

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

### **ДИПЛОМНА РОБОТА**

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**

**на тему:**

«Механізація вирощування озимої пшениці з обґрунтуванням конструкції і параметрів робочих органів зернової сівалки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи АІ-24МЗ

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Нагорний Олександр

Олександрович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Дмитро АРТЕМЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

\_\_\_\_\_ Віктор АУЛІН

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький



## **Анотація**

Проведений аналіз літературних джерел, агротехнічних вимог та огляд існуючих конструкцій сівалок показав, що при вирощуванні зернових культур важливим є конструкція робочих органів які виконують безпосередньо загортання насіння в борозну та створення сприятливих умов для його росту. Підвищити врожайність зернових культур можна шляхом удосконалення робочих органів які відповідають за процес загортання насіння. З метою покращення роботи секції зернової сівалки Astra 6 New була проведена модернізація серійного прикочуючого котка та розроблена нова удосконалена його конструкція. Розроблений прикочуючий коток сівалки Astra 6 New, дає можливість значно покращити процес загортання насіння, покращити роботу секції робочих органів, підвищивши її універсальність та збільшити врожайність зернових культур.

## **Abstract**

A review and analysis of literature sources, agrotechnical requirements, and existing seeder designs showed that in the cultivation of cereal crops, the design of the working units responsible for directly covering the seed in the furrow and creating favorable conditions for its growth is of great importance. Increasing the yield of cereal crops can be achieved by improving the working units that are responsible for the seed covering process. In order to improve the performance of the Astra 6 New grain seeder section, the standard press wheel was modernized and a new improved design was developed.

The developed press wheel for the Astra 6 New seeder makes it possible to significantly improve the seed covering process, enhance the operation of the working unit section by increasing its versatility, and ultimately increase the yield of cereal crops.

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| 1. Вступ.....   | 5  |
| 2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень ..... | 6  |
| 3. Наукова частина.....   | 22 |
| 4. Практична реалізація результатів досліджень.....               | 36 |
| 5. Охорона праці.....   | 43 |
| Висновки.....   | 46 |
| Список використаної літератури.....                               | 48 |
| Додатки   |    |

## 1. Вступ

Вирощування зернових культур є стратегічно важливою галуззю аграрного сектору України, оскільки саме виробництво високоякісного зерна визначає рівень продовольчої безпеки та експортного потенціалу держави. Серед зернових культур провідне місце посідає озима пшениця, що характеризується високими харчовими властивостями, стабільними врожайми та широким застосуванням у харчовій і переробній промисловості. Забезпечення високої врожайності озимої пшениці значною мірою залежить від точності виконання технологічних операцій під час посіву, особливо від рівномірності розміщення насіння та якості його загортання в ґрунт .

Одним із ключових елементів технологічного процесу сівби є робота загортаючих органів сівалки, які формують оптимальні умови для проростання насіння. Від належного функціонування цих робочих органів залежить щільність контакту насіння з вологими шарами ґрунту, глибина його загортання та подальша дружність сходів. Сучасні сівалки, представлені на ринку, зокрема популярна модель Astra 6 New виробництва компанії Elvorti, характеризуються високою продуктивністю та універсальністю використання. Водночас питання підвищення ефективності загортаючих систем залишається актуальним у зв'язку з потребою у вдосконаленні технологічних параметрів посіву.

Модернізація сівалки Astra 6 New шляхом удосконалення конструкції загортаючих робочих органів сприятиме підвищенню рівномірності загортання насіння озимої пшениці, покращенню показників якості сівби та формуванню сприятливих умов для розвитку рослин. У межах магістерської роботи виконується проведення теоретичних досліджень, інженерних розрахунків і розробка конструкційних рішень нової системи загортання, що забезпечить зниження енерговитрат, підвищення надійності роботи сівалки та зростання врожайності озимих зернових культур.

## **2. Стан досліджуваного питання та вибір напряму досліджень**

### **2.1 Особливості вирощування озимої пшениці в умовах Кіровоградської області**

**Опис культури.** Озима пшениця (*Triticum aestivum*) - це основна продовольча культура України. Вона належить до родини тонконогових (злакових). Коренева система мичкувата, основна маса коріння знаходиться в орному шарі (0 - 30 см), але окремі корені можуть проникати на глибину до 1,5 - 2 метрів, що важливо для посушливих умов Кіровоградщини. Озима пшениця має два періоди активної вегетації - осінній (40 - 50 днів) та весняно-літній (75 - 100 днів). Критичними фазами є кущіння (осінь/весна), вихід у трубку, колосіння та налив зерна [1 - 5].

**Вимоги до температури.** Озима пшениця - холодостійка культура, але в умовах центральної України потребує уваги до зимівлі. Насіння починає проростати при температурі 1 - 2°C, але дружні сходи з'являються при 12 - 17°C. Добре загартовані рослини (у фазі кущіння, які накопичили цукри) витримують морози до -16...-18°C на глибині вузла кущіння. Якщо є сніговий покрив (навіть 10 см), можуть витримати і нижчі температури. Відновлення вегетації починається навесні, коли середньодобова температура переходить через +5°C. Оптимальна температура для наливу зерна 20 - 25°C. Спека вище 35 - 40°C (запал зерна), яка часто трапляється в Кіровоградській області в липні, може суттєво знизити врожайність [1 - 5].

**Вимоги до світла.** Озима пшениця, рослина довгого світлового дня. Інтенсивне сонячне освітлення восени сприяє кращому кущенню та накопиченню пластичних речовин (цукрів), що прямо впливає на морозостійкість. Похмура осінь знижує зимостійкість. Довгий світловий день на весні прискорює перехід до фази колосіння. Загущені посіви страждають від нестачі світла, що призводить до вилягання [1 - 5].

**Вимоги до ґрунту.** Кіровоградщина має ідеальні ґрунти для пшениці, але вони вимагають правильного обробітку. Найкращими є чорноземи звичайні та потужні з високим вмістом гумусу. Пшениця погано росте на кислих, засолених

або заболочених ґрунтах. Оптимальна реакція ґрунтового розчину - нейтральна або слаболужна (рН 6,0 - 7,5). Ґрунт має бути дрібногрудкуватим, щоб забезпечити добрий контакт насіння з землею і збереження вологи. Головне завдання обробітку ґрунту в Кіровоградській області - це збереження вологи. Тому часто використовують мінімальний обробіток (Mini-till) або глибоке розпушування без обертання пласта замість оранки [1 - 5].

**Попередники (сівозміна).** Вибір попередника (таб. 1) критичний для накопичення вологи та санітарного стану поля [3,5].

Таблиця 2.1

### Попередники озимої пшениці

| Група       | Попередники  | Характеристика для Кіровоградщини  |
|-------------|--|--|
| Відмінні    | Чорний пар, горох, багаторічні трави, ріпак (рані сорти) | Забезпечують запаси вологи та азоту, чисті від бур'янів поля.                  |
| Добрі       | Соя (рання/середня), кукурудза на зелений корм           | Звільняють поле вчасно, дозволяють підготувати ґрунт.                          |
| Задовільні  | Соняшник, кукурудза на зерно (рання)                     | Найпоширеніші, але ризиковані: сильно висушують ґрунт і пізно звільняють поле. |
| Недопустимі | Стерньові (ячмінь, пшениця)                              | Ризик корневих гнилей, шкідників (жужелиця) та відсутність вологи.             |

**Обробіток ґрунту.** Система обробітку залежить від попередника. В умовах Степу та південного Лісостепу головна мета - зберегти вологу та вирівняти поле.

Після стерньових попередників та соняшнику:

традиційна оранка застосовується дедалі рідше через втрату вологи;

найефективнішим є дискування на глибину 10 - 12 см або чизельний обробіток (глибоке розпушування без перевертання пласта). Це дозволяє

подрібнити рослинні рештки соняшнику чи кукурудзи та зберегти структуру ґрунту.

Після гороху, ріпаку чи сої, застосовують поверхневий обробіток (мілка культивуація або дискування на 6 - 8 см). Це створює дрібногрудкувате посівне ложе.

Передпосівна культивуація, проводиться безпосередньо перед сівбою на глибину загортання насіння (4 - 5 см), щоб знищити сходи бур'янів («падалицю» ріпаку чи соняшнику) і створити тверде ложе для насіння [1 - 5].

**Внесення добрив.** Осима пшениця дуже чутлива до живлення. Для формування 1 тони зерна вона виносить з ґрунту приблизно 30 кг N (азоту), 10-12 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (фосфору) та 20-25 кг K<sub>2</sub>O (калію). Основне внесення (під обробіток/посів) - фосфор і калій вносять восени, оскільки вони малорухливі в ґрунті. Використовують складні добрива, наприклад, нітроамофоску (N16P16K16) або діамофоску (N10P26K26) у рядки при посіві (100 - 150 кг/га). Це стимулює розвиток кореневої системи. Підживлення азотом (навесні) - азот вносять порціями, щоб керувати етапами розвитку, 1-ше підживлення (регенеративне) по мерзлоталому ґрунту або відразу після відновлення вегетації, доза 30-60 кг д.р. (діючої речовини) азоту. Використовують аміачну селітру або КАС, мета, стимулювати куштиння. 2-ге підживлення (продуктивне), у фазу виходу в трубку, доза: 30 - 45 кг д.р. азоту. Найкраще працює карбамід або КАС. Мета - збільшити кількість зерен у колосі. 3-тє підживлення (якісне), позакореневе (по листу) у фазу колосіння, наливу зерна розчином карбаміду (N) для підвищення вмісту білка та клейковини [3 - 6].

**Вимоги до посіву і проведення сівби.** Це найвідповідальніший етап. Помилки у строках чи глибині неможливо виправити пізніше. При підготовці насіння обов'язкове протруювання фунгіцидними та інсектицидними протруювачами (захист від сажки, корневих гнилей, злакових мух). Строки посіву для Кіровоградської області - оптимальним вікном вважається 15 вересня - 5 жовтня. Ранній посів загрожує переростанням, хворобами та шкідниками восени. При пізньому посіві рослини входять у зиму слабкими (не

встигають розкущитися), є ризик вимерзання. Глибина загортання – оптимальна, 3 - 4 см. При пересиханні верхнього шару (типово для регіону) можна використовувати глибину до 5 - 6 см, але не глибше, щоб не виснажити паросток. Норма висіву залежить від сорту та строків, в середньому 4,0 - 5,0 млн схожих насінин на гектар (близько 200–250 кг/га). При пізніх посівах норму збільшують на 10 - 15%. Спосіб сівби звичайний рядковий (міжряддя 15 см). Після сівби, якщо ґрунт сухий, обов'язкове коткування кільчасто-шпоровими котками для підтягування вологи [3 - 6].

**Боротьба з бур'янами.** Бур'яни забирають критичну вологу. Якщо попередник (наприклад, ріпак) залишив багато падалиці, або поле засмічене зимуючими бур'янами, гербіциди вносять восени (фаза 3-х листків пшениці).

