131-133] та [14, с.253].

Застосувавши синусоїдний рух механізму приводу повзуна з планетарним механізмом (рис.2.8.), розрахувати кінематично-геометричні показники роботи приводу згідно встановлених моделей (2.1), (2.2), (2.3) і (2.4), отримаємо:

$$\text{збільшений хід ножа} \quad S = 4r,$$

У порівнянні із стандартним для планетарного механізму приводу $S = 2r$ Що суттєво призводить до зростання швидкості зрізу стеблостою.

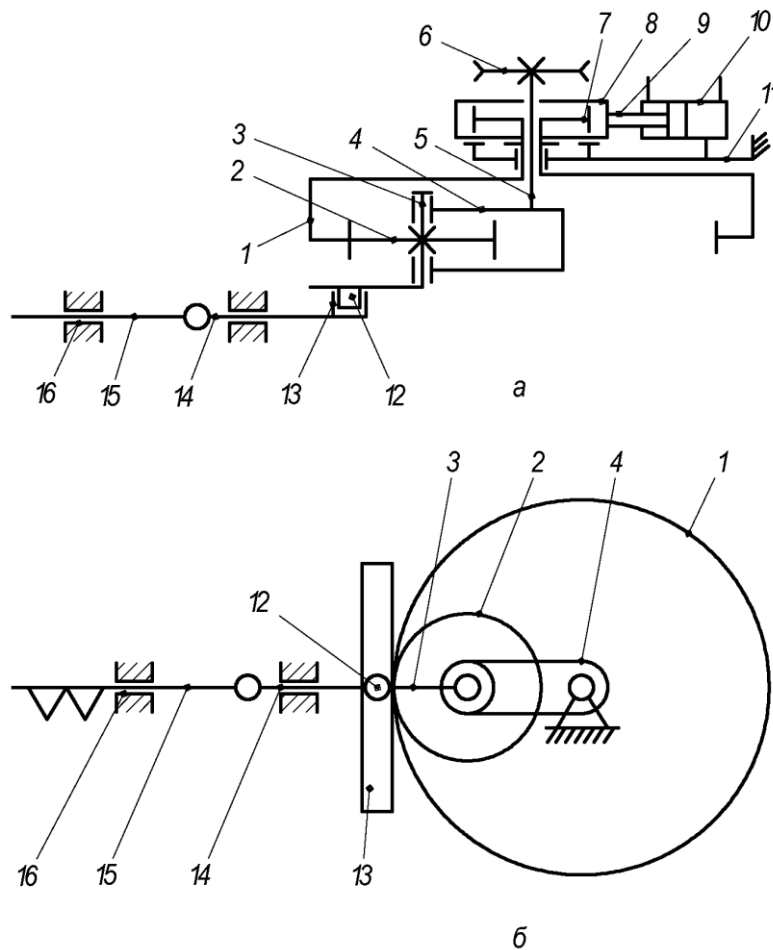


Рис. 2.8. Схема модернізованого планетарно-синусоїдного приводу різального апарату жаток:

а - фронтальна проекція; б - нижня проекція; 1 - нерухоме колесо; 2 - сателіт; 3 - важіль кривошипа; 4 - водило; 5 - вал привіду водила; 6 - ведений шків; 7 - зубчасте колесо редуктора; 8 - тяга; 9 - гідроциліндр; 10 - гідроциліндр; 11 - корпус; 12 - палець; 13 - направляюча куліса; 14, 16 - кульова опора; 15 - брус;

Висновки до розділу 2

Приймаючи до уваги отримані кінематичні параметри і аналітичні залежності запропоновано застосовувати удосконалений планетарний привод швидкісного різального апарату жниварок зернозбиральних комбайнів.

Даний тип механізму дає можливість збільшити хід та швидкість зрізу ножа різального апарату в залежності від робочо швидкості комбайна під час збирання, не виконуючи регулювання конструкційно-кінематичних параметрів ланок механізму приводу різального апарату, встановлених заводом виготівником допустимого ходу ножа, в межах 90...180 мм, з кроком встановлення протирізальних пастин з подвійними пальцями і лез ножа, що відповідає стандартному $t = 76,2\text{мм}$.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЕННЯ ШВИДКІСНОГО РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ

3.1. Визначення показників роботи різального апарату

Нами запропоновано модернізований різальний апарат сегментно-пальцевого типу та його привод, що дозволить підвищити швидкість різання стебел та зростання робочої швидкості машини, та дасть можливість підвищити продуктивність збирального агрегату (рис. 3.1).

