

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Модернізація кукурудзозбиральної приставки КМД-6 з обґрунтуванням параметрів качановідривного апарату»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-23М-1.2

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____Омельченко Олександр Олександрович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

професор, канд. техн. наук

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Іван ВАСИЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти II

Галузь знань 13 - Механічна інженерія

Спеціальність Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ
(МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Омельченко Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Модернізація кукурудзозбиральної приставки

КМД-6 з обґрунтуванням параметрів качановідривного апарату

2. Керівник роботи (проекту) Васильковський Олексій Михайлович,

кандидат технічних наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 15.05.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту)

Підвищення ефективності роботи кукурудзозбиральної приставки

5. Перелік графічного матеріалу _____

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
	О. Васильковський		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Пояснювальна записка	1.05.2025	
	Графічна частина	15.05.2025	
	Захист роботи	15-30.05.2025	

Дата видачі завдання
«12» березня 2025 р.

Підпис керівника

_____ Васильковський О.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«12» березня 2025 р.

Підпис здобувача _____ Омельченко О.О.
(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація по</u>		
				<u>магістерській роботі</u>		
A4			MP 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
				<u>Креслення</u>		
A1			MP 00.000 С2	Приставка кукурудзозбиральна	1	
				КМД-6		
A1			MP 00.001 НЧ	Класифікація кукурудзозбиральних		
				машин	1	
A1			MP 00.002 НЧ	Обґрунтування параметрів	1	
				протягувальних вальців		
A1			MP 00.010 СБ	Валець	1	
A3			MP 00.010.501	Труба	1	
A3			MP 00.020.602	Цапфа	1	
A3			MP 00.010.604	Цапфа	1	
A3			MP 00.010.302	Зірочка	1	

MP 00.000 ВП

Зм.	Арк.	№ докум .	Підп.	Дата				
Розроб.		Омельченко			Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Васильковський					4	50
Н.контр.		Мачок				ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-23 М-1.2		
Затв.		Васильковський						

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Наукова частина.....	8
3. Інженерна частина.....	17
4. Охорона праці.....	43
5. Економічна ефективність.....	46
6. Висновок.....	46
Список використаної літератури.....	47
Додатки.....	50

					MP 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		5

1. ВСТУП

Кукурудза є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі, яка використовується як продовольча, фуражна та технічна сировина. На сьогоднішній день, світове виробництво кукурудзи перевищує 1,1 мільярда тонн на рік, а площі під цією культурою становлять близько 200 мільйонів гектарів. В умовах зростаючого населення планети та підвищення попиту на продовольство, ефективність збирання кукурудзи є важливим фактором для забезпечення продовольчої світової безпеки.

Кукурудзозбиральні машини є важливою ланкою у забезпеченні механізації виробництва кукурудзи, від ефективності роботи яких безпосередньо залежить якість зібраного врожаю та економічна доцільність виробництва. Сучасний етап розвитку сільськогосподарського машинобудування характеризується інтенсивним впровадженням нових технологій, автоматизації процесів, підвищенням продуктивності та зниженням енерговитрат.

В магістерській роботі запропоноване удосконалення качановідривного апарату кукурудзозбиральної приставки КМД-6 та механізму його приводу, що дозволить зменшити її масу, енергоємність процесу та зменшити собівартість машини, підвищивши конкурентоздатність на ринку.

					MP 00.000 ВП			
<u>Зм.</u>	<u>Арк.</u>	<u>№ докум .</u>	<u>Підп.</u>	<u>Дата</u>	Вступ	<u>Літера</u>	<u>Аркуш</u>	<u>Аркушів</u>
<u>Розроб.</u>	Омельченко						4	50
<u>Перевір.</u>	Васильковський							
<u>Н.контр.</u>	Мачок							
<u>Затв.</u>	Васильковський					ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-23 М-1.2		