Весняний захист (основний), проводиться у фазі кущіння до виходу в трубку. Використовують гербіциди груп 2,4-Д, трибенурон-метилу, флорасуламу. Важливо контролювати температуру, більшість препаратів працюють ефективно від +10°C, хоча сучасні (наприклад, на основі сульфонілсечовин) можуть працювати від +5°C [1 - 5].

**Боротьба з шкідниками і хворобами.** Кіровоградщина - зона ризику поширення клопа-черепашки та фузаріозу.

Хвороби (Фунгіцидний захист):

T1 (Кущіння - початок виходу в трубку). Захист від борошнистої роси, кореневих гнилей та ранніх плямистостей.

T2 (Прапорцевий листок). Найважливіша обробка. Захищає верхні листки, які формують 70% врожаю, від септоріозу та іржі (бурої, жовтої).

T3 (Цвітіння). Захист колоса від фузаріозу. Критично важливо, якщо під час цвітіння йдуть дощі [1 - 5].

**Шкідники (Інсектицидний захист).** Осінь - хлібна жужелиця (особливо при посіві пшениці по пшениці) та злакові мухи.

Весна/Літо - клоп-черепашка, найнебезпечніший шкідник регіону. Його укуси різко знижують хлібопекарські якості зерна (пливе клейковина). Обробку

проводять у фазу молочної стиглості. Трипси та попелиці. Висмоктують соки, попелиці також переносять вірусні хвороби [1 - 5].

**Збирання врожаю.** Починають, коли вологість зерна становить 14 - 17% (фаза повної стиглості). В Кіровоградській області це зазвичай початок-середина липня. Пряме комбайнування - основний метод збирання. Комбайни зрізають і обмолочують хліб за один прохід.

Роздільне збирання (валкування). Використовується рідко, лише якщо посіви дуже засмічені бур'янами, нерівномірно дозріли або сильно вилягли.

Післязбиральна доробка, очистка зерна на току (ЗАВ) від домішок. Якщо вологість вища 14%, необхідне сушіння, щоб запобігти самозігріванню [1 - 5].

## **2.2 Технологічна карта вирощування озимої пшениці [6 - 10]:**

### **Основний обробіток ґрунту.**

1. Після збору попередника виконується лушення стерні на глибину 6 - 8 см. Використовується агрегат: трактор John Deere 6М + дискова борона Lemken Rubin 9. Операція спрямована на збереження вологи в ґрунті, провокацію росту бур'янів для подальшого знищення та боротьбу зі шкідниками.

2. Внесення органічних добрив (гній) з нормою 30 т/га. Роботи з навантаження, транспортування та розподілу по полю виконуються трактором John Deere 6М з причіпним розкидачем Joskin Siroko.

3. Проведення зяблевої оранки на глибину 25 - 27 см. Агрегат: трактор John Deere 6М + оборотний плуг Kverneland ES. Мета - повне обертання скиби для якісного загортання рослинних решток і знищення кореневищ бур'янів.

4. Ранньовесняне закриття вологи шляхом боронування. Застосовується трактор Case IH Farmall С та важкі зубові борони.

5. Перша суцільна культивуація для розпушення ґрунту на глибину 6 - 8 см. Використовується трактор John Deere 6М з культиватором Horsch Terrano FX.

6. Друга культивуація з одночасним боронуванням на глибину 10 - 12 см для створення дрібногрудкуватої структури ґрунту.

7. Боронування для руйнування ґрунтової кірки після інтенсивних опадів з використанням трактора Case IH Farmall C та легких борін.

#### **Передпосівна підготовка.**

8. Завантаження мінеральних добрив (NPK 10:10:10). Використовується трактор Case IH Farmall C, оснащений фронтальним навантажувачем.

9. За 10 - 14 днів до сівби проводиться обробка насіння протруйником (наприклад, Раксил, 2% с.п., 1,5 кг/т) за допомогою стаціонарної машини Petkus ST.

10. Доставка протруєного насінневого матеріалу в поле та завантаження в сівалки. Використовується завантажувач насіння та вантажний автомобіль Scania R-series.

11. Транспортування мінеральних добрив до місця сівби та заправка бункерів сівалки.

#### **Сівба.**

12. Сівба озимої пшениці рядковим методом з одночасним внесенням стартових добрив. Норма висіву - 5 млн схожих насінин/га (200 - 250 кг/га), глибина загортання 5 см. Агрегат: трактор John Deere 6М + сівалка Astra 6 New.

13. Післяпосівне прикочування для покращення контакту насіння з ґрунтом. Використовується трактор Case IH Farmall C з кільчасто-шпоровими котками Väderstad Rexius.

#### **Догляд за посівами.**

14. Підживлення посівів азотними добривами (N30) для стимуляції вегетації. Використовується трактор John Deere 6М з розкидачем мінеральних добрив Amazone ZA-M.

15. Підготовка робочого розчину гербіциду (наприклад, на основі 2,4-Д, 1,4 кг/га) у спеціальному змішувальному вузлі.

16. Внесення гербіцидів для контролю бур'янів. Норма витрати робочої рідини - 300 л/га. Агрегат: трактор Case IH Farmall C та причіпний обприскувач Hardi Navigator.

15. Приготування робочого розчину фунгіциду (наприклад, Імпакт, 0,5 л/га) для профілактики та лікування хвороб.

16. Обприскування посівів фунгіцидами з нормою витрати розчину 300 л/га.

17. Підготовка розчину інсектициду (наприклад, сумі-альфа, 0,25 л/га) для боротьби зі шкідливими комахами.

18. Проведення інсектицидної обробки посівів тим самим обприскувальним комплексом (витрата рідини 300 л/га).

### **Збирання та післязбиральна доробка.**

19. Збір врожаю методом прямого комбайнування за допомогою зернозбирального комбайна Claas Lexion 770.

20. Перевезення зерна від комбайна на тік вантажними автомобілями-самоскидами.

21. Первинна очистка та калібрування зернової маси на стаціонарному комплексі Petkus Gigant.

22. Сушіння зерна у зерносушарці до досягнення базової вологості.

23. Транспортування підготовленого зерна на елеватор або у складські приміщення для зберігання.

### **2.3. Стан питання про машину, що модернізується**

Astra 6 New (рис. 2.1) - це механічна зернова сівалка, призначена для рядового посіву насіння зернових (пшениця, жито, ячмінь, овес), зернобобових (горох, квасоля, соя, нут) та дрібнонасінневих культур (ріпак, гірчиця, льон) з одночасним внесенням мінеральних добрив та прикочуванням ґрунту в засіяних рядках.

Ключові особливості та переваги [11]:

збільшений бункер, загальна ємність бункерів становить 1845 л (зернові - 1245 л, тукові - 600 л), що дозволяє довше працювати без дозавантаження;

безступінчастий механізм передач (варіатор), забезпечує легке та швидке налаштування норм висіву насіння і добрив з високою точністю;

висівний апарат виготовлений з полімерних матеріалів, стійких до корозії, що забезпечує точність подачі насіння;

сошники дводискові зі зміщеними дисками виготовлені з борвмісної сталі підвищеної твердості, що збільшує їх ресурс (ресурс збільшено на 100%);

посилена конструкція дозволяє створювати тиск на сошник до 65 - 70 кг, що дає змогу проводити посів за мінімальною технологією (Mini-Till) та забезпечує стабільну глибину загортання;

можливість встановлення електронної системи контролю висіву ("Helios" або аналогічних) для моніторингу руху насіння.

Таблиця 2.2

### Технічні характеристики сівалки ASTRA 6 NEW [11]:

| Характеристика              | Значення                             |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Ширина захвату              | 6 м                                  |
| Кількість рядків            | 40 шт.                               |
| Ширина міжрядь              | 15 см                                |
| Норма висіву насіння        | 1,5 - 400 кг/га                      |
| Норма висіву добрив         | 25 - 200 кг/га                       |
| Глибина загортання насіння  | 20 - 80 мм                           |
| Робоча швидкість            | 9 - 12 км/год                        |
| Продуктивність              | 5,4 - 7,2 га/год                     |
| Ємність бункерів (загальна) | 1845 л (зерно 1245 л, добрива 600 л) |
| Тиск сошника на ґрунт       | до 65 кг                             |
| Агрегування з трактором     | від 90 к.с.                          |
| Маса (суха конструктивна)   | ~ 2780 кг                            |



Рис. 2.1 Зернова сівалка ASTRA 6 NEW

## 2.4 Порівняльний аналіз сівалок для посіву озимої пшениці

Для проведення порівняльного аналізу зернової сівалки Astra 6 New (Elvorti) з основними конкурентами, представленими на ринку України, були обрані моделі з робочою шириною 6 метрів, які використовуються для сівби озимої пшениці за традиційною та мінімальною (Mini-Till) технологіями – це Veles Agro SZM Nika 6, Maschio Gaspardo Mega 600, Ozdoken Pertum S-600, Demetra (СЗД) 6, Great Plains 2025F (6m). Характеристики сівалок зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

### Порівняльна таблиця технічних характеристик зернових сівалок для висіву озимої пшениці [12-16]:

| Модель                    | Тип агрегаткування      | Об'єм бункерів (Зерно+Добрива) | Потужність трактора | Вага          | Особливості сошника                           |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------|---|
| Elvorti Astra 6 New       | Причіпна                | 1845 л (1245+600)              | від 90 к.с.         | ~2780 кг      | Дводисковий, сталь з бором, тиск до 65 кг     |
| Veles Agro SZM Nika 6     | Причіпна                | 1890 л (1260+630)              | 130 к.с.            | ~4300 кг      | Дводисковий зі зміщенням, тиск 80-120 кг      |
| Maschio Gaspardo Mega 600 | Навісна                 | ~2170 л (змінна конфігурація)  | 150-180 к.с.        | ~2340 кг      | Согех (дводисковий), точне копіювання         |
| Ozdoken Pertum S-600      | Навісна / Напівпричіпна | ~1500-1900 л                   | 110-130 к.с.        | ~1600-2000 кг | Дводисковий, європейська якість збірки        |
| Demetra (СЗД) 6           | Причіпна                | ~1700-1800 л                   | від 90 к.с.         | ~2600 кг      | Класичний сошник, аналог СЗ, бюджетний        |
| Great Plains 2025F (6m)   | Причіпна                | ~2800 л                        | 150-170 к.с.        | ~4500+ кг     | Посилений сошник 00 серії, активна гідравліка |

Зернова сівалка Veles Agro SZM Nika 6 [12] - головний український конкурент у сегменті причіпних машин. Це справжня сівалка для Mini-Till. Важка рама та тиск сошника до 120 кг дозволяють сіяти у твердіший ґрунт та краще прорізати пожнивні рештки, ніж Astra (тиск до 65 кг) (рис. 2.2).



