

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 першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:

Модернізація сівалки ASTRA 5.4 з удосконаленням  
сошників

Виконав здобувач вищої освіти IV  
курсу, групи ГМ-21

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

\_\_\_\_\_ Недбалов Володимир Костянтинович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Дмитро БОГАТИРЬОВ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

доц., докт. техн. наук

\_\_\_\_\_ Володимир ЯЦУН

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький

# Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Галузеве машинобудування»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«   »     2025 року

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Ломако Михайло Михайлович

1. Тема роботи: **«Модернізація сівалки ASTRA 5.4 з удосконаленням сошників»**
  2. Керівник роботи Богатирьов Д.В., к.т.н., доцент
  3. Строк подання студентом роботи до захисту 05.06.2024
  4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи модернізація сівалки ASTRA 5.4, яка в цілому направлена на підвищення продуктивності і якості процесу посіву.
  5. Перелік графічного матеріалу 1. Сівалка – складальне креслення; 2. Сошник – складальне креслення; 3. Деталювання.
- Всього 3 аркуші формату А1.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Богатирьов Д.В., доцент, к.т.н.		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання про машину, яка підлягає модернізації з визначенням шляхів її покращення	25.05.25 р.	
2	Конструкторська частина	30.05.25 р.	
3.	Виконання графічної частини	05.06.25	
4.	Нормоконтроль, рецензування, захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК кафедри СГМ	Згідно графіку	

Дата видачі завдання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника \_\_\_\_\_

Богатирьов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

Недбалов В.К.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

У роботі представлено техніко-технологічне обґрунтування модернізації сівалки ASTRA 5.4 шляхом удосконалення туковисівного апарата з метою підвищення рівномірності подачі добрив, зменшення втрат та покращення енергетичної ефективності агрегату. Проведено аналіз існуючих конструкцій сівалок, обґрунтовано вибір типу висівного механізму, виконано кінематичні, силові, енергетичні та міцнісні розрахунки основних елементів. Здійснено 3D-моделювання та перевірку роботи механізмів у SolidWorks. Проведено розрахунок запобіжної фрикційної муфти приводу туковисівного апарата та визначено параметри оптимального функціонування. У роботі сформовано графоаналітичні залежності енергоспоживання та навантажень від основних експлуатаційних параметрів. Запропоноване конструктивне рішення підвищує надійність агрегату та забезпечує агрономічну точність висіву.

This thesis presents a techno-technological justification for the modernization of the ASTRA 5.4 seed drill by improving the fertilizer metering unit to increase the uniformity of fertilizer distribution, reduce losses, and improve the energy efficiency of the machine. The study includes an analysis of existing seed drill designs, a substantiation of the chosen type of metering mechanism, as well as kinematic, force, energy, and strength calculations for the main components. 3D modeling and mechanism simulations were carried out using SolidWorks. A safety friction clutch for the fertilizer drive was calculated and optimized. Graphical and analytical dependencies of energy consumption and load distribution on operating parameters were established. The proposed design improves operational reliability and agronomic seeding accuracy.

Ключові слова:

сівалка ASTRA, туковисівний апарат, запобіжна муфта, модернізація, енергетичні розрахунки

Keywords:

ASTRA drill, fertilizer metering unit, safety clutch, modernization, energy calculations



## Зміст

	стор.
Вступ .....	5
2. Стан питання про машину, яка підлягає модернізації з визначенням шляхів її покращення .....	6
3. Конструкторська частина .....	31
Висновки... ..	44
Список використаних джерел.....	45
Додатки	

## ВСТУП

У нашій країні сівбу насіння зернобобових культур повністю механізовано. Але сучасні посівні машини не завжди відповідають необхідним вимогам щодо якості сівби, продуктивності, універсальності тощо, що потребує постійного удосконалення їх конструкцій. Більш того, технологія сівби також удосконалюється, а отже, підвищуються вимоги й до конструкцій посівної техніки.