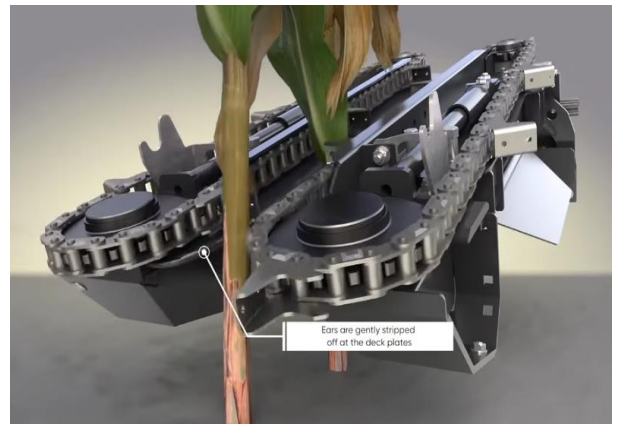
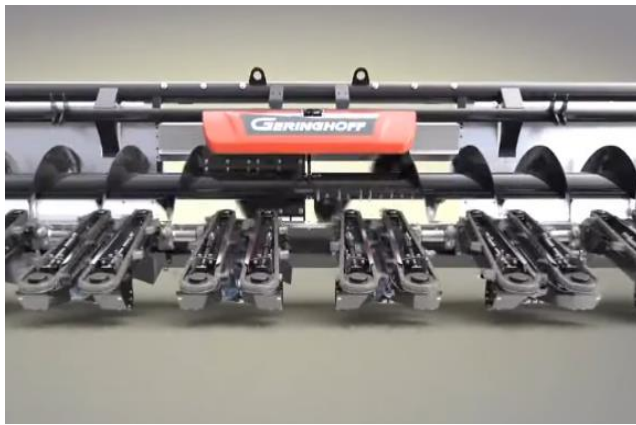


Рис. 2.1. Жатка кукурудзозбирального комбайну



Рис. 2.2. Мис-ділитель стебел

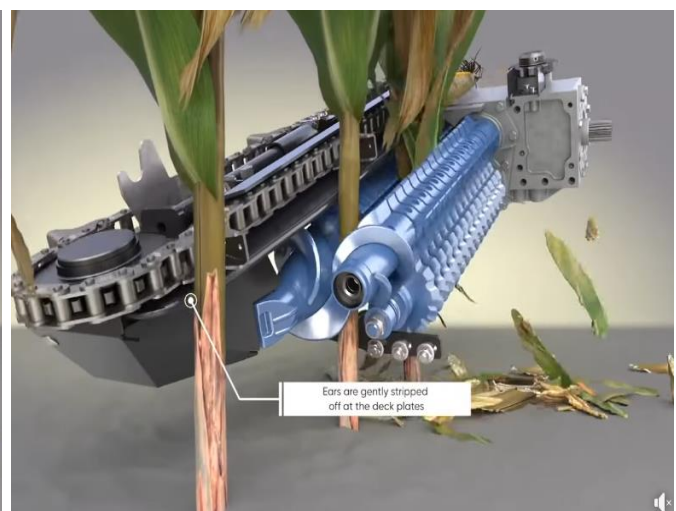
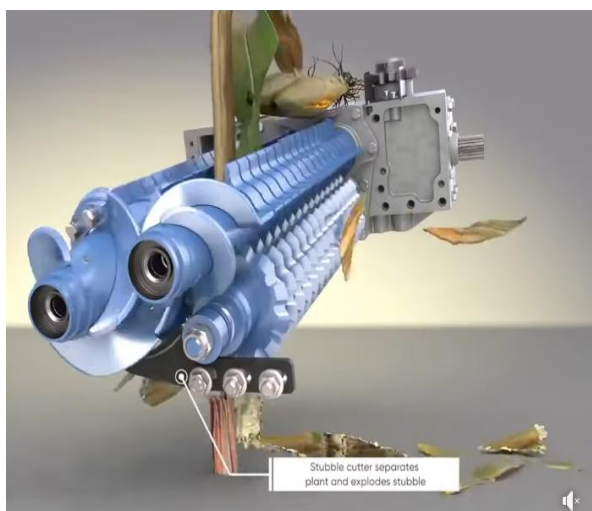


Рис. 2.3. Механізм відокремлення качанів (а) та подрібнення листостеблової маси (б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

MP 00.000 ПЗ

Арк.