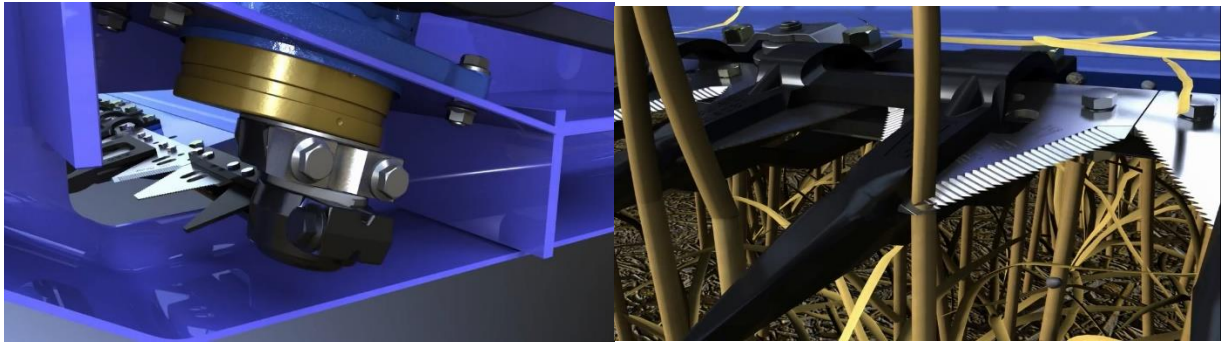


Рис. 1. Модель різального апарату сегментно-пальцевого типу з використанням протирізальних пальців Шумахера

Розрахунок частоти обертання кривошипа виконують за формулою[1]:

$$n = \frac{K \cdot S \cdot v}{2 f_n}, \quad (2.1)$$

де K - коефіцієнт, який характеризує тип різального апарату /ТРА/,

$K=1$ (нормальний ТРА однопрохідний).

$K=0,32$ (нормальний ТРА двопрогінний).

$K=0,68$ (низького зрізу ТРА).

S - переміщення ножа в відносному русі при повороті кривошипа на π

f_n - площа поля, рослини з якого зрізаються сегментом біля однієї протирізальної пластини за π рад повороту кривошипа (площа навантаження);

Знаходження швидкостей початкової U_n і кінцевої U_k різання стебел виконують наближено, приймаючи, що механізм приводу ножа - центральний з

постійною частотою обертання кривошипа, а відношення радіуса кривошипа r до довжини шатуна - l має мале значення.

При таких умовах швидкість точок ножа U при відносному русі становитиме:

$$U = 2\pi \cdot n \cdot y, \quad (3.2)$$

де y - значення проекції радіуса кривошипа на вертикальну вісь (рис. 3.2).

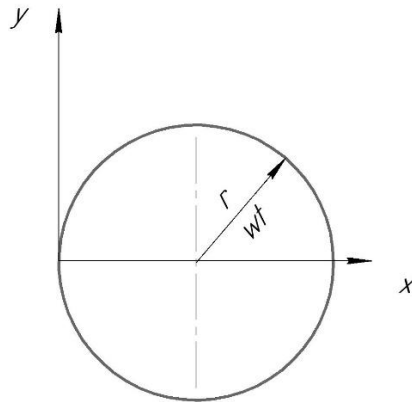


Рис. 3.2. Схема до знаходження $U=f(y)$

Для знаходження U_n і U_k нанесемо на контури сегмента (рис. 3.3.), розміщеного в будь-якому крайньому положенні і протирізальну пластину (для апаратів $t=2t_0=S$ і $2t=2t_0=S$).

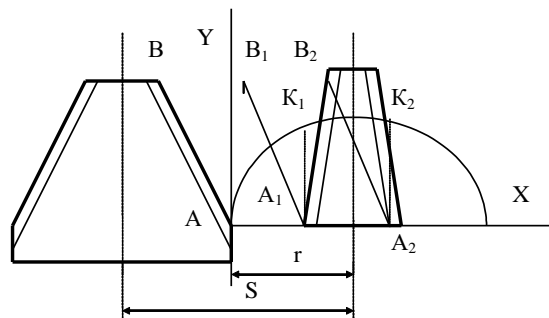


Рис. 3.3. Діаграма швидкостей різання

Далі будемо діаграму швидкості руху будь-якої точки ножа. Так як графік функції $y(x)$ є коло з радіусом r , то відклавши від точки A (початкова точка робочої частини леза, для низького ТРА точку A вибираємо так, щоб швидкість початку різання в крайнього пальця відповідала величині $0,5$ м/с) відрізок $AO =$

r і провівши півкруг радіусом r , отримаємо в масштабі діаграму зміни швидкості руху точки А ножа.