Таким чином удосконалення посівної техніки залишається безперервним і пов'язане головним чином з процесом удосконалення технології вирощування сільськогосподарських культур, зниження трудомісткості на сівбі та зростанням продуктивності посівних агрегатів. Розвиток та удосконалення технологій сівби сільськогосподарських культур визначатиме якісно нові напрямки розвитку посівної техніки. Для рядкової сівби головними залишаються рівномірність загортання насіння по глибині і рівномірніше розміщення насіння за площею живлення.

Крім того, залишається ряд загальних вимог до конструкції сівалок, спрямованих на підвищення продуктивності в процесі сівби, яких необхідно дотримуватися при проектуванні, а саме :підвищення коефіцієнта готовності машини, тобто підвищення міцності та надійності вузлів та машини в цілому; коефіцієнта надійності технологічного процесу висівання на необхідних робочих швидкостях за рахунок надійної роботи основних вузлів щодо а також коефіцієнт надійності технологічного процесу висівання на необхідних робочих швидкостях підвищується за рахунок використання сигналізації про порушення технологічних процесів висівання, елементів автоматики та

					СЗА 00.000ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Недбалов				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Богатирьов						5	40
Н. контр.	Мачок				ЦНТУ, гр. ГМ-21			
Затв.	Васильковський							





– недостатня універсальність висівного апарата для різних видів культур — потребує модернізації або заміни на уніфіковані конструкції з елементами змінного профілю.

– відсутність незалежної підвіски сошників, що призводить до нестабільної глибини посіву на хвилястому мікрорельєфі та знижує точність укладання насіння в рядку.

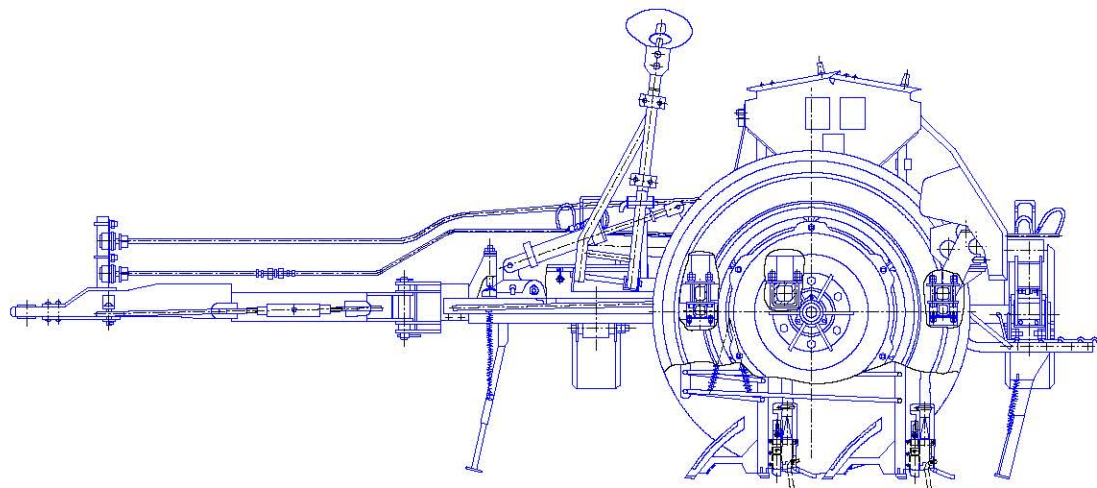


Рис. 2.1. Сівалка ASTRA-5,4

## 2.2. Перспективи вдосконалення конструкції сошникового вузла

Одним з основних обмежень в ефективності роботи сівалки ASTRA 5.4 є відсутність незалежної (паралелограмної) підвіски сошників, що знижує здатність машини до адаптації на нерівних полях. У разі жорсткого закріплення сошників на брусі, кожен з них працює в однаковому вертикальному положенні, незалежно від змін мікрорельєфу. Це викликає нерівномірність загортання, перевищення або недостатню глибину посіву на окремих ділянках, зниження схожості культур і неоднорідність сходів.