Рис. 2.2 Сівалка Veles Agro SZM Nika 6

Переваги Astra. Легша конструкція дозволяє працювати з тракторами меншої потужності (MTЗ 892/1025), тоді як "Ніка-6" вимагає трактора класу Т-150 або сучасних аналогів 130+ к.с. через значну вагу (4300 кг проти 2780 кг у Astra).

Зернова сівалка Maschio Gaspardo Mega 600 (рис. 2.3) – це європейський "середній клас" [13]. Переваги Gaspardo: Вища точність висіву на високих швидкостях, краща ергономіка налаштувань та якість матеріалів. Однак Mega 600 вимагає потужного трактора з гарною вантажопідйомністю задньої навіски.

Переваги Astra: Ціна та простота обслуговування. Astra - це причіпна машина, що не навантажує гідравліку трактора так, як важка навісна Gaspardo.

Зернова сівалка Ozdoken Pertum S-600 (рис 2.4). Турецькі сівалки зараз активно займають нішу між українською та західною технікою. Ozdoken зазвичай пропонує багатшу комплектацію (нержавіюча сталь в бункерах, якісніше фарбування) за ціною, трохи вищою за Elvorti [14]. Проте Astra виграє за доступністю запчастин в будь-якому регіоні України.



Рис. 2.3 Сівалка Maschio Gaspardo Mega 600



Рис. 2.4 Сівалка Ozdoken Pertum S-600

Demetra (СЗД) 6 (рис. 2.5) конкуренція з "бюджетним" сегментом. Demetra та інші подібні виробники (Ремсинтез і т.д.) часто копіюють конструкцію класичних СЗ. Astra 6 New виграє за рахунок модернізації (варіатор, порошкове фарбування, боровмісна сталь сошників Elvorti), тоді як дешевші аналоги можуть використовувати простіші метали та старі редукторні системи.



Рис. 2.5 Сівалка Demetra (СЗД) 6

Сівалка Great Plains (Механічна 6м) (рис. 2.6) є еталоном механічного посіву [16]. Great Plains (наприклад, 20-футові моделі) - це перша пропозиція для великих господарств. Вони надійніші та мають величезний ресурс, але коштують у 2-3 рази дорожче і вимагають потужних тракторів. Astra - це вибір для господарств, які не готові інвестувати у важку американську техніку.



Рис. 2.6 Сівалка Great Plains

Astra 6 New - це оптимальний варіант для господарств із земельним банком 500 - 1500 га, які мають у парку трактори потужністю 90 - 110 к.с. (МТЗ-1025, New Holland T5 тощо). Її головний козир - універсальність, можливість працювати по вологому ґрунту (де важка "Ніка" може грузнути) та доступність сервісу. Якщо ж у вас є трактор 150+ к.с. і планується перехід на мінімальний обробіток ґрунту, краще розглянути Veles Agro Nika 6.

## **2.5 Обґрунтування напрямку модернізації зернової сівалки**

На сьогоднішній день на полях України експлуатуються зернові сівалки, як вітчизняного виробництва (Фаворит, Elvorti, Ремсинтез та ін.), так і посівні агрегати провідних іноземних брендів - Great Plains, John Deere, Gaspardo Mega 600, Amazone, Vednar тощо. Загортальна система цих сівалок, обладнана прикочуючим котком, який має низку функціональних переваг. Окрім забезпечення необхідного ущільнення ґрунту над насінням і покращення його контакту з вологою, коток виконує роль додаткової опорної точки, висота якої регулюється. Це сприяє стабілізації положення сошників у ґрунті та підвищує точність підтримання глибини висіву [11-16].

Встановлення загортачів за котком також позитивно впливає на якість посіву, оскільки вони сприяють вирівнюванню борозни, зменшують небезпеку утворення ґрунтової кірки при підвищеній вологості та формують мульчувальний шар.

Для подальшого вдосконалення загортальної системи зернової сівалки доцільно проаналізувати переваги та недоліки існуючих технічних рішень. З цією метою розглянемо конструкції та принципи роботи систем загортання, що застосовуються у моделях сівалок зазначених вище виробників.

Компанія Elvorti [11] для формування оптимальних умов проростання насіння пропонує оснащувати сівалку секцією робочих органів, що включає дводисковий сошник, підвіску з натискною пружиною та прикочуючий коток. Ключовим елементом конструкції є інноваційна повідкова система Coult System, яка об'єднує прикочуючий коток і вдосконалений механізм регулювання тиску сошника (до 75 кг) (рис. 2.7). Цей механізм оснащений жорсткою пружиною та гідравлічним дотискачем, що забезпечує стабільний контакт сошника з ґрунтом та високу рівномірність глибини висіву. Завдяки такому технічному рішенню сівалка ефективно працює як за традиційної технології обробітку ґрунту, так і на полях із мінімальним обробітком та наявністю невеликої кількості пожнивних решток. У конструкції сівалки загортання проводиться виключно прикочуючим котком, і додаткові загортальні робочі органи не передбачені.



Рис. 2.7 Котки сівалки Astra 6 New

Компанія John Deere [17], один із провідних світових виробників сільськогосподарської техніки, пропонує зернову сівалку прямого посіву моделі 1590. Машина призначена для висіву зернових культур у широкому спектрі умов, як на ретельно підготовлених полях, так і на поверхні з мінімальним обробітком або без нього. Конструкція сівалки має секційну компоновку і оснащена однодисковим сошником з опорним котком, який виконує функцію копіювання рельєфу поля та забезпечує стабільну глибину закладання насіння. Формування оптимальних умов для проростання досягається за рахунок конусного похилого металевого котка (рис. 2.8), що забезпечує ефективне ущільнення ґрунту в зоні висіву.



Рис. 2.8 Коток сівалки John Deere

Недоліком такої загортальної системи є суцільна металева поверхня котка, яка при підвищеній вологості ґрунту спричиняє налипання, що погіршує якість посіву та стабільність глибини загортання. Крім того, фіксований кут нахилу котка не дає можливості точно адаптувати роботу загортання для різних культур, типів ґрунту та умов зволоження. Загалом загортальна система John Deere, яка використовує конічний металевий коток, більше орієнтована на ущільнення та змикання стінок борозни, ніж на традиційне рівномірне прикочування верхнього шару ґрунту, що обмежує її універсальність у порівнянні з сівалками, де прикочування виконує комплексну функцію формування агрегатного складу поверхні рядка.

Компанія Amazone [18], пропонує зернову сівалку D9 6000-ТС “Combi”. Ця модель призначена для висіву як зернових, так і трав'яних культур і має ширину захвату 6 м, що забезпечує високу продуктивність посіву. Для точного укладання насіння машина оснащена секцією робочих органів, побудованою за класичною схемою. До її складу входить однодисковий сошник, система підвіски та загортальна система (рис. 2.9) у вигляді підпружиненого котка. Коток виконаний із шиною атмосферного тиску циліндричного профілю, що дозволяє рівномірно ущільнювати ґрунт без його перезминання. Завдяки підпружиненню забезпечується стабільний притискний зусилля, а отже і рівномірність загортання та формування посівного ложа на різних типах ґрунтів. Таке конструктивне рішення підвищує якість посіву та забезпечує адаптивність системи до зміни польових умов.



Рис. 2.9 Підпружинений коток Amazone

Таким чином, проведений огляд конструкцій сівалок і посівних агрегатів, представлених в Україні, дозволяє зробити висновок, що більшість машин мають секційне виконання, а їх загортальні системи формуються з типових елементів. Основними складовими таких систем є циліндричний прикочуючий коток та пруткові або прутково-пружинні загортачі. Враховуючи це, модернізація існуючих загортальних систем зернових сівалок залишається актуальним завданням, здатним підвищити якість посіву та продуктивність агрегатів.

### 3. Наукова частина

**Актуальність теми.** Загортання насіння є одним із ключових етапів сівби, що суттєво впливає на врожайність та загальну ефективність сільськогосподарського виробництва. Використання загортаючих робочих органів на зернових сівалках забезпечує створення сприятливих умов для проростання насіння, підтримуючи оптимальний рівень вологості та структуру ґрунту. Це особливо важливо для більшості зернових культур, де рівномірне розташування насіння та збереження вологи в зоні його залягання визначають дружні та однорідні сходи. Таким чином, правильне функціонування загортальних робочих органів є важливою складовою посівного процесу, що прямо впливає на якість продукції та рівень врожайності. Раціональний вибір конструкції загортача, його точне налаштування та дотримання агротехнічних норм під час сівби дозволяють знизити витрати на вирощування та підвищити продуктивність культури. Впровадження універсальних загортальних систем і забезпечення їх належної роботи роблять процес загортання насіння ефективнішим. Тому вдосконалення загортаючих робочих органів і формування якісного технологічного процесу є актуальним завданням з практичним значенням для підвищення досконалості зернових сівалок.

**Мета і задачі дослідження.** Метою досліджень є підвищення ефективності роботи секції зернової сівалки шляхом удосконалення загортальної системи та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів прикочуючого котка.

Для досягнення мети поставлено наступні **задачі:**

провести аналіз технології посіву озимої пшениці та конструкцій секцій сівалок для її висіву, визначити недоліки та обґрунтувати напрями їх усунення;

дослідити процес роботи запропонованого прикочуючого котка зернової сівалки, обґрунтувати його конструктивні особливості та визначити їх вплив на технологічний процес загортання насіння.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес роботи прикочуючого котка зернової сівалки та його робочих елементів.

**Предмет дослідження:** конструктивно-технологічні параметри прикочуючого котка зернової сівалки та технологічні властивості ґрунту, які впливають на їх роботу.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному:

визначено закономірності впливу робочих поверхонь запропонованого прикочуючого котка зернової сівалки на процес загортання насіння, а також обґрунтовані раціональні значення цих параметрів;

досліджено вплив геометрії елементів прикочуючого котка зернової сівалки на якість загортання насіння та встановлено, як конструктивні особливості елементів прикочуючого котка впливають на неї;

аналітичним шляхом визначені раціональні параметри елементів прикочуючого котка зернової сівалки, які сприяють покращенню якості розміщення насіння на дні борозни та підвищенню ефективності виконання процесу посіву насіння озимої пшениці в цілому.

### **3.1 Обґрунтування і розробка удосконаленої загортальної системи сівалки Astra 6 New**

Сівалка Astra 6 New [11] оснащується секцією робочих органів (рис. 3.1), що має наступну конструкцію. В передній частині секції розміщена поводкова група з натискним механізмом, який виконано у вигляді пружини стискування та який передає зусилля на кронштейн сошника. У задній частині кронштейна розташована система навантаження на прикочуючий коток, що працює разом із поводковою групою та формує необхідне сумарне зусилля на робочі органи. Коток змонтований на власній підвісці, закріпленій на кронштейні сошника, а на його осі встановлено очисник, призначений для зняття налиплого ґрунту з поверхні котка. Кронштейн сошника виконує роль основної ланки загортальної системи та забезпечує можливість під'єднання додаткового обладнання, що дозволяє підвищити ефективність процесу загортання насіння зернових культур.