9



Рис. 2.4. Роторний молотильний апарат з системою очистки зерна

2.3. Аналіз конструкцій сучасних кукурудзозбиральних машин

На європейському ринку кукурудзозбиральної техніки представлено велику кількість вітчизняних і закордонних моделей:

- John Deere 9900i – самохідний силосозбиральний комбайн з можливістю збору кукурудзи на зерно та силос.
- CLAAS LEXION 8800 (рис. 2.1) – оснащений спеціалізованою жаткою для кукурудзи, має високопродуктивну систему обмолоту [3].
- New Holland FR Forage Cruiser – модульна конструкція, можливість швидкої зміни адаптерів.
- КЗС-812 – універсальний комбайн для збору кукурудзи та зернових;
- приставка КМД-6 – кукурудзяна жатка для комбайнів Дон-1500 і Славутич.

Порівняльна характеристика відомих конструкцій наведена у табл. 2.1.

Порівняльна характеристика кукурудзозбиральних машин

Модель	Тип	Кількість рядків	Продуктивність, т/год	Збирання маси
John Deere 9900i	Самохідний	8–12	до 400	На силос
CLAAS LEXION 8800	Самохідний	8–12	до 420 до 40	На силос На зерно
ППК-4	Жатка	4	до 14	На зерно
КМД-6	Жатка	6	до 16	На зерно

Наведені дані свідчать про значну різноманітність конструкцій та можливостей. Закордонні моделі часто мають вищу продуктивність і автоматизовану систему управління, проте вітчизняні – доступніші за ціною.



Рис. 2.5. Кукурудзозбиральний комбайн CLAAS LEXION 8800



Рис. 2.6. Кукурудзозбиральний комбайн КЗС-812 з кукурудзяною жаткою

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

H – висота стебла кукурудзи, см.

Показник степені 0,4 визначено на основі експериментальних даних, що показують нелінійну залежність між висотою стебла та необхідним часом контакту.

Кут нахилу вальців впливає на ефективну площу контакту. Цей вплив можна виразити як:

Вплив кута нахилу вальців

$$F_{\alpha} = 1 + \sin(\alpha)$$

де: F_{α} – фактор впливу кута нахилу;

α – кут нахилу вальців (рад.)

Коефіцієнт проковзування μ впливає на ефективність роботи вальців прямо пропорційно:

$$F_{\mu} = \mu$$

де: F_{μ} – фактор впливу коефіцієнта захоплення;

μ - коефіцієнт проковзування стебел.

Діаметр вальців впливає на площу контакту зі стеблом.

Цю залежність можна виразити як:

$$F_D = (D/20)^{0,5}$$

F_D – фактор впливу діаметра;

D – діаметр вальців, мм;

20 - нормалізуючий коефіцієнт, мм.

Ступінь 0,5 вказує на те, що ефективність зростає як квадратний корінь від діаметра, що відповідає збільшенню площі контакту.