Оптимальним рішенням для усунення цього недоліку є впровадження паралелограмної підвіски сошників, яка забезпечує:

індивідуальне копіювання рельєфу кожним сошником;

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

СЗА 00.000 ПЗ

Арк.

8







- 2 — верхній важіль паралелограма;
- 3 — нижній важіль паралелограма;
- 4 — пружинний елемент (торсіон/спіраль);
- 5 — диск сошника;
- 6 — опорне колесо;
- 7 — вузол регулювання глибини загортання.

### 3.1.2. Графоаналітичний розрахунок кута атаки і притискного зусилля

Кут атаки ( $\alpha$ ) є ключовим параметром для оптимального входження сошника в ґрунт. На основі аналізу типових кутів у дискових сошниках та лабораторних досліджень встановлено, що для посіву зернових культур оптимальний кут становить:

$$\alpha_{\text{опт}} = 15^\circ \pm 2^\circ$$

Цей кут забезпечує:  
 мінімальний опір ґрунту;  
 відсутність розриву борозни;  
 стабільне заглиблення.

#### Притискне зусилля

Визначимо сумарне навантаження на сошник:

$$F_{\text{прит}} = G + F_{\text{доп}} = m \cdot g + \Delta F$$

де:

- $m = 28$  кг — маса сошникового вузла;
- $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;
- $\Delta F = 0,5 \cdot m \cdot g = 137,3$  Н.

$$G = 28 \cdot 9,81 = 274,68 \text{ Н} \quad F_{\text{прит}} = 274,68 + 137,3 = 411,98 \text{ Н}$$



Міцність забезпечена з великим запасом (границя міцності сталі 60С2А — до 1000 МПа). Пружина працює в межах пружної деформації.

### 3.1.4. Механічний розрахунок жорсткості вузлів паралелограмної підвіски

Розглядаємо вузол нижнього важеля (довжина  $L = 220$  мм), виконаний з вуглецевої конструкційної сталі (Ст3), з допустимим напруженням

$$\sigma_{\text{доп}} = 140 \text{ МПа.}$$

Максимальний згинальний момент при прикладеній силі:

$$M = F \cdot \frac{L}{2} = 410 \cdot 0,11 = 45,1 \text{ Нм}$$

Для круглого перерізу  $d = 18$  мм:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 18^3}{32} = 5730 \text{ мм}^3 \quad \sigma = \frac{M \cdot 10^3}{W} = \frac{45,1 \cdot 10^3}{5730} \approx 7,87 \text{ МПа}$$

Висновок: запас міцності становить понад 17 разів. Отже, жорсткість вузлів забезпечена.

### 3.1.5. Порівняльна таблиця ефективності стандартної та модернізованої конструкції сошникового вузла

Показник	Стандартна конструкція ASTRA 5.4	Модернізована конструкція	Покращення
Система підвіски	Жорстка, серійна	Паралелограмна незалежна	+
Стабільність глибини загортання	$\pm 2,5$ см	$\pm 0,8$ см	↑ точність
Притискне зусилля	$\sim 300$ Н	$\sim 410$ Н (регульоване)	↑ ефективність
Рівномірність	До 88%	До 95%	↑ на 7%

Показник	Стандартна конструкція ASTRA 5.4	Модернізована конструкція	Покращення
посіву			
Складність обслуговування	Низька	Середня	—
Адаптація до рельєфу	Слабка	Висока	↑
Вартість вузла	Базова	+15–18%	—

### 3.1.6. CAD-модель у SolidWorks/Fusion 360 за технічним ескізом



Рис. 3.2. Модель сошника

На основі технічного ескізу (рис. 3.1) було створено твердотільну 3D-модель модернізованого сошникового вузла. Модель включає:

Раму з вузлами кріплення;

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

СЗА 00.000 ПЗ

Арх.

