Припустимо, що сегмент зрізає всі стебла рослин, які знаходяться біля протирізальної пластини, початок різання стебела буде відповідати такому положенню АВ леза, коли точка А підходить до леза протиріжучої пластини (рис.3.3).

Швидкість U_n в цей момент є швидкістю початку різання. Величина U_n дорівнює :

$$U_n = A_1 K_1 \cdot 2\pi \cdot n, \quad (3.3)$$

Кінець різання відповідає положенню A_2B_2 леза сегмента, коли його точка В доторкується до леза протирізальної пластини. Величина швидкості:

$$U_k = A_2 K_2 \cdot 2\pi \cdot n, \quad (3.4)$$

На рис.3.3. представлена діаграма швидкостей різання для апаратів низького різання, однопрохідних. В низькому типі різального апарата і двопрхідному сегмент за один хід зрізає рослини в двох протирізальних пластин. Для таких апаратів слід знайти дві швидкості початку і кінця різання відповідно середнього і крайнього пальців.

З рис. 3.3. видно, що різання відбувається з непостійною швидкістю, тобто швидкості на початку і в кінці різання не рівні.

Швидкість початку різання біля середнього пальця в апараті низького різання низька ($\approx 1,5$ м/с). Малі швидкості можуть бути причиною неякісного зрізу і забивати різальний апарат.

3.2. Визначення кінематичних параметрів роботи запропонованого різального апарату

Траєкторія абсолютного руху любої точки ножа (рис. 3.4.) може бути отримана графічно, поєднанням двох відносного і переносного рухів. На осі Z відкладаємо відрізок довжиною L , що рівний подачі на лезо, рівний в масштабі

шляху, який проходить комбайн за пів оберта кривошипа планетарного механізму приводу ножа.

Значення подачі L на лезо сегмента визначимо за формулою[2]:

$$L = \frac{v}{2n}, \quad (3.5)$$

Для нашого варіанта $L = \frac{1,5}{2 \times 9,5} = 0,079 \text{ м.}$

Далі через вибрану для аналізу точку (на кресленні точка A) проводимо півколо радіусом r , відповідної траєкторії руху пальця кривошипа при повороті його на кут $\omega t = \pi$. Подача L і півколо розбиваємо на однакову кількість частин. Знаходимо координати перетину вертикалей, проведених із точок поділу півкола і горизонтальних ліній, які проходять через відповідні поділки відрізка, рівного подачі L . Точки пересікання лежать на траєкторії абсолютного руху точки A сегмента. По еквідістантним траєкторіям рухаються будь-які точки ножа.

Отриману траєкторію використовують для побудови діаграми висоти стерні.

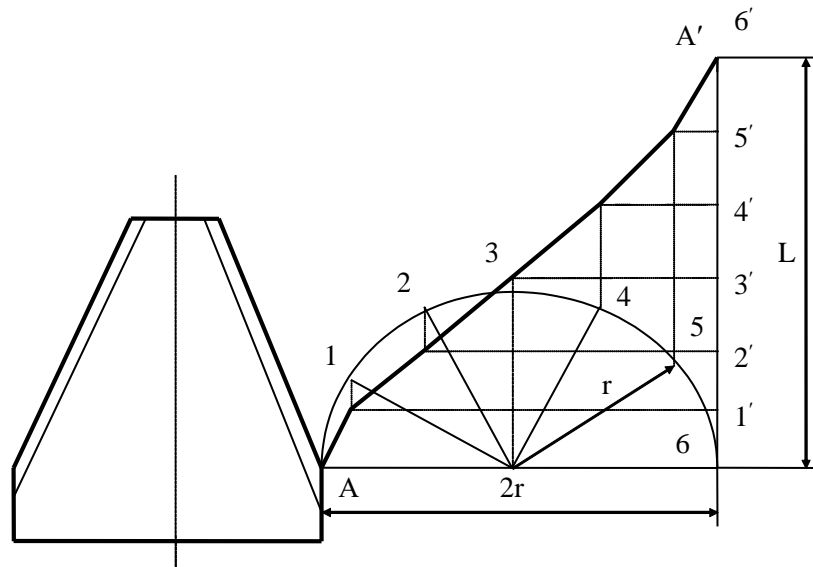


Рис.3.4. Траєкторія абсолютного руху точки ножа.