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

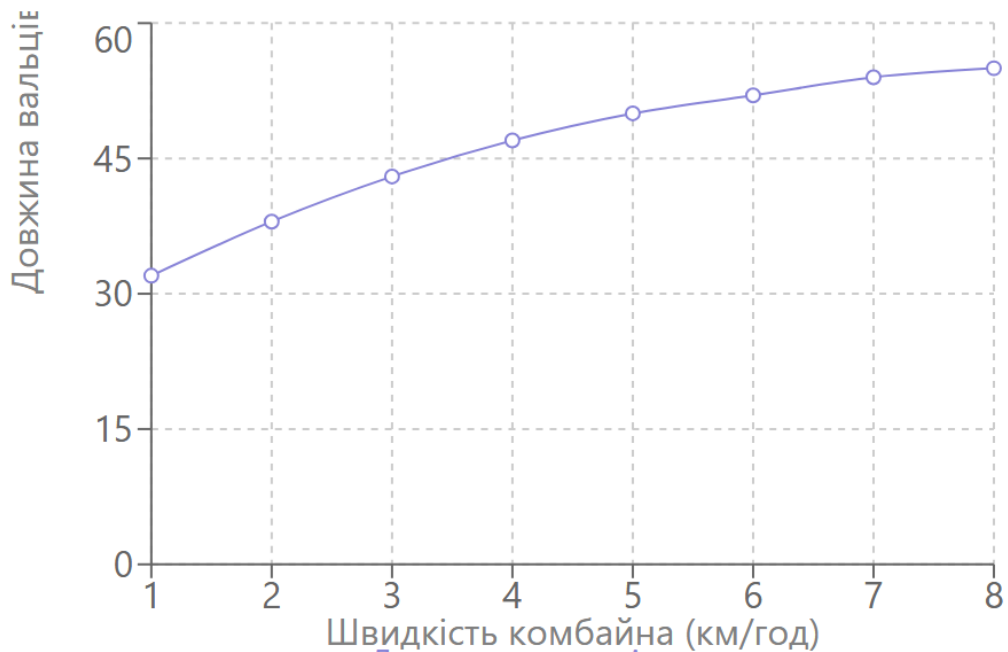


Рис. 2.8. Залежність довжини вальців від швидкості руху комбайну

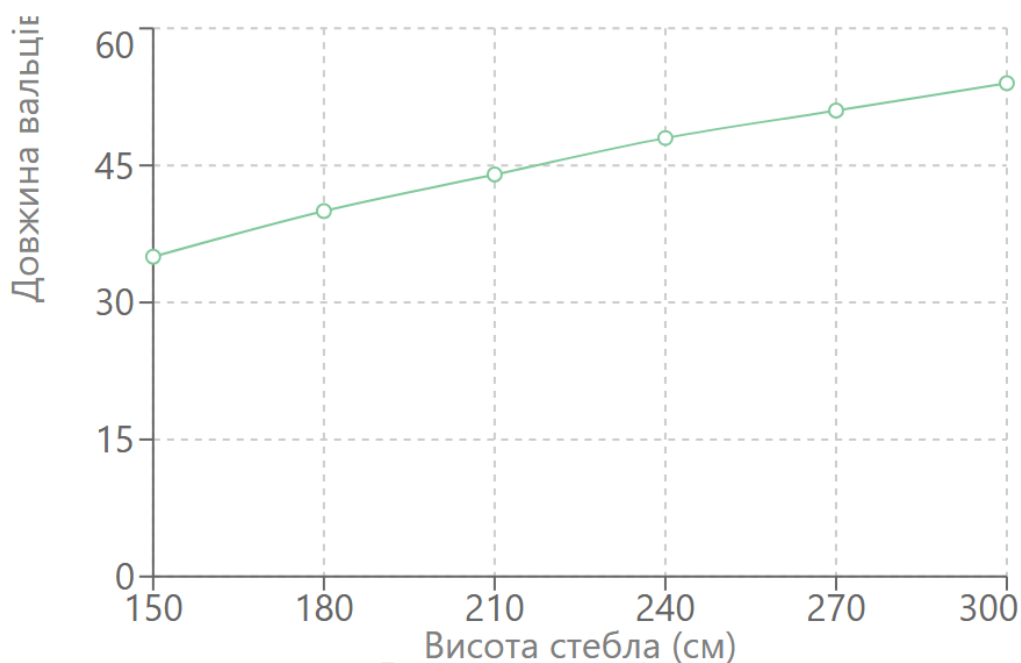


Рис. 2.9. Залежність довжини вальців від довжини стебел кукурудзи

Отримані залежності вказують на те, що при збільшенні швидкості машини і швидкості руху комбайна до 8 км/год і довжині стебел до 3 м, необхідна довжина вальців становить близько 55 см, що у півтора рази менше, ніж у вітчизняних машин і дає підґрунтя для відповідного удосконалення вальців.