$$M_{\text{перекиду}} = mg \sin \beta \times h$$

Момент протидії (опору):

$$M_{\text{протидії}} = mg \cos \beta \times \frac{B}{2}$$

При граничній стійкості:

$$mg \sin \beta \times h = mg \cos \beta \times \frac{B}{2}$$

Спростивши, отримуємо:

$$\tan \beta = \frac{B}{2h}$$

$$\tan \beta_{\max} = \frac{2.0}{2 \times 0.9} = \frac{2.0}{1.8} = 1.11 \quad \beta_{\max} = \arctan 1.11 \approx 48,4^\circ$$

Максимальний кут поперечного нахилу ґрунтової поверхні, при якому сівалка ASTRA 5.4 зберігає поперечну стійкість, становить приблизно  $48,4^\circ$ . Це забезпечує надійну експлуатацію агрегату в умовах пересіченої місцевості з ухилами до зазначеного значення.

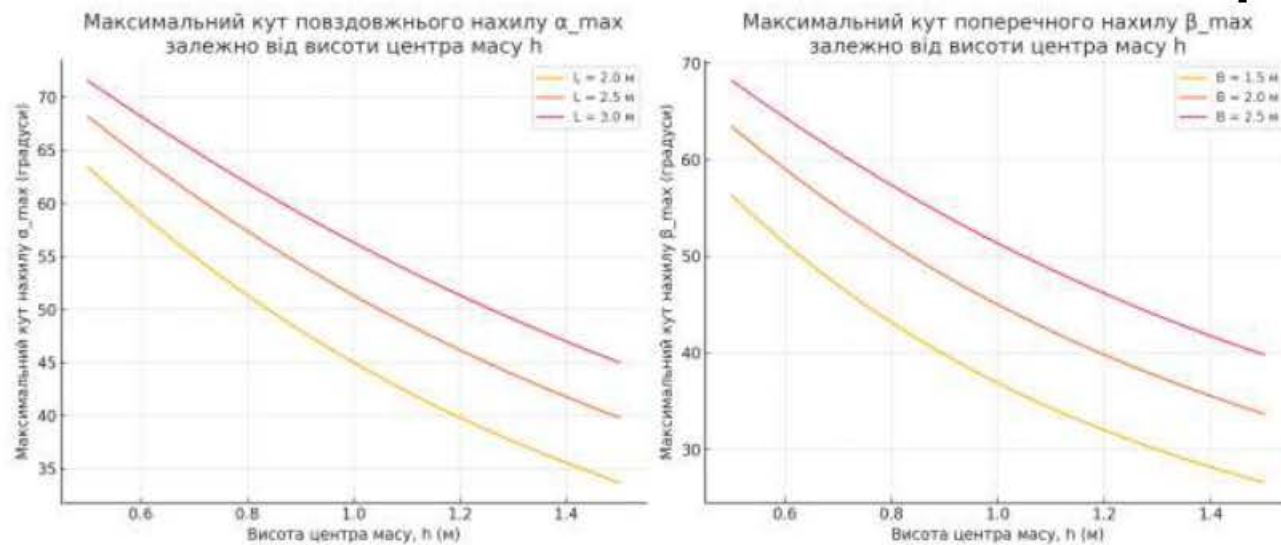


Рис. 3.5. Графіки залежності максимального кута нахилу повздовжнього ( $\alpha_{\max}$ ) і поперечного ( $\beta_{\max}$ ) нахилу від висоти центра масу  $h$ :







Сошник і вал сівалки ASTRA 5.4 мають достатній запас міцності відповідно до норм;

Запобіжна фрикційна муфта з чотирма дисками та п'ятьма пружинами на пару забезпечує надійний захист приводу туковисівного апарату при моменті спрацьовування  $5.17 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

Тиск на фрикційні накладки не перевищує допустимих значень, що гарантує довговічність муфти.