Відгин стебел і діаграму висоти стерні розглядаємо, приймаємо наступні припущення:

- лезо зрізає всі рослини тільки біля протирізальних пластин;
- стебла не ковзають по лезу при нахилі їх до пальця;
- примемо, що стебла від площини леза сегмента до площини ґрунту - жорсткий стержень;
- леза протирізальних пластин повинні бути паралельні (лінії КК і К₁ К₁) рис.3.5. і знаходяться одна від одної на відстані **b**, рівній середній ширині протирізальної пластини.

Висоту стерні H_{c2} визначимо, як гіпотенузу трикутника, у якого один катет рівний H_y , а другий q_2 , тобто: [2]

$$H_{c2} = \sqrt{H_y^2 + q_2^2} \quad (3.6)$$

Висота стерні для будь-якого стебла цієї зони може бути визначена з виразу: [2]

$$H_{зр3} = \sqrt{H_y^2 + q_3^2}, \quad (3.7)$$

В зонах II і III стебла зрізаються з відгином. Через великі відгини можуть висковзувати стебла із ріжучої пари, підніматись під пальцевий брус, тому при оцінці працездатності ріжучих апаратів знаходять граничні значення повздовжнього і поперечного відгинів. [2]

Максимальні відгини не являються критеріями оцінки якості роботи різальних апаратів. Якість роботи різального апарата слід оцінювати втратами врожаю. Величину втрат можна характеризувати середньою висотою стерні $H_{зр}$ по всій площі зрізу. [2]