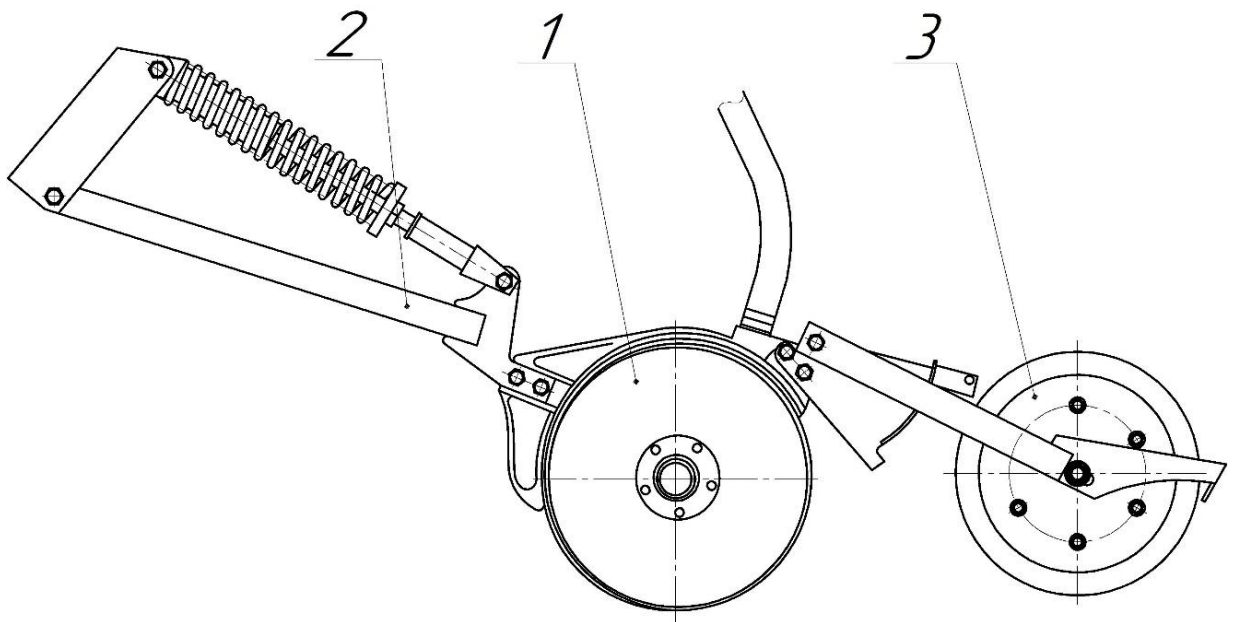


Рис. 3.1 Секція Astra 6 New:

1 – сошник; 2 – група підвіски; 3 - коток

У процесі модернізації пропонується внести такі зміни в конструкцію секції робочих органів сівалки Astra 6 New. Для підвищення якості прикочування та загортання насіння, а також для створення оптимальних умов його проростання, доцільно змінити конструкцію прикочуючого котка.

Для можливості розробки удосконалених елементів секції необхідно врахувати вимоги, які ці елементи повинні забезпечувати. Зокрема, прикочуючий коток має не лише здійснювати стискання ґрунту зверху вниз і ущільнювати його безпосередньо над борозною, а і формувати такі умови, що сприятимуть прискоренню проростання насіння. Раціональним є зменшення тиску у верхній частині борозни та збільшення у нижній зоні, оскільки це інтенсифікує підтягування капілярної вологи до насіння. Досягти такого ефекту можливо, якщо створювати ущільнення ґрунту з обох боків висіяного рядка, а не тільки над ним.

З цією метою пропонується удосконалена конструкція робочої частини прикочуючого котка зернової сівалки. Суть розробки полягає в тому, що коток виконано у вигляді шини атмосферного тиску з комбінованим профілем: центральна частина має зменшену товщину і забезпечує демпфувальний ефект,

тоді як бокові елементи виконані конічними та мають удвічі більшу товщину стінки. При цьому ширина гнучкої (центральної) частини шини відповідає ширині борозни, що формується сошником, а ширина конічних елементів забезпечує необхідне бокове ущільнення ґрунту в зоні розміщення насіння.

На рис. 3.2 показана конструкція запропонованої шини атмосферного тиску котка секції робочих органів сівалки Astra 6 New.

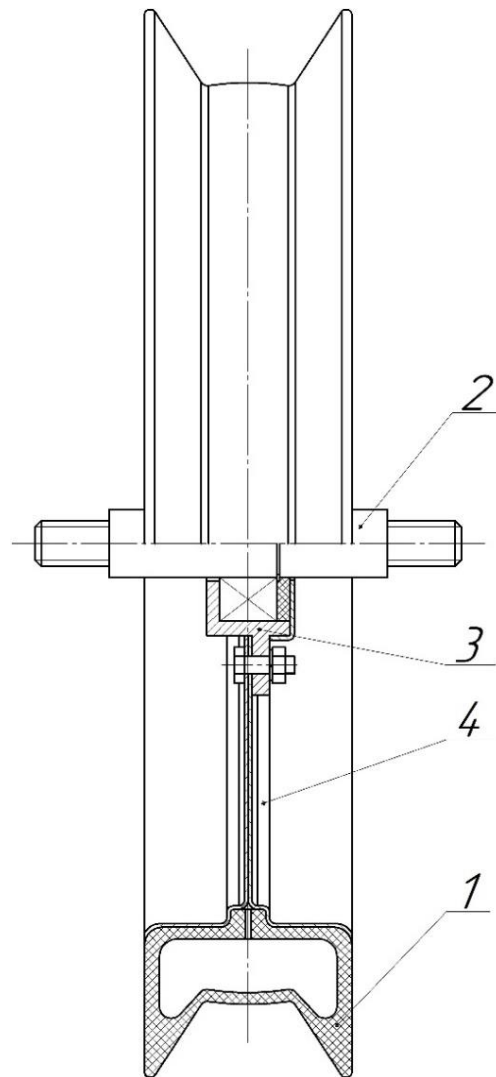


Рис. 3.2 Удосконалений коток зернової сівалки:

1 – шина; 2 – вісь; 3 – ступиця; 4 – диски

Удосконалений прикочуючий коток зернової сівалки працює таким чином. Під час руху по центру рядка його конічні ободи заглиблюються в ґрунт та ущільнюють нижні шари борозни. Завдяки конічній формі ободів тиск із глибини до поверхні поступово зменшується, залишаючи над насіниною менш

ущільнений шар ґрунту. Бокові конічні поверхні котка при цьому притискують ґрунтовий шар з обох боків до насінини, що лежить на дні борозни, завдяки чому формується щільний контакт ґрунту в зоні її розміщення.

Гнучка центральна частина шини, що володіє демпфувальними властивостями, забезпечує легке притискання верхнього шару ґрунту зверху вниз. Це сприяє вирівнюванню насіння по глибині рядка та створенню над ним характерного трапецієподібного насипу ґрунту. Такий профіль загортання формує сприятливі умови для проростання, забезпечуючи оптимальний розподіл щільності та стабільний капілярний потік вологи до насіння.

При підвищенні вологості ґрунту завдяки пружним і демпфувальним властивостям шини відбувається самоочищення котка від налиплого ґрунту, що підтримує стабільність роботи в різних умовах.

Ефективність удосконаленої конструкції забезпечується такими факторами:

Досягненням оптимальної щільності ґрунту в зоні розміщення насіння, що відповідає агротехнічним вимогам. Це покращує умови підтягування капілярної вологи та сприяє швидкому і дружному проростанню.

Рівномірним розподілом щільності ґрунту завдяки комбінованій конічно-циліндричній формі робочої поверхні котка. Зменшена товщина центральної гнучкої частини профілю забезпечує її деформацію та демпфувальний ефект, який не лише пом'якшує вплив на ґрунт, а і сприяє самоочищенню котка від налипання.

Аналіз сучасних конструкцій прикочуючих систем зернових сівалок показує, що для отримання рівномірного загортання насіння та формування оптимальної щільності ґрунтового середовища профіль котка має забезпечувати не лише розподіл навантаження по ширині борозни, а і його правильний перерозподіл по глибині. Як зазначено у джерелах [17,18], ефективним геометричним рішенням є використання конічних робочих поверхонь котка. Разом з тим, ще кращих технологічних показників можна досягти, замінивши традиційний гумовий обід на шину атмосферного тиску,

яка має низку суттєвих переваг [19-22]. Зокрема, така шина забезпечує демпфування під час наїзду на тверді грудки, завдяки чому коток може перекочуватись через нерівності без надмірного ущільнення ґрунту в зоні залягання насіння. Окрім цього, її конструктивні особливості сприяють самоочищенню та зменшенню налипання ґрунтової маси.

Враховуючи наведені переваги, необхідно детально проаналізувати процес взаємодії котка з ґрунтовим шаром та визначити основні розрахункові параметри, які забезпечуватимуть можливість його раціонального застосування в складі прикочуючої системи зернової сівалки.

### 3.2 Побудова математичної моделі взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом

Для можливості теоретичного розгляду взаємодії поверхні прикочуючого котка з ґрунтом необхідно визначити умови згідно яких буде будуватись математична модель.

Геометричні параметри котка (рис. 3.3).

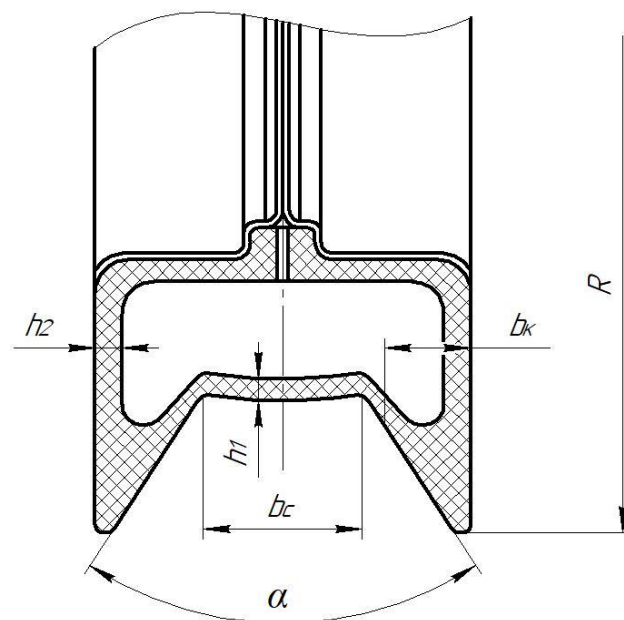


Рис. 3.3 Геометричні параметри котка

Оскільки робоча поверхня має складний профіль, потрібно визначити які конструктивні параметри здійснюють вплив на виконання технологічного процесу:

радіус котка ( $R$ ) - необхідний для визначення площі плями контакту та моменту опору коченню;

кут нахилу конічних поверхонь ( $\alpha$ ) - це критичний параметр, оскільки саме конічна форма забезпечує ущільнення ґрунту з обох боків до насіння та перерозподіл вертикального навантаження у бічне;

ширина гнучкої середньої частини ( $b_c$ ), вона має дорівнювати ширині борозни, що утворює сошник;

ширина конічних бічних елементів ( $b_k$ ), повинна бути достатньою для забезпечення зони ущільнення;

товщина стінок профілю ( $h_1$  та  $h_2$ ), необхідна для розрахунку деформації самої шини, оскільки бокові стінки вдвічі товщі за середню частину для створення ефекту демпфування.