3.2. Технологічні розрахунки жатки КМД-6

Визначення параметрів подавальних ланцюгів і ведених зірочок

Захоплення стебла відбувається лапками ланцюгів, які надіті на ведені зірочки (рис. 3.2).

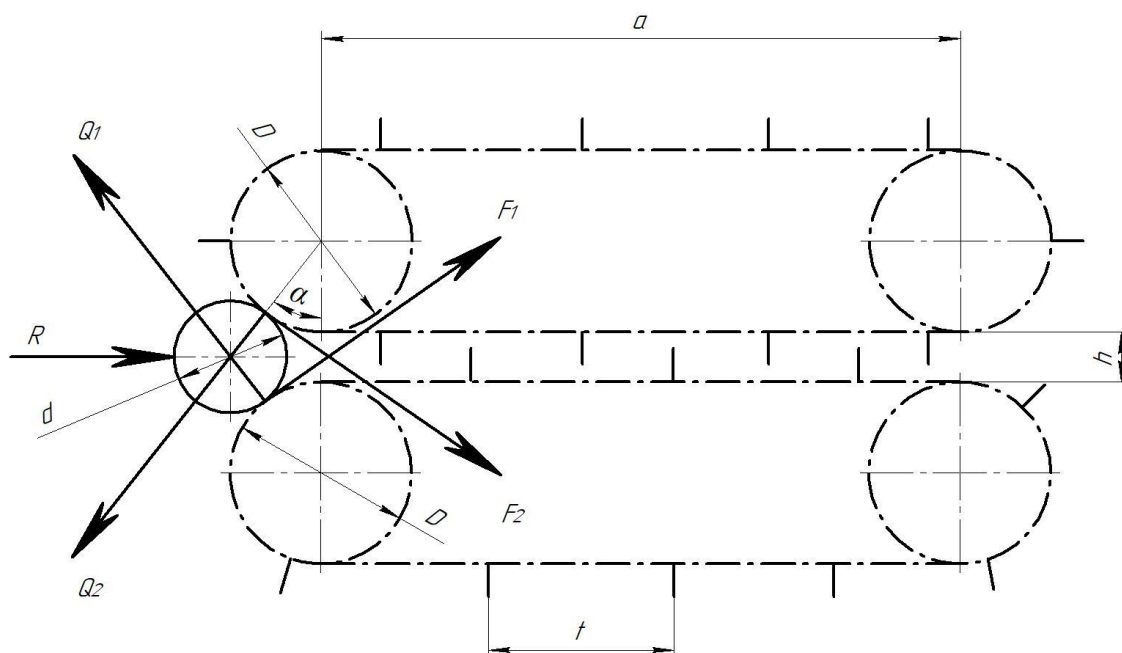


Рис. 3.2. Схема захоплення стебла подавальними ланцюгами.

Кут захоплення стебла:

$$\cos \alpha = \frac{D + h}{D + d}$$

де D - діаметр веденої зірочки подавальних ланцюгів,

$h = 35$ мм – середня відстань між ланцюгами,

$d = 45$ мм – найбільший діаметр стебла кукурудзи.

З фізичної взаємодії, умова захвату стебла має вигляд:

$$f \geq \tan \alpha$$

де $f = 0,4$ – коефіцієнт тертя стебел кукурудзи.

Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

МР 00.000 ПЗ

Арк.

20

Звідки маємо

$$\alpha \leq \arctg 0,4 = 21,8^\circ$$

Прийmemo $\alpha = 21^\circ$ і підставимо до відомого виразу для визначення діаметра зірочки [23]

$$D \geq \frac{d \cdot \cos \alpha - h}{1 - \cos \alpha},$$

то, підставивши всі знайдені значення отримаємо

$$D = \frac{45 \cdot \cos 21 - 35}{1 - \cos 21} = 114,6 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр зірочок 120 мм.

Крок лапок пропорційний до кроку ланцюга і, згідно рекомендацій складає $t_n = (10 \dots 20)t$, де t – крок ланцюга.