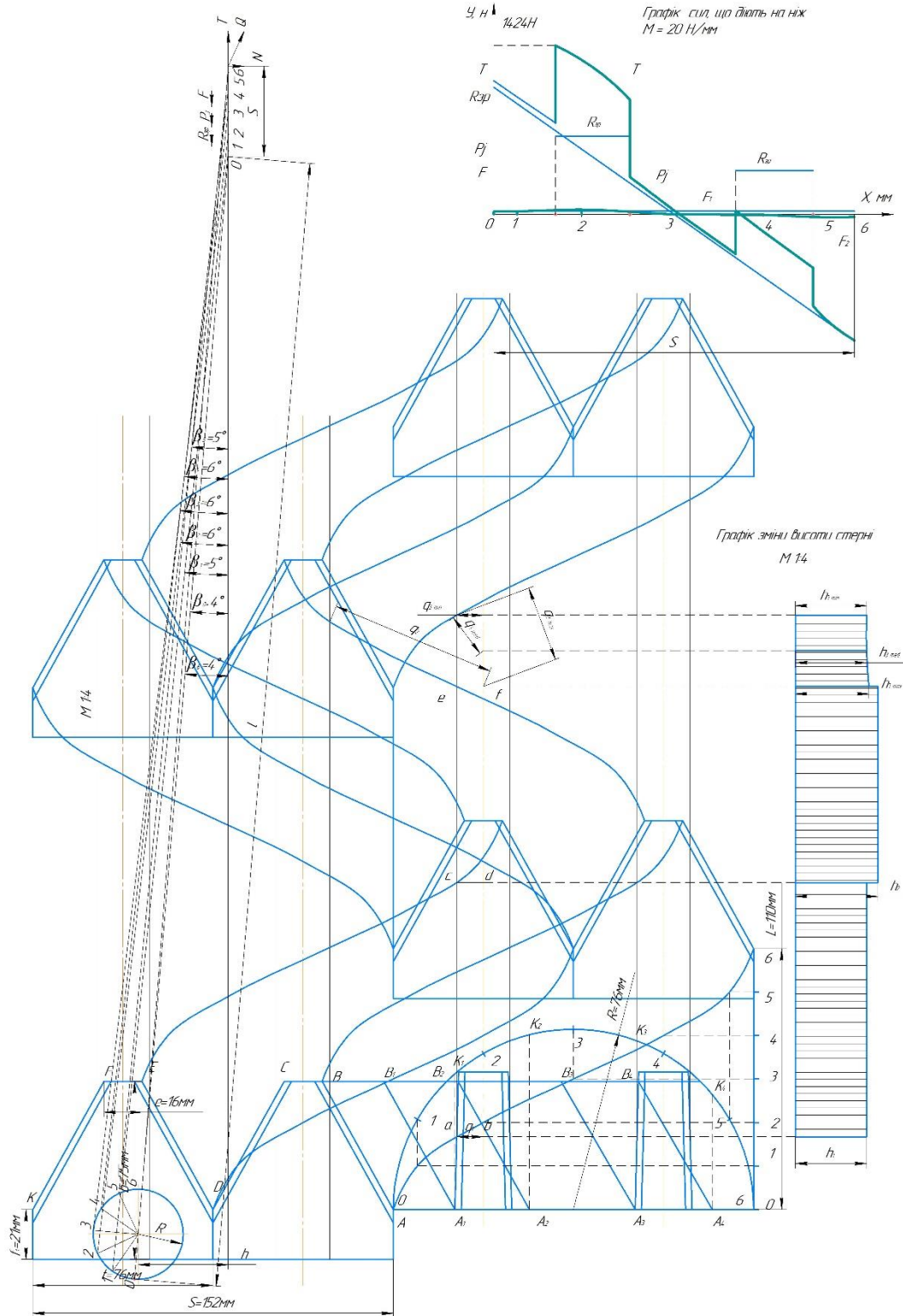


Рис. 3.5. Діаграма відгину стемел стерні для двопробіжного сегментно-пальцевого апарату низького різання.

Рушійна сила T , яка переміщає ніж, рівна алгебраїчній сумі сил різання $R_{зр}$, інерції P_j і тертя $F_{тр}$ (рис.3.6.). Середню силу $R_{зр}$ опору стебел зрізанню розраховують по формулі: [2]

$$R_{зр} = \frac{E \cdot f_H \cdot N}{x_p}, \quad (3.8)$$

де E -коефіцієнт, який визначає роботу на зрізанні сегментом з 1см^2 площі.

$E=1...2 \cdot 10^{-2}$ Дж/см² (для стебл зернових).

N -число сегментів, $N=B/t$.

x_p -хід ножа (знаходять з діаграми швидкостей рис.3.3).

Залежність (рис.10) функції $R_{зр}(x)$ -пряма лінія (паралельна осі абсцис) для апаратів $t=2t_0=S$ і $2t=2t_0=S$ сила $R_{зр}$ має дві ділянки, відповідно для x_{p1} і x_{p2} . Силу інерції знаходять відповідно ваги ножа і його прискорення:

для апаратів низького різання: [2]

$$R'_{зр} = \frac{E \cdot f_{H1} \cdot Z}{x_{p1}}; \quad f_{H1} = 0,32L \cdot S$$

$$R''_{зр} = \frac{E \cdot f_{H2} \cdot Z}{x_{p2}}; \quad f_{H2} = 0,68L \cdot S$$