Силіві та кінематичні параметри, що діють на коток під час роботи (рис. 3.4):

вертикальне навантаження на коток ( $Q$ ), це сумарна сила, що передається від натискної пружини поводкової групи та власної ваги секції;

швидкість руху агрегату ( $V$ ), впливає на динамічну складову взаємодії (хоча для статичних епюр напружень може не враховуватися, але важлива для ефекту демпфування шини атмосферного тиску).

Механічні характеристики матеріалу шини.

Оскільки прикочуючий коток виконаний у формі шини атмосферного тиску (без надлишкового тиску повітря), її жорсткість визначається властивостями матеріалу та формою:

модуль пружності матеріалу шини ( $E$ ), для розрахунку прогину шини під навантаженням;

коефіцієнт жорсткості середньої частини ( $c$ ), потрібен, щоб змодельовати, як середня частина "просідає" і вирівнює верхній шар ґрунту без значного тиску.

Фізико-механічні властивості ґрунту:

коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту ( $k$ ), характеризує опір ґрунту деформації;

кут внутрішнього тертя ґрунту ( $\varphi$ ) та зчеплення ( $C$ ), необхідні для визначення граничних напружень та умови рівноваги, особливо на схилах борозни, де діють конічні поверхні;

початкова щільність ґрунту ( $\rho_0$ ) (до проходу) та необхідна агротехнічна (після проходу) ( $\rho$ ).

вологість ґрунту ( $W$ ), впливає на здатність ґрунту до ущільнення та налипання.

Геометрія борозни (рис. 3.4).

Оскільки коток працює по сліду сошника то форма борозни – рівнобічний трикутник, глибина борозни  $h_b$ , а ширина  $b_b$ ;

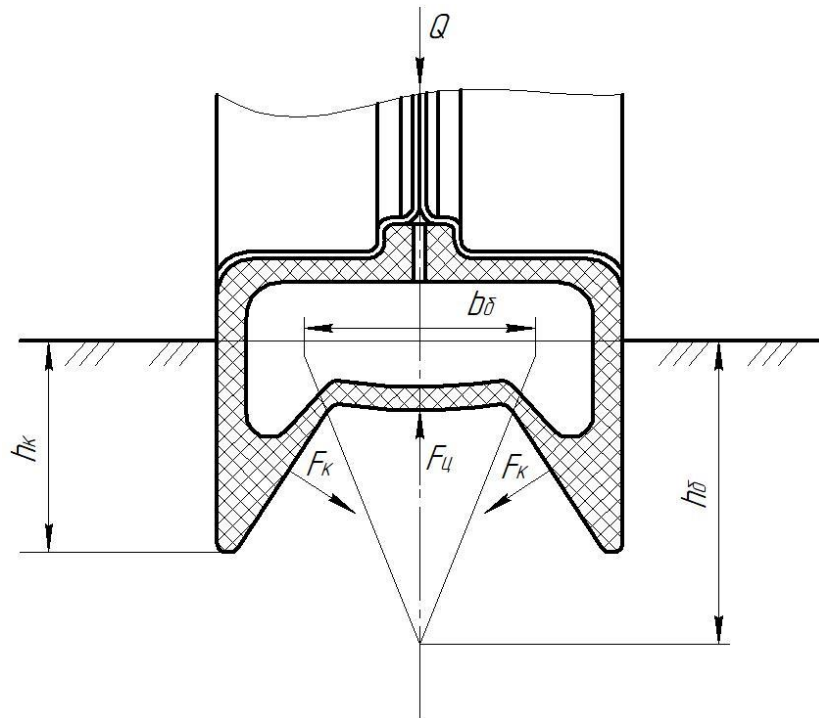


Рис. 3.4 Силова взаємодія та характеристики борозни

$F_k$  - сила від дії конічної частини робочої поверхні котка;

$F_u$  - сила від дії центральної частини робочої поверхні котка;

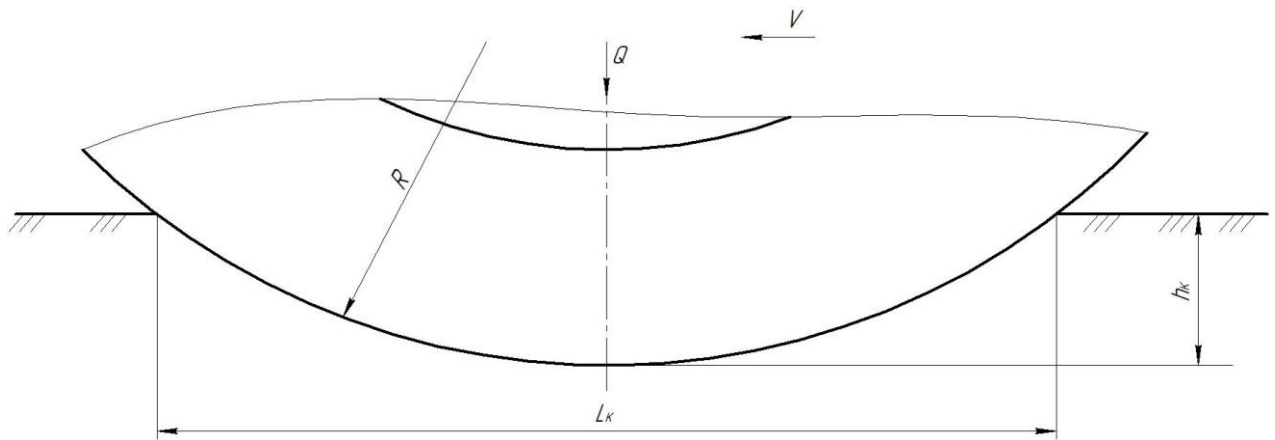


Рис. 3.5 Характер дії котка на ґрунт в повздовжньому напрямі

$L_k$  - довжина лінії контакту котка з ґрунтом;

$h_k$  - глибина занурення котка в ґрунт.

Математична модель взаємодії удосконаленого прикочуючого котка з ґрунтом базується на визначенні сил, що діють на коток, та розподілу напружень, які він створює в ґрунті.

На коток діє вертикальне навантаження  $Q$ , яке врівноважується силами реакції ґрунту. Сили реакції ґрунту розподіляються на вертикальну силу  $F_u$  (від центральної гнучкої частини) та дві вертикальні складові  $F_k$  (від конічних бічних елементів). За умовою вертикальної рівноваги:

$$Q = F_u + 2F_k, \quad (3.1)$$

де:  $Q$  – вертикальне навантаження на коток;

$F_u$  – сила, що діє на центральну частину шини;

$F_k$  – вертикальна складова сили, що діє на одну конічну бічну частину шини.

В загальному випадку, напруження (тиск)  $P$  на ґрунт від елемента котка можна визначити як силу  $F$  на площу контакту  $A$ :

$$P = \frac{F}{S}. \quad (3.2)$$

Оскільки площа контакту котка з ґрунтом змінюється в залежності від його занурення та деформації, то можна використати теорію пружності та механіки ґрунтів.

Визначимо напруження під центральною (гнучкою) частиною  $P_u$ .

Центральна частина виконує ефект демпфування і притискає верхній шар ґрунту. Сила  $F_u$  може бути визначена з урахуванням деформації шини  $\delta_c$  та її жорсткості  $c$ :

$$F_u = c \cdot \delta_c, \quad (3.3)$$

де  $\delta_c$  – вертикальна деформація (осадка) центральної частини шини.

Напруження  $P_u$  (середній тиск) під центральною частиною:

$$P_u = \frac{F_u}{S_u}, \quad (3.4)$$

де  $S_u = b_c \cdot L_k$  – площа контакту центральної частини, а  $L_k$  – довжина контакту котка з ґрунтом.

Довжина контакту котка  $L_k$  залежить від його осадки  $h_k$  і радіуса  $R$ :

$$L_k \approx 2\sqrt{2Rh_k}. \quad (3.5)$$

Визначимо напруження під конічними елементами  $P_k$ .

Конічні елементи ущільнюють ґрунт в нижніх шарах борозни та притискають ґрунт з обох боків до насіння. Напруження  $P_k$  (тиск) від конічної частини можна описати, використовуючи формулу механіки ґрунтів для ущільнення [23-25]. Тиск, що виникає в ґрунті  $P$ , пропорційний осіданню  $h$  (зминанню) ґрунту  $\Delta h$ :

$$P = k \cdot \Delta h, \quad (3.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт об’ємного зминання ґрунту.

Для конічної частини, що занурюється на глибину  $h_k$  (відносно поверхні) і має кут  $\alpha$ , можна розглянути розподіл тиску  $P_k(z)$  по глибині  $z$  у зоні контакту. Оскільки тиск зменшується ближче до поверхні, залежність може бути прийнята лінійною або близькою до неї [23].

$$P_k(z) = P_{k,\max} \cdot \left(1 - \frac{z}{h_k}\right) + P_{k,\min}, \quad (3.7)$$

де  $P_{k,\max}$  – максимальний тиск на дні борозни (на глибині  $h_k$ );

$P_{k,\min}$  – мінімальний тиск на верхній межі зони ущільнення.

Вертикальна складова сили  $F_k$  від однієї конічної частини:

$$F_k = \int_0^{L_k} \int_0^{b_k} P_k(x, z) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) dS \approx P_{k,\text{сеп}} \cdot S_k \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (3.8)$$

де  $S_k$  – площа контакту однієї конічної частини.

Розподіл напружень  $\sigma$  під котком у поперечному перерізі (перпендикулярно до руху) залежить від трьох зон: центральної гнучкої  $P_u$  та двох конічних  $P_u$ . Для спрощення, приймемо, що напруження у кожній зоні розподіляється рівномірно по ширині цієї зони, але змінюється по глибині  $z$ .

Центральна зона ( $|x| \leq \frac{b_c}{2}$ ). У цій зоні тиск  $P_u$  притискає верхній шар.

Напруження  $\sigma(x, z)$  можна визначити на основі деформації  $\delta_c$  і властивостей ґрунту:

$$\sigma(x, z) = P_u \cdot \exp\left(-\frac{z}{z_0}\right), \quad (3.9)$$

де  $P_u = \frac{F_u}{S_u}$  (якщо припустити постійний тиск у цій зоні по ширині);

$z_0$  – параметр, що характеризує затухання тиску по глибині в пухкому шарі.