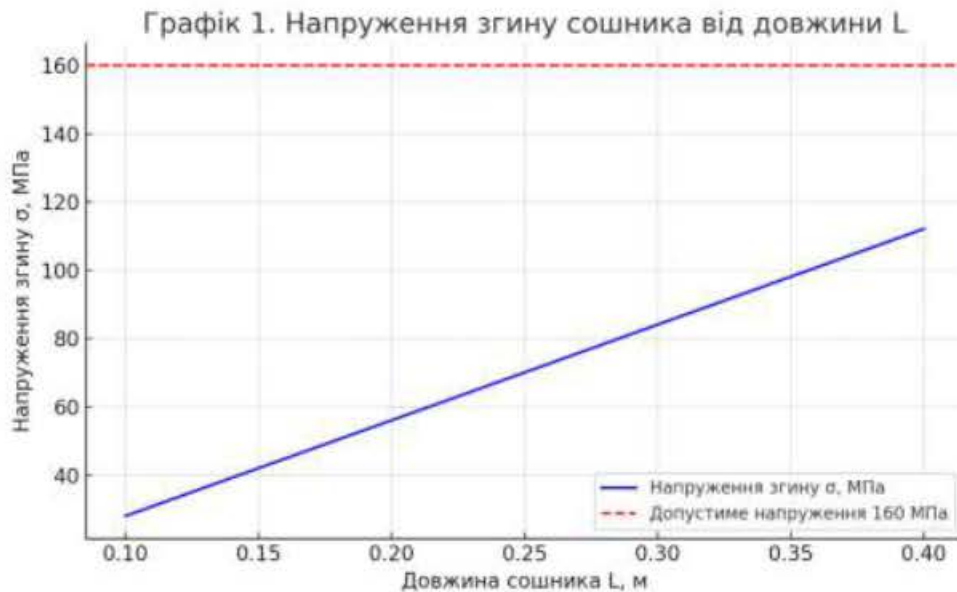
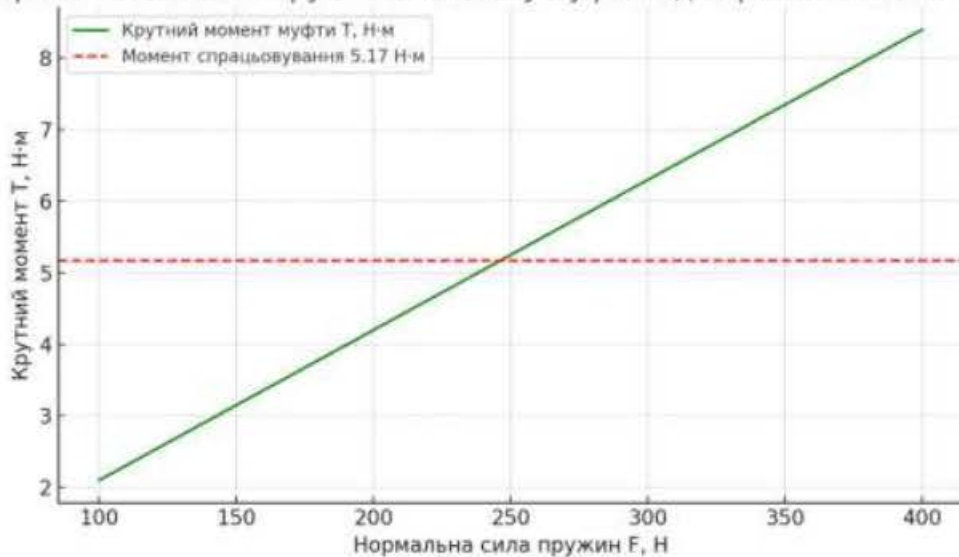