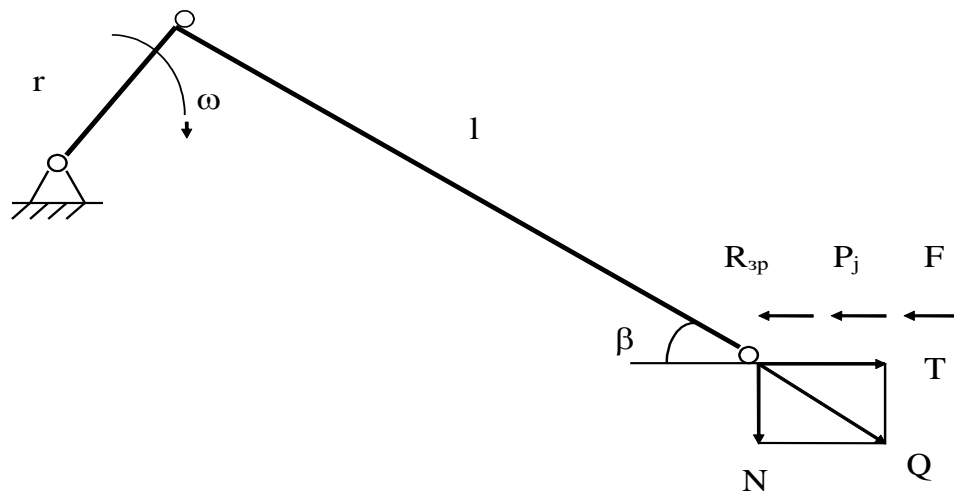


Рис. 3.6. Схема сил, які діють на брус ножа

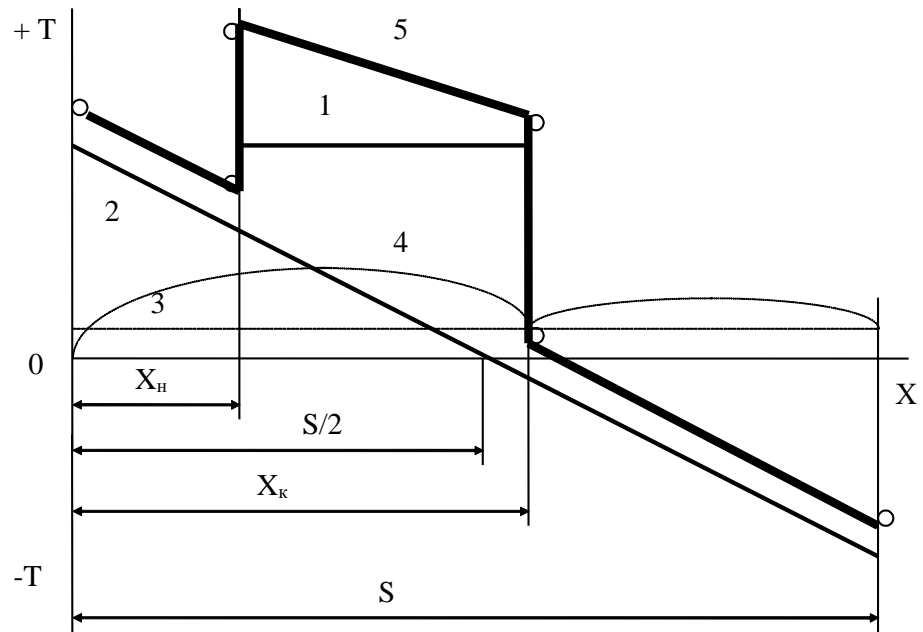


Рис. 3.7. Залежність зміни сил, які діють на ніж від його переміщення
 1. Сила різання. 2. Сила інерції. 3. Сила тертя ножа. 4. Сила тертя
 ножа виникає від прижимання траверсою. 5. Сумарна сила.

На рис. 3.7. сила $F_{тр2}$ показана кривою 4. Результуючу силу T (крива 5) знаходять, ординатами сумарних сил $R_{зр}$, P_j , $F_{тр1}$, $F_{тр2}$.

Визначивши величину сили T , можна побудувати діаграми сил і крутних моментів, які діють на палець кривошипа, розрахувати момент інерції механізму, параметри планетарного приводу, а також знайти потужність, яка потрібна для приводу ножа.

Висновки до розділу 3

При низьких швидкостях різання стебла відхиляються різальним апаратом на велику величину і зрізаються з більшою стернею.

Дослідженнями встановлено, що для високоякісного зрізу рослин необхідна швидкість різання для трав не менше - 3,15 м/с, для зернових - 2,5 м/с.

При зміщеному ножі швидкість початку різання зменшується, особливо впливає зміщення в апаратах низького зрізу з некратним ходом ножа.

Центрування ножа проводиться, шляхом регулювання довжини кривошипа або зміщенням відносно ножа пальцевого бруса.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1.Провівши аналіз технологічного процесу скошування різальних апаратів жаток встановлено: ефективність застосування флекс різального апарату з регулятором висоти зрізу; основними недоліками застосування відомих ТРА є потреба зменшувати швидкість руху агрегата на 0,5...0,7 м/с на тих ділянках поля, де нерівний мікрорельєф, та нерівності утворені під час поверхневого обробітку. Встановлено необхідність низького швидкісного різу стебел під час збирання низькорослих сортів за малої щільності рослин та з умови висоти розташування першого плода

2.Обґрунтовано тип механізму приводу різального апарату, що дає можливість збільшити хід та швидкість різання апарату в залежності від робочої швидкості комбайна під час збирання, не виконуючи регулювання конструкційно-кінематичних параметрів ланок механізму приводу різального апарату, встановлених в межах 90...180 мм, з кроком встановлення протирізальних пластин з подвійними пальцями і ножа, що відповідає стандартному $t = 76,2\text{мм}$.