Конічні зони ( $\frac{b_c}{2} < |x| \leq \frac{b_c}{2} + b_k$ ). У цих зонах створюється максимальне ущільнення. Напруження  $\sigma(x, z)$  змінюється по глибині  $z$ :

$$\sigma(x, z) = P_{k, \max} \cdot \left(1 - \frac{z}{h_k}\right) \cdot \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \frac{1}{k_b}, \quad (3.10)$$

де  $k_b$  – коефіцієнт, що враховує боковий тиск (залежний від кута внутрішнього тертя  $\varphi$ ).

$$P_{k, \max} = k \cdot (h_{\bar{\sigma}} - h_{\min}) \cdot K_{k_b}, \quad (3.11)$$

де  $h_{\min}$  – мінімальне занурення;

$K_{k_b}$  – коефіцієнт, що враховує зсувну міцність (зчеплення  $C$  та кут  $\varphi$ ).

Умова рівноваги для інтегрування.

Для побудови графіка розподілу напружень, необхідно інтегрувати отримані напруження по площі контакту і прирівняти до вертикального навантаження  $Q$ .

$$Q = \int_{-\frac{L_k}{2}}^{\frac{L_k}{2}} \left( \int_{\frac{b_c}{2}}^{\frac{b_c}{2}} \sigma(x, 0) dx + 2 \int_{\frac{b_c}{2}}^{\frac{b_c}{2} + b_k} \sigma(x, 0) dx \right) dL \approx$$

$$\approx L_k \cdot \left( P_y \cdot b_c + 2P_{k, \text{cep}} b_k \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \quad (3.12)$$

Отримане інтегральне рівняння дає можливість знайти невідомі параметри (наприклад, осадки  $h$  і  $F_y, F_k$ ) необхідні для побудови графіка розподілу напружень.

Для графічного представлення розподілу напружень  $\sigma$  (особливо у горизонтальній площині на глибині насіння) необхідно отримати залежність

напруження від поперечної координати  $x$  (ширини котка), використовуючи конструктивні параметри  $b_c, b_k, \alpha$ . Залежність напруження від конструктивних параметрів  $(b_c, b_k, \alpha)$ :

Напруження на глибині розміщення насіння ( $z = h_{нас}$ ):

$$\sigma(x, h_{нас}) = \begin{cases} P_u \cdot \exp\left(-\frac{h_{нас}}{z_0}\right) & \text{при } |x| \leq \frac{b_c}{2} \\ P_{k, \max} \cdot \left(1 - \frac{h_{нас}}{h_k}\right) \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2} \cdot k_\phi} & \text{при } \frac{b_c}{2} < |x| \leq \frac{b_c}{2} + b_k \end{cases} \quad (3.13)$$

Залежність тиску  $P_u$  та  $P_{k, \max}$  від  $b_c, b_k, \alpha$  з умови рівноваги  $Q = F_u + 2F_k$ , де  $F_u$  і  $F_k$  залежать від тиску та геометрії.

Збільшення  $b_c$  (ширини гнучкої частини) призведе до зменшення  $P_u$  (при постійній  $F_u$ ) і, відповідно, до зменшення тиску в центральній зоні.

Збільшення  $b_k$  (ширини конічних елементів) призведе до зменшення  $P_k$  (при постійній  $F_k$ ), сприяючи більш рівномірному розподілу тиску в нижніх шарах.

Зміна  $\alpha$  (кута нахилу) впливає на вертикальну складову  $F_k$ , зменшення  $\alpha$  (більш гострий конус) збільшує вертикальну складову  $F_k$  та тиск в нижньому шарі.

Теоретична залежність для побудови графіка розподілу напружень  $P(x)$  (тиску) під удосконаленим котком на глибині розміщення насіння  $h_{нас}$  (де  $x$  - поперечна координата відносно центру котка) має такий вигляд:

$$P(x, h_{нас}, b_c, b_k, \alpha) = \begin{cases} P_u \cdot f_u(h_{нас}, z_0) & \text{при } |x| \leq \frac{b_c}{2} \\ P_{k, \text{сер}} \cdot f_k(\alpha, h_{нас}, h_k, \phi) & \text{при } \frac{b_c}{2} < |x| \leq \frac{b_c}{2} + b_k \end{cases} \quad (3.14)$$

Розроблена математична модель достовірно описує взаємодію котка з ґрунтовим середовищем через поєднання геометричних параметрів та механічних характеристик матеріалів. В основу моделі покладено модуль пружності шини та механічні властивості ґрунту (кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення, модуль деформації), що дозволяє кількісно визначати напружено-деформований стан у зоні контакту.

Формули моделі розділяють тиск на два компоненти - центральний та боковий, що дає можливість математично відтворити диференціальне ущільнення ґрунту. Центральна частина моделюється як зона з мінімальною передачею вертикальних напружень, тоді як дія конічних елементів описуються окремою залежністю, що показує ріст напружень пропорційно їх профілю. Такий підхід дозволяє точно відображати різні механізми впливу на ґрунт.

Залежності (3.9) - (3.12) описують затухання тиску з глибиною через експоненту, що відповідає реальним законам передачі напружень у сипких середовищах. Модель враховує різні коефіцієнти затухання для центральної та конічної частин, що теоретично обґрунтовує різний характер проникнення сил у вертикальному напрямку та забезпечує можливість прогнозування ущільнення на будь-якій глибині.

Модель щільності ґрунту (формула 3.14) встановлює прямий лінійний зв'язок між діючим тиском і приростом об'ємної маси, що узгоджується з класичною теорією ущільнення ґрунтів [25,26]. Використання коефіцієнта об'ємного зминання  $k$  забезпечує перехід від механічних напружень до агрофізичного параметра - щільності ґрунту, що є ключовим критерієм ефективності прикочування.

Математична модель дозволяє проводити параметричний аналіз і визначати оптимальні конструктивні рішення без потреби в попередніх польових дослідженнях. Такий рівень теоретичної універсальності робить модель придатною для інженерного проектування, порівняльного аналізу конструкцій і подальшої підготовки до виготовлення реальних зразків.

#### 4. Практична реалізація результатів досліджень

На основі розробленої математичної моделі роботи удосконаленого прикочуючого котка був отриманий ряд залежностей які дають можливість оцінити вплив конструкції його елементів на технологічні характеристики.

Залежність (3.14) показує, розподілу тиску під поверхнею котка (рис. 4.1).

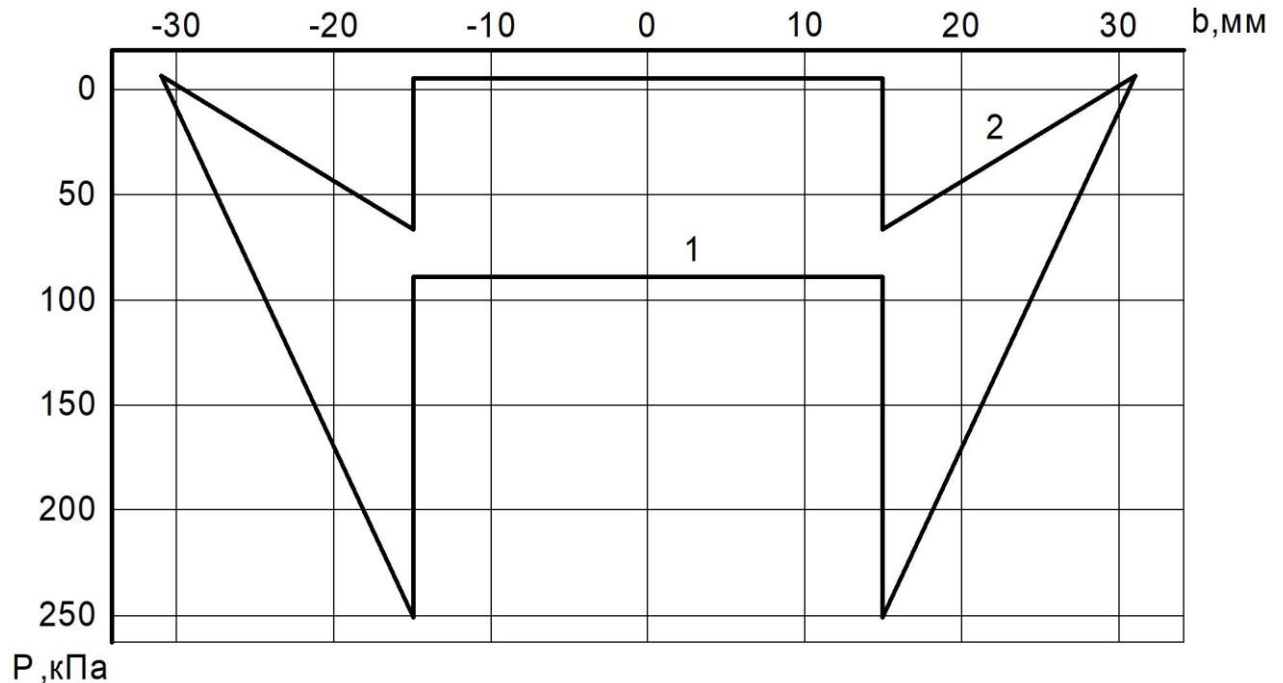


Рис. 4.1 Розподіл тиску під поверхнею котка:

1 – характер зміни тиску під робочою поверхнею; 2 – на глибині залягання насіння 5 см

Графік 1 відображає епюру напружень під котком у поперечному перерізі, тобто як змінюється тиск у ґрунті від центру котка до його боків. Цей графік базова характеристика роботи удосконаленого котка, бо він показує, у яких саме зонах формується ущільнення ґрунту. Графік складається з трьох характерних ділянок, які повністю відповідають конструкції котка з гнучким центром та двома конічними секторами.

Зона 1 - центральна гнучка частина (ширина  $b_c$ ). У цій зоні тиск є мінімальним, рівномірним і низьким. Це підтверджує формулу (3.9), де тиск у центрі зменшується експоненційно з глибиною через параметр затухання.

Центральний елемент працює як демпфер, він вирівнює верхній шар, але не ущільнює насіння зверху. В області між конусами не виникає надмірних напружень. Це повністю відповідає конструкції робочої поверхні котка. Зони 2 і 3 бічні конічні секції (ширина  $b_k$ ). Під боками графік формує два виражені максимуми тиску. Це реалізація залежностей (3.10) - (3.11), де напруження зростає до максимального значення  $P_{max}$ , величина залежить від кута  $\alpha$  та параметрів зчеплення і внутрішнього тертя ґрунту.