Для кроку ланцюга $t = 38,1$ мм, крок лапок буде

$$t_n = 10 t = 381 \text{ мм.}$$

Швидкість ланцюгів визначаємо за умов уникання завалювання стебел вперед по ходу агрегата.

Кут напрямку вектора абсолютної швидкості ланцюга із стеблом під час руху збирального агрегата (рис. 3.3) знайдемо з рівняння

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{k \cdot \sin \alpha}{k \cdot \cos \alpha - 1}$$

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

Визначимо довжину робочої частини вальців і порівняємо з обґрунтованою у науковій частині.

Довжину визначають за виразом [23]

$$L_p = \frac{V_M \cdot \tau \cdot F_c}{l_c \cdot h \cdot k_{щ}}$$

де τ - час протягування стебла, с;

F_c - площа поперечного перетину стебла м²;

$l_c = 0,35$ м - відстань між стеблами у рядку,

$k_{щ} = 0,6 \dots 0,8$ - коефіцієнт заповнення щілини

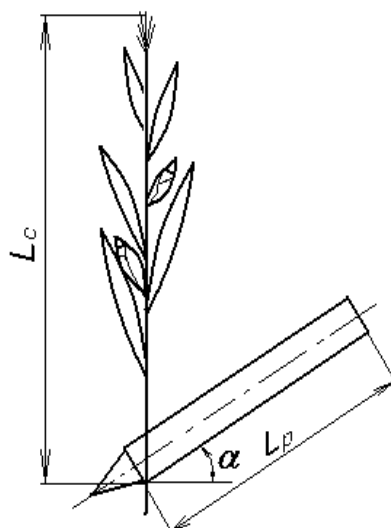


Рис. 3.5. Схема до розрахунку довжини вальців.

Час протягування стебла:

$$\tau = \frac{\mu \cdot L_c \cdot \sin \beta}{V_v}$$

де $\mu = 1,25 \dots 1,45$ – коефіцієнт проковзування стебел;

$L_c = 3$ м – довжина стебла;

β - кут нахилу вальців;

$V_v = 4 \dots 4,5$ м/с окружна швидкість вальців.

Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Пропускна здатність протягувальних вальців

$$Q = \frac{n \cdot m}{\tau}$$

де n – кількість стебел кукурудзи, затиснених між вальцями;

$m = 0,8$ кг – середня маса стебла з качанами, кг.

Кількість затиснених стебел розраховують з виразу:

$$n = \frac{L_p \cdot h \cdot k_{ш}}{F_c}$$

$$n = \frac{0,65 \cdot 0,03 \cdot 0,7}{0,00159} = 8,58$$

Отже, пропускна здатність буде:

$$Q = \frac{8,57 \cdot 0,7}{0,88} = 6,8 \text{ кг/с}$$

Пропускна здатність КМД-6 буде рівною

$$Q_{\text{КМД}} = i \cdot Q$$

де $i=6$ – кількість пар вальців

$$Q_{\text{КМД}} = 6 \cdot 6,8 = 40,8 \text{ кг/с}$$

Розрахунок шнека качанів

Розрахункова схема шнеку качанів зображена на рис. 3.6.

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

Підставивши відомі складові отримаємо

$$n = \frac{60 \cdot 45}{3,14 \cdot 0,65} = 1322 \text{ об/хв,}$$

де $D = 0,65$ м – прийнятий діаметр барабану.

Кількість ножів подрібнювача буде:

$$z = \frac{60 \cdot 2,6}{0,03 \cdot 1322} = 3,94$$

Прийmemo кількість ножів $z = 4$.

Розрахуємо довжину січки:

$$l_p = \frac{60 \cdot V_n}{z \cdot n}$$

Підставивши прийняті величини отримаємо

$$l_p = \frac{60 \cdot 2,6}{4 \cdot 1322} = 0,029 \text{ м,}$$

Що задовольняє агротехнічним вимогам.