3.Дослідженнями встановлено, що для високоякісного зрізу рослин необхідна швидкість різання для трав не менше - 3,15 м/с, для зернових -2,5 м/с. При зміщеному ножі швидкість початку різання зменшується, особливо впливає зміщення в апаратах низького зрізу з некратним ходом ножа.

4.Визначивши величину сили різання T , застосувавши діаграми сил і крутних моментів, які виникають на кривошипі механізму приводу, дозволяє визначити момент інерції механізму та конструкційні параметри планетарного приводу, а також знайти потужність, яка потрібна для приводу ножа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи конструкція, проектування: Підручник для студентів вищих навчальних закладів із спеціальності «Машини та обладнання с.г. виробництва» (За ред. М.Г. Черновола). – Кн.1. К.: Урожай, 2001.-384с.
2. Смолінський, С.В. Аналіз взаємозв'язку між базовими параметрами сучасних зернозбиральних комбайнів / С.В. Смолінський. - Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. - Харків. - 2010. - Вип. 93, т.і. - С. 182-186.
3. Недовесов, В.І. Графічне і математичне моделювання показника „об'єм бункера зернозбирального комбайна” / В.І. Недовесов, М. Д. Занько. - Механізація і електрифікація сільського господарства. - 2012. - Вип. 96. - С. 240-246.
4. Занько, М.Д. Удосконалення методів випробувань молотарки зернозбирального комбайна [Текст] : Автореферат дис. канд.техн.наук: / М.Д.Занько. - Глеваха, 2008. - 20 с.
5. Демко, А. Метод визначення пропускної здатності молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральних комбайнів з урахуванням змінитехніко-експлуатаційних характеристик [Текст] / А. Демко, О. Надточій, О. Демко. - Техніка і технології АПК. - 2012. - №2. - С. 32-35.
6. Непочатенко, А.В. Економіко-математичне моделювання витрат під час збору врожаю залежно від потужності двигуна зернозбирального комбайна / А.В. Непочатенко, В.А. Непочатенко . - Економіка та управління АПК, 2013. - Вип.11(106). - С. 130-136.
7. С. Карабиньош, Різальні апарати жаток, їхні ТО і ремонт / С. Карабиньош, А. Новицький // Пропозиція,-2013. <https://propozitsiya.com/ua/rizalni-aparati-zhatok-yihni-i-remont>
8. <https://agrotimes.ua/article/zhatki-dlya-zbirannya-bobovih/>

9. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2005. — 464 с.
10. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И.И. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 640 с.
11. Бок Н.Б. Планетарний привод режущого апарата уборочних машин / Бок Н.Б., Таирян Ш.С., Алшрян К.А. // Известие сельськогосподарських наук. - 1967. - № 5. - С. 5-9.
12. Бок Н.Б. Исследование нового механизма привода ножа сенокосилки // Труды ЦСХИ. - 1971. Т.8. - С.16-19.
13. Методика та приклади розв'язування задач з теоретичної механіки / [Каплунова А.В., Михайловський В.А., Сірош І.П. та ін.]. - К.: ДВСЛ УРСР, 1961. - 390 с.
14. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике / Мещерский И.В. / под. ред. Н.В. Бутенина, А.И. Лурье, Д.Р. Меркина. - М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит., 1986. - 448 с.
15. Погорілець О.М. Зернозбиральні комбайни / Погорілець О.М., Живолуп Г.І. - К.: Український центр духовної культури, 2003 - 201 с.
16. Погорілець О.М. Зернозбиральний комбайн сьогодні, вчора і завтра: Навчальний посібник / Погорілець О.М., Погорілець М.О., Погорілець Ю.О. - Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2008. - 72 с.
17. Соколов Г.В. Кошение трав на повышенных скоростях / Соколов Г.В. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1960. - №3. - С.10-14.
18. Таирян Ш.С. Теоретическое и экспериментальное исследование планетарного привода сенокосилок: автореферат дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Специальность 05185 - сельськогосподарські машини. Ереван, 1969. - 24 с.