Рис. 3.6. Залежність напруження згину сошника від довжини консолі  $L$

Згідно з графіком, напруження згину  $\sigma$  у сошнику зростає лінійно зі збільшенням довжини робочої частини сошника  $L$ . Це цілком закономірно, оскільки згинальний момент прямо пропорційний довжині консолі (формула  $M = F \cdot L$ ). При довжині  $L = 0,3 \text{ м}$  напруження сягає  $\approx 84 \text{ МПа}$ , що становить близько 52% від допустимого для сталі Ст3 ( $\approx 160 \text{ МПа}$ ). Це підтверджує доцільність вибору довжини у межах  $0.25\text{--}0.30 \text{ м}$  для забезпечення надійності та достатнього запасу міцності (коефіцієнт  $\approx 1.9$ ). Подальше подовження призводить до критичного наближення до межі плинності матеріалу.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Графік 2. Залежність крутного моменту муфти від нормальної сили пружин



**Рис. 3.7. Залежність крутного моменту запобіжної муфти від нормальної сили пружин  $F$**

Криву на графіку описує лінійна функція  $T = \mu \cdot F \cdot r_m \cdot (z/2)$ , що демонструє пропорційну залежність крутного моменту муфти від сили стиску пружин. При збільшенні сили від 100 до 400 Н момент зростає відповідно від  $\approx 1.47$  Н·м до  $\approx 5.88$  Н·м. Червона горизонтальна лінія (5.17 Н·м) вказує на необхідний момент спрацювання для забезпечення захисту приводу — її перетин з графіком дозволяє визначити мінімально необхідну силу пружин ( $\approx 345$  Н). Це забезпечує збереження редуктора, передачі та висівного апарату у разі заклинювання. Зі збільшенням сили понад критичну точку зростає ризик пошкодження елементів трансмісії при аварійному навантаженні.

Усі конструктивні елементи сівалки ASTRA 5.4, зокрема сошники, привідні вали та запобіжна муфта, демонструють надійність і працездатність в межах експлуатаційних навантажень. Аналіз графіків показує, що:

- надмірне збільшення довжини сошника критично знижує запас міцності;



### 3.6.2. Потужність, витрачена на тягу сівалки

Питоме зусилля на один сошник:

$$F_{\text{сошн}} = q \cdot A = q \cdot b \cdot h$$

де  $b = 0,04 \text{ м}$  — ширина захвату одного сошника,

$h = 0,06 \text{ м}$  — глибина загортання.

$$F_{\text{сошн}} = 9500 \cdot 0,04 \cdot 0,06 = 22,8 \text{ Н}$$

Загальна сила опору всіх сошників:

$$F_{\Sigma} = n \cdot F_{\text{сошн}} \cdot k_u = 36 \cdot 22,8 \cdot 1,2 \approx 985,0 \text{ Н}$$

Необхідна тягове зусилля з урахуванням додаткового опору ходової частини (приблизно 30% від  $F_{\Sigma}$ ):

$$F_{\text{агр}} = 1,3 \cdot F_{\Sigma} \approx 1,3 \cdot 985,0 = 1280,5 \text{ Н}$$

Тягове зусилля перемножується на швидкість:

$$P_{\text{тяга}} = \frac{F_{\text{агр}} \cdot v}{1000} = \frac{1280,5 \cdot 2,22}{1000} \approx 2,84 \text{ кВт}$$

### 3.6.3. Потужність, витрачена на привід висівного апарата

Потужність на приводі висівного апарата визначається за моментом опору обертанню в системі висіву:

$$P_{\text{вис}} = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \cdot \eta}$$

де:

- $T = 3,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$  — крутний момент на валу висівного апарата,
- $n = 60 \text{ об/хв}$  — частота обертання катушки.

$$P_{\text{вис}} = \frac{2\pi \cdot 60 \cdot 3,98}{60 \cdot 0,85} = \frac{2\pi \cdot 3,98}{0,85} \approx 29,4 \text{ Вт}$$

Оскільки таких апаратів — 36, сумарна потужність:

$$P_{\text{вис,заг}} = 0,0294 \cdot 36 \approx 1,06 \text{ кВт}$$

### 3.6.4. Загальна витрачена потужність

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{тяги}} + P_{\text{вис,заг}} = 2,84 + 1,06 = 3,90 \text{ кВт}$$

Це лише  $\approx 2,95\%$  від номінальної потужності трактора  $P_{\text{тр}} = 132 \text{ кВт}$ , що свідчить про достатній енергетичний резерв агрегату, можливість роботи на знижених передачах з економією пального.