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

Кількість зубців колеса буде

$$Z_7 = Z_6 \cdot u_{2-5} = 15 \cdot 1,06 = 15,9$$

де $Z_6=15$ – число зубів шестерні

Приймаємо $Z_7=16$

Дійсне передавальне відношення буде

$$u_{2-6} = \frac{Z_7}{Z_6} = \frac{16}{15} = 1,066$$

Дійсна частота обертання валу протягувальних вальців:

$$n_5 = \frac{n_2}{u_{2-5}} = \frac{900}{1,066} = 843,7 \text{ об/хв.}$$

Енергетичний розрахунок жатної частини приставки КМД-6

Потужність на привід жатної частини КМД-6 складається з потужності, необхідної на привід русел з урахуванням втрат на тертя у механізмі передач:

$$N = \frac{N_p}{\eta},$$

де N_p – потужність на привід русел;

η – к.к.д. механізму приводу.

Потужність, необхідна на привід русел визначається рівнянням

$$N_p = N_{num} \cdot W$$

					МР 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

Прийmemo класичні для більшості конічних передач зуби форми I, що пропорційно знижуються.

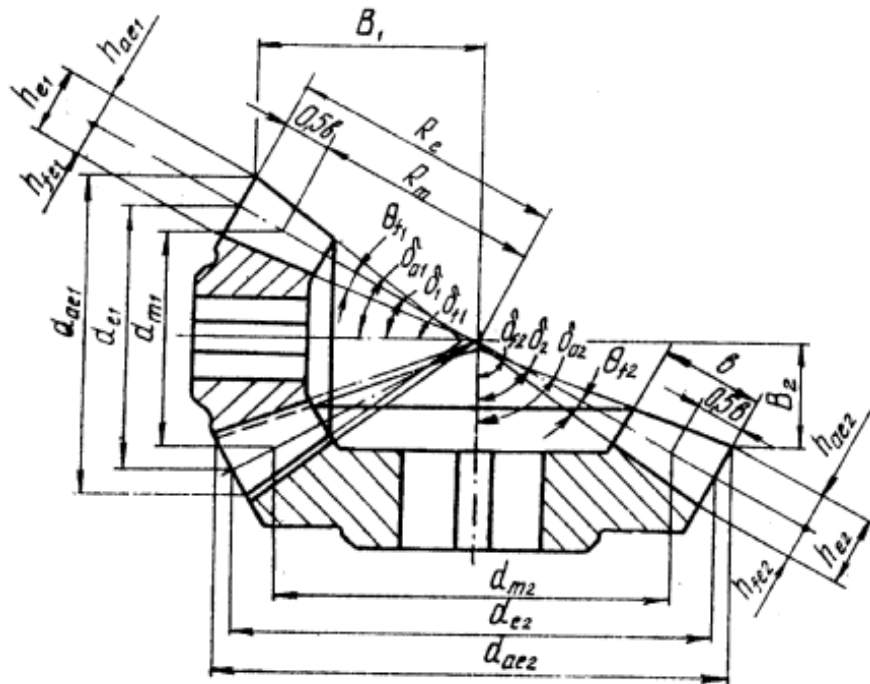


Рис. 3.8. Схема зубчастої конічної передачі.

Зовнішній окружний модуль:

$$m_{1c} = \sqrt[3]{\frac{4,5 \cdot T_{F1} \cdot K_{FB} \cdot K_{FV} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\beta}}{(1-\psi) \cdot \psi \cdot \sqrt{u^2 + 1} \cdot [\sigma_{F1}] \cdot Z_1^2}};$$

де $T_{F1} = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_1}{n_1}$ - номінальний крутний момент;

$\Psi_{\kappa} = 0,2$ - коефіцієнт ширини вінця;

$K_{FB} = f(\Psi, u)$ - коефіцієнт розподілу навантаження по ширині вінця.