Тиск концентрується по краях борозни, ґрунт з двох боків притискається до насіння внизу, формуючи ущільнені стінки, тиск ближче до поверхні зменшується (згідно (3.7)), тому верхній шар не перетрамбовується. Це саме той ефект, який є метою модернізації котка. Конічні частини працюють як «клин», що стискають ґрунт з боків. Форма епюри показує оптимальне перерозподілення тиску.

Графік демонструє асиметричний розподіл напружень, де боки отримують у 2 - 3 рази більше навантаження, ніж центр. Це важливо, тому що над насінням не створюється надмірна щільність, що забезпечує доступ повітря, боки борозни ущільнюються сильніше - формується капілярний підйом вологи, вертикальний тиск переходить у бічний компонент (за рахунок  $\alpha$ ).

Отримана графічна залежність підтверджує, що конструкція котка відповідає агротехнічним вимогам. Основна агрономічна задача - підвищити щільність ґрунту саме в зоні розміщення насіння, але не зверху. На глибині 5 см в зоні залягання насіння, тиск залишається суттєвим саме з боків, насіння оточене щільним ґрунтом, який забезпечує вологу.

Графік 2 показує, що на глибині 5 см напруження у ґрунті розподіляються асиметрично: під центральною частиною котка тиск практично відсутній, у той час як під конічними боками формуються два виразні максимуми тиску. Це підтверджує, що вдосконалена геометрія котка забезпечує диференційоване ущільнення ґрунту, слабке у центральній частині та інтенсивне в зоні бокових

стінок борозни, що створює оптимальні умови для капілярного підводу вологи і стабільного проростання насіння зернових культур.

Рівнянням (3.6) дає можливість з'ясувати як розподіляється щільність ґрунту на глибині залягання насіння через дію напружень (рис. 4.2).

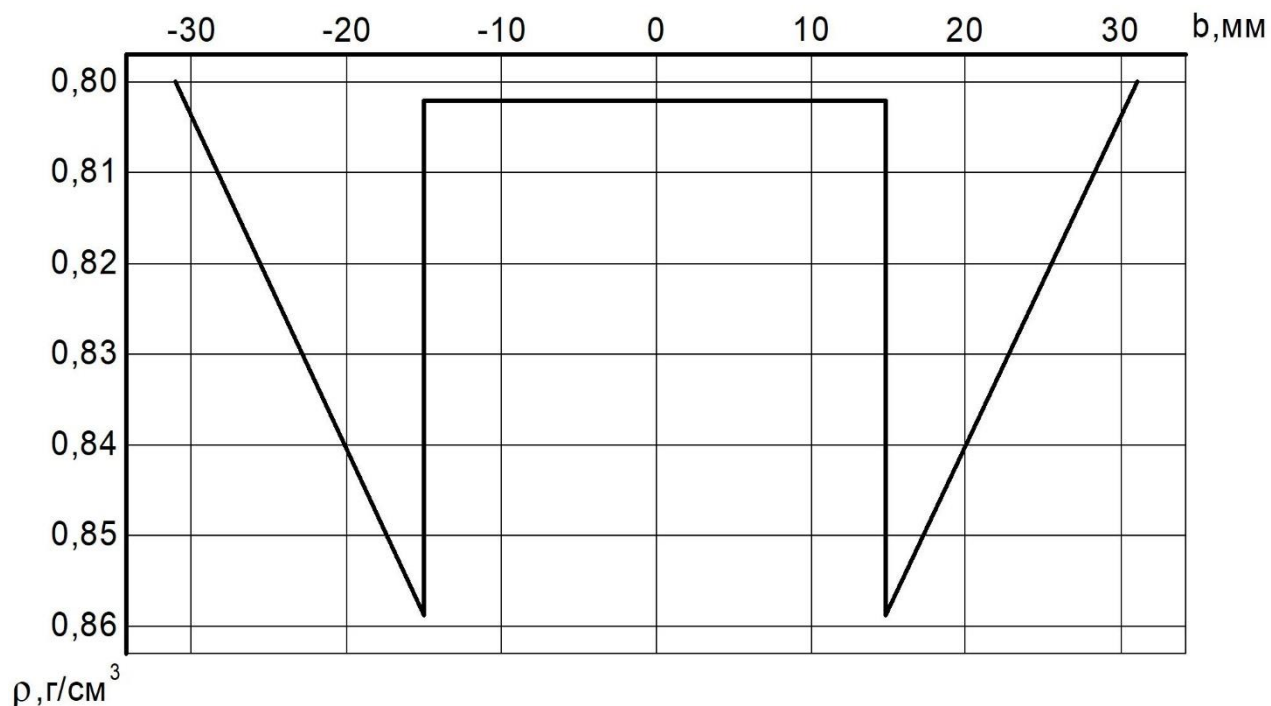


Рис. 4.2 Розподіл тиску під поверхнею котка на глибині залягання насіння

Графік показує, що щільність ґрунту на глибині розташування насіння має диференційований характер, мінімальна у центральній частині та підвищена у зоні бокових стінок борозни. Такий розподіл забезпечує оптимальні умови для проростання і достатній контакт насіння з ущільненим ґрунтом з боків та збереження пухкої структури над ним. Це підтверджує правильність геометричної схеми котка і працездатність розробленої математичної моделі.

Графік (рис. 4.3) відображає, як змінюється середній тиск та щільність ґрунту на глибині розміщення насіння при різних значеннях ширини центральної частини котка  $b_c$ . Це один із ключових параметрів, бо саме центральна ділянка визначає, чи буде насіння знаходитись під переущільненим шаром ґрунту зверху.

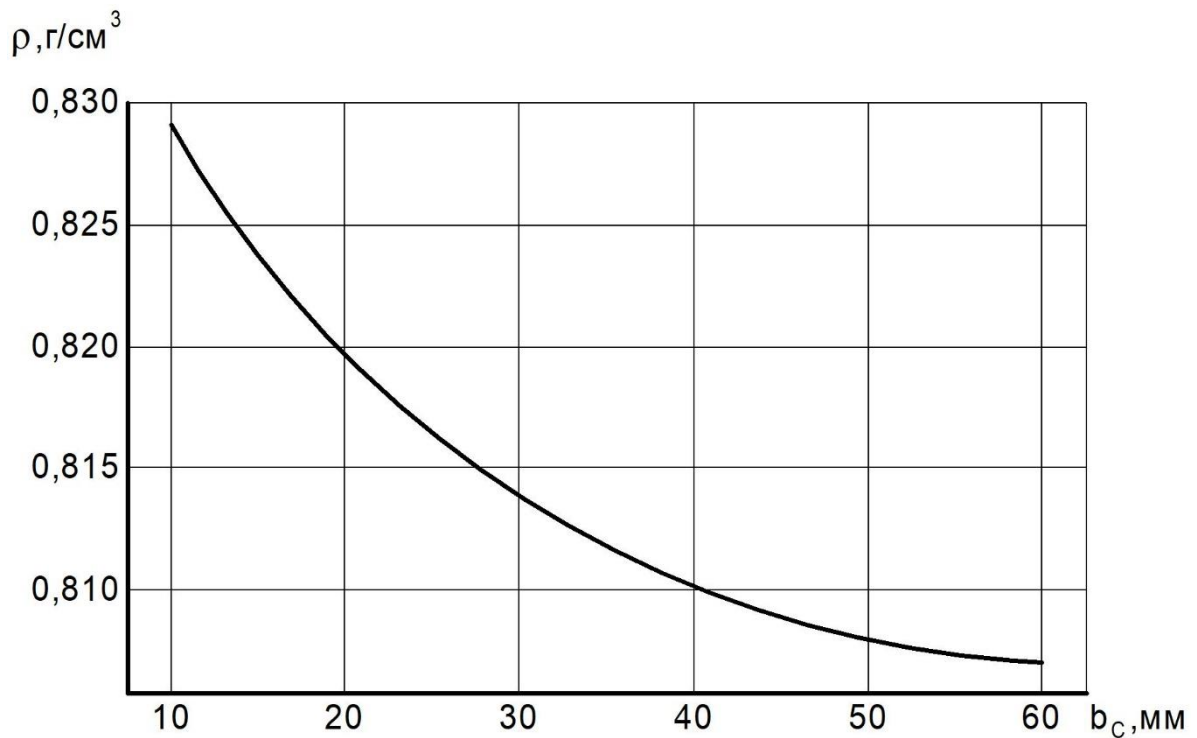


Рис. 4.3 Вплив ширини центральної частини  $b_c$  на середній тиск в зоні залягання насіння

Зі зменшенням  $b_c$  тиск у зоні залягання насіння зростає. Коли  $b_c$  зменшується, центральна демпфуюча частина стає вузкою і вона менше "поглинає" навантаження. Відповідно більша частина сили  $Q$  переходить на бокові кінчні секції, тиск на глибині залягання насіння зростає пропорційно. Це підтверджує умову рівноваги (рівняння 3.12), чим менша  $b_c$ , тим більша частка сили припадає на конусні боки ( $F_k$ ).

Великі значення  $b_c$  знижують ефективність прикочування. Коли  $b_c$  занадто велика центральна частина поглинає більшу частину навантаження, боки отримують меншу частку сили, тиск на глибині стає нижчим від оптимального. На графіку це проявляється згладженістю і падінням кривої при  $b_c > 30 - 35$  мм. Оптимальним є діапазон  $b_c = 15 - 25$  мм. У цьому діапазоні центр не створює надлишкового тиску зверху, але боки отримують достатню частку сили для формування ущільнених стінок на глибині насіння. Саме цей інтервал є компромісом між пружною роботою центральної частини та силовим впливом бічної.

Графік (рис. 4.4) демонструє, як змінюється тиск на глибині залягання насіння при зміні ширини бокових елементів котка  $b_k$ .