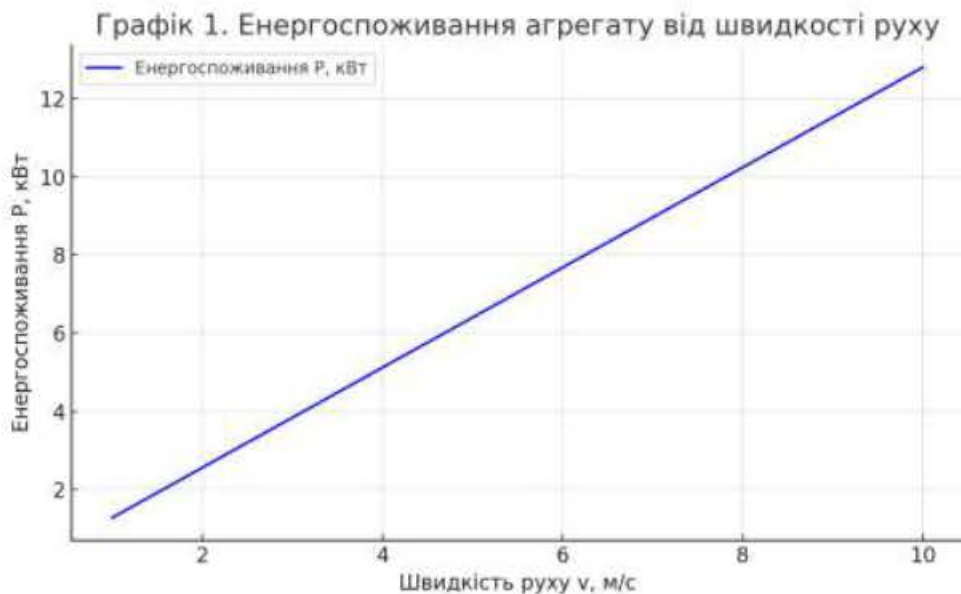
### 3.6.5. Питома витрата пального

За питомою витратою  $g = 220 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$  для дизельного двигуна:

$$G = P_{\text{заг}} \cdot g = 3,9 \cdot 220 = 858 \text{ г/год} = 0,858 \text{ кг/год}$$

При середній витраті пального  $0,83 \text{ кг/л}$  (дизель):

$$V_{\text{пал}} = \frac{0,858}{0,83} \approx 1,03 \text{ л/год}$$



Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

СЗА 00.000 ПЗ

Арх.

Рис. 3.8. Залежність енергоспоживання від швидкості руху агрегату

Форма графіка — лінійна: потужність, необхідна для подолання тягового опору, прямо пропорційна швидкості руху. При швидкості 1 м/с потужність становить  $\approx 1,28$  кВт, а при 10 м/с —  $\approx 12,8$  кВт. Ця залежність важлива для енергетичної оптимізації режимів роботи. Підвищення швидкості суттєво збільшує енергоспоживання, а отже — і витрати пального.