Номінальний крутний момент

$$T_{F1} = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{2,03}{843,7} = 23 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Коефіцієнт ширини вінця:

$$K_{FB} = f(\Psi, u) = \frac{\psi_k \cdot u}{2 - \psi_k} = \frac{0,2 \cdot \frac{15}{16}}{2 - 0,2} = 0,117$$

Приймаємо за таблицею $K_{FB} = 1,05$.

Орієнтовна швидкість обертання колеса:

$$V = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{N_1 \cdot n_1^2}$$

Підставимо відомі величини і отримаємо:

$$V = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{2,03 \cdot 843,7^2} = 1,4 \text{ м/с}$$

При швидкості 1,4 м/с призначають 9-у ступінь точності.

Коефіцієнт динамічного навантаження $K_{Fv} = 1,13$.

Еквівалентні числа зубів шестерні і колеса:

$$Z_{e1} = Z_1 / \cos \sigma_1$$

$$Z_{e2} = Z_2 / \cos \sigma_2$$

де $\operatorname{tg} \sigma_1 = z_1 / z_2 = 15 / 16 = 0,9375$

Тоді

$$\sigma_1 = \operatorname{arctg} 0,9375 = 43,15^\circ$$

$$\sigma_2 = 90 - \sigma_1 = 90 - 43,15 = 46,85^\circ$$

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

За швидкості $V_c=4,24$ м/с залишаємо прийняту ступінь точності – 9.

Уточнимо коефіцієнт динамічного навантаження для 10 ступеню точності (на 1 ступінь грубіше прийнятої).

При швидкості $V_c=4,24$ м/с, а також $K'_{Fv} = 1,35$, коефіцієнт, що враховує чутливість матеріалу до концентрації напружень – $Y'_s = 1,05$.

З урахуванням зазначеного вище, модуль зубчастої пари буде

$$m_{tc}' = 6 \sqrt[3]{\frac{1,05 \cdot 1}{1,35 \cdot 1}} = 5,52 \text{ мм}$$

Тож, остаточно приймаємо модуль $m_{tc}' = 6$ мм.

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Список використаної літератури

1. Електронний ресурс: <https://bf-logic.ua/ua/a331362-tipy-molotilnogo-apparata.html>.
2. Електронний ресурс: <https://www.fendt.com/ua>.
3. Електронний ресурс: <https://www.claas.com/uk-ua>.
4. Електронний ресурс: <https://poletehnika.com.ua/new-holland>.
5. Електронний ресурс: <https://www.deere.ua/uk/самохідні-кормозбиральні-комбайни/серія-9000/9900>.
6. Електронний ресурс: https://technoresurs.ucoz.com/load/tehnika/zhatki_dlja_uborki_kukuruzy_pzks_6_kmd_6_kms_6/4
7. Електронний ресурс: <https://www.lectura-specs.com.ua/ua/model/sil-s-kogospodars-ka-tehnika/zernovij-kombajn-claas/lexion-8800-terratrac-11728515>.
8. CEMA Annual Report 2024: European Agricultural Machinery Industry. Brussels, 2024. 86 p.
9. Darr M., Ehsani R. Development of Autonomous Agricultural Machinery: State of the Art and Future Perspectives. Journal of Agricultural Engineering Research. 2023. Vol. 215. P. 106-118.
10. Kaletnik G., Bulgakov V. Modern Corn Harvesting Technologies: Technical and Economic Analysis. Engineering in Agriculture. 2022. Vol. 37(4). P. 218-229.
11. Pryshliak V. Technological innovations in corn harvesting equipment. Agricultural Science and Practice. 2023. Vol. 10(2). P. 56-68.
12. Smart Farming Market Analysis: Global Forecast 2025-2030. AgriTech Insights, 2024. 124 p.
13. Адамчук В.В., Булгаков В.М. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. Київ: Аграрна наука, 2021. 352 с.
14. Бендера І. М. Проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб. для викон. курс. проектів з розробки с.-г. техніки при підготов. фахівців напряму "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / І. М. Бендера, А. В. Рудь, Я. В. Козій, Д. Г. Войтюк, П. В.

						MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			47

ДОДАТКИ

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50