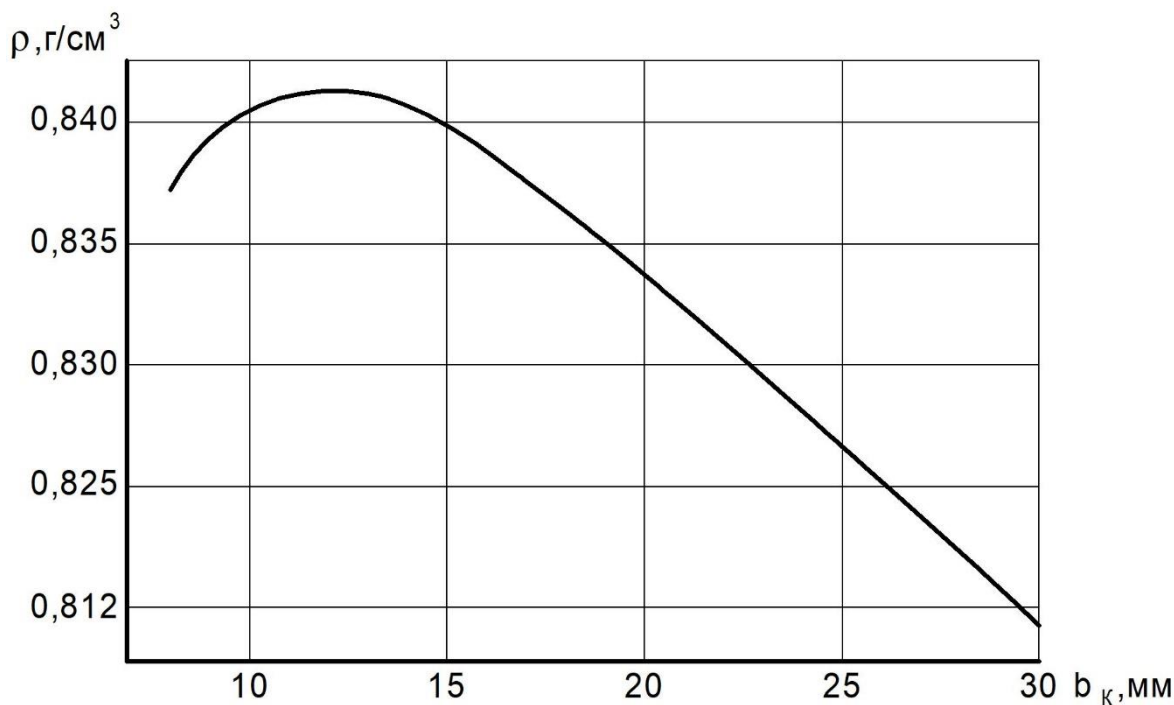


Рис. 4.4 Вплив ширини бокових конусних елементів робочої поверхні котка  $b_k$  на середній тиск у зоні залягання насіння

Цей параметр визначає, якою буде площа контакту конічної частини котка з ґрунтом. Надто вузькі конуси ( $b_k < 12$  мм) дають надмірно концентрований тиск. В цьому випадку, тиск сильно зростає на поверхні, але частина енергії втрачається в ґрунті через локальну деформацію, проникнення тиску на глибину залягання насіння погіршується. На графіку це спостерігається, як різкий спад тиску при малих  $b_k$ .

Надто широкі конуси ( $b_k > 18 - 20$  мм) розподіляють тиск по поверхні. Якщо  $b_k$  занадто великі, то вертикальна компонента сили розподіляється на більшу площу, тиск в глибині зменшується, бокові стінки борозни ущільнюються слабніше. Графік демонструє зниження тиску при зростанні  $b_k$  понад оптимум. Оптимум 12 - 18 мм, саме в цьому діапазоні конус має достатню площу, щоб передати тиск вглиб і достатню жорсткість, щоб створити високу величину напруження вертикальна складова сили

максимальна. Це повністю узгоджується з теоретичною частиною, параметр  $b_k$  прямо входить у формулу (3.10) і впливає на  $P_{max}$  бокових зон.

Графік (рис. 4.5) ілюструє, як змінюється тиск на глибині залягання насіння при зміні параметра  $\alpha$ , що визначає крутизну бокових конусів і напрямок передачі сили.

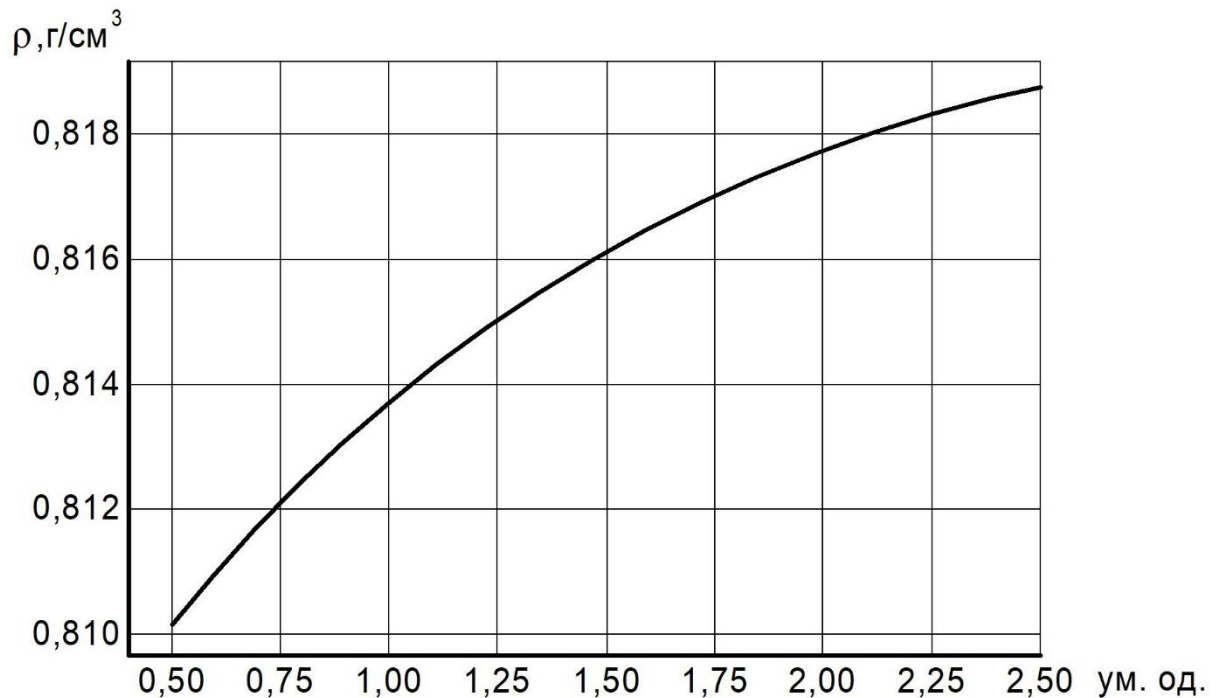


Рис. 4.5 Вплив кута розхилу конуса  $\alpha$  на тиск в зоні залягання насіння

В математичній моделі кут  $\alpha$  впливає на боковий і вертикальний компоненти сили через формули (3.10) і (3.11). Зі збільшенням  $\alpha$  вертикальна складова сили зростає, крутіший конус більше вертикального тиску тому ефективніше ущільнення на глибині. На графіку видно, що тиск поступово зростає.

Але після певного значення  $\alpha$  зростання стає неефективним. При надто великому  $\alpha$ : кут стає занадто різким; сила зосереджується у верхніх шарах; ґрунт «зсувається» вбік замість проникнення вглиб. Тому крива виходить на плато (насичення).

У середньому діапазоні  $\alpha$ : вертикальна складова достатньо велика, але тиск не концентрується лише на поверхні, передача сили в глибину (через  $b_k$ ) є

максимальною. Тому, кут конуса має визначати баланс вертикального і горизонтального тиску.

Висновки за результатами аналізу математичної моделі:

1. Розподіл тиску під поверхнею котка (графік 4.1) підтвердив, що максимальні напруження формуються у бокових конусних частинах, тоді як центральна гнучка зона практично не передає тиск у ґрунт. Така еюра напружень забезпечує відсутність перетрамбування ґрунту над насінням та створює сприятливі умови для проростання.

2. Тиск на глибині залягання насіння (графік 4.1) зберігає двовершинну форму з піками під боками, що свідчить про ефективну передачу сили в зону залягання насіння. Це забезпечує формування ущільнених бокових стінок борозни та капілярне підтягування вологи, що є ключовим чинником для рівномірних сходів зернових культур.

3. Розподіл щільності ґрунту на глибині залягання (графік 4.2) показав, що саме бокові секції забезпечують підвищення об'ємної маси ґрунту до оптимального діапазону  $0,83 - 0,85 \text{ г/см}^3$ , тоді як центр залишається розпушеним. Це формує стабільне середовище для насіння та запобігає утворенню поверхневої кірки.

4. Аналіз впливу ширини центральної частини  $b_c$  (графік 4.3) показує, що зменшення  $b_c$  підвищує тиск на глибині та покращує роботу бокових конусів. Оптимальним визначено діапазон  $b_c = 15 - 25 \text{ мм}$ , який забезпечує баланс між розподілом навантаження та збереженням пухкої центральної зони.

5. Дослідження впливу ширини бокових елементів  $b_k$  (графік 4.4) встановило, що найкращу передачу тиску на глибину забезпечує інтервал  $b_k = 12 - 18 \text{ мм}$ . Надто вузькі конуси дають локальний поверхневий тиск, а занадто широкі розсіюють силу і зменшують ефективність ущільнення.

6. Вплив кута конуса  $\alpha$  (графік 4.5) показав, що оптимальне ущільнення формується при середніх значеннях  $\alpha$ , які забезпечують максимальну вертикальну складову тиску без надмірної концентрації навантаження у

верхніх шарах. Надмірне збільшення  $\alpha$  призводить до поверхневого зсуву ґрунту та втрати ефективності.

## **5. Охорона праці**

Сівалка Astra 6 New, причіпний агрегат шириною захвату 6 метрів, оснащений складною системою дискових сошників, ланцюговими передачами та гідравлічною системою. Нехтування правилами безпеки може призвести до тяжких травм.

### **1. Організаційні вимоги та підготовка персоналу [27 - 34]:**

до роботи допускаються трактористи-машиністи, які мають посвідчення відповідної категорії, пройшли інструктаж з охорони праці та ознайомлені із заводською інструкцією саме до моделі Astra 6 New;

робочий одяг має бути щільно застебнутий, заборонено: розпашні куртки, звисаючі пояси (ризик намотування на карданні вали або ланцюгові приводи редукторів);

обов'язкові захисні рукавиці (від порізів та хімікатів), респіратори (захист від пилу протруєного насіння), закрите взуття на твердій підшві;

перед початком роботи тракторист і допоміжний персонал (якщо він залучений для завантаження) повинні домовитися про умовні сигнали (жести або звукові сигнали) для команд: «Стоп», «Увага», «Початок руху», «Глуши двигун».

### **2. Безпека при зчепленні (агрегатуванні) та транспортуванні [27 - 34]:**

етап з'єднання трактора (наприклад, МТЗ-82/892 або потужнішого, 80-110 к.с.) з сівалкою. Процедура під'їзду - трактор підїжає до сцепної петлі сівалки на найнижчій передачі. Помічник (зчіплювач) повинен стояти збоку від лінії руху, а не між трактором і сницею сівалки. Підходити до дишла можна тільки після повної зупинки трактора і сигналу водія;

при підключенні гідравлічних рукавів (РВТ) до виносних клапанів трактора двигун має бути заглушений, а тиск у гідросистемі скинутий (рукоятки розподільника в плаваючому положенні);

перевірити цілісність шлангів, заборонено шукати місця протікання масла пальцями (тонкий струмінь масла під тиском 160-200 атм працює як різак і проникає під шкіру, викликаючи гангрену), необхідно використовувати картонку;

підключити систему сигналізації (стопи, повороти) та перевірити її справність;

палець причіпного пристрою обов'язково шплінтується;

використання страхувального ланцюга - обов'язкове