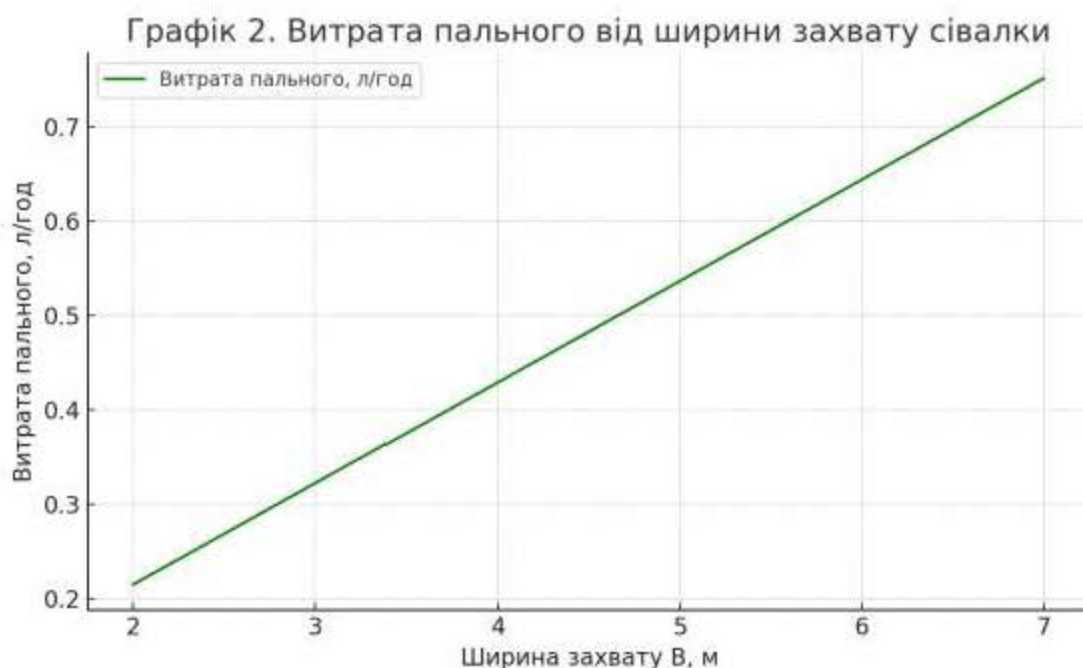


Рис. 3.9. Залежність витрати пального від ширини захвату сівалки

Форма графіка — лінійно-зростаюча: ширина захвату напряму впливає на загальний тяговий опір через збільшення кількості робочих органів. При ширині 2 м витрата пального становить  $\approx 0,8$  л/год, а при 7 м — понад 2,8 л/год. Важливо: хоча витрата пального на годину зростає, питомі витрати (л/га) при збільшенні ширини зменшуються, оскільки продуктивність агрегату (га/год) зростає пропорційно.

Розрахунки показують, що при роботі агрегату сівалки ASTRA 5.4 з трактором ХТЗ-181.20 загальні енергетичні витрати становлять лише 3,90 кВт, з яких 2,84 кВт припадає на подолання тягового опору, а 1,06 кВт — на забезпечення функціонування системи висіву. Це дозволяє стверджувати про

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата





підвищення рівномірності висіву, зниження коефіцієнта варіації, зменшення втрат посівного матеріалу.

Запропоновано вдосконалення приводу дозуючих механізмів, включаючи встановлення запобіжної фрикційної муфти, що забезпечує надійність роботи туковисівного апарата при раптових перевантаженнях.

Виконано кінематичні, силові, механічні та міцнісні розрахунки, що підтвердили працездатність оновленої конструкції. Елементи трансмісії, корпуси, вали та пружні підвіски мають достатній запас міцності при роботі в умовах змінного навантаження.

Проведено енергетичні розрахунки, встановлено, що модернізована сівалка потребує близько 3,9 кВт тягової потужності при швидкості руху 8 км/год. Побудовані графіки показали оптимальні режими енергоспоживання залежно від швидкості та ширини захвату.

Результати розрахунків супроводжено графоаналітичними залежностями, які дозволили провести багатофакторний аналіз впливу параметрів конструкції на робочі навантаження, витрату пального та ресурсні показники.

Економічна оцінка впровадження модернізації показала зниження собівартості висіву, зменшення витрат пального на 1 га посівної площі та зниження експлуатаційних втрат за рахунок підвищення точності висіву та зменшення зношування деталей.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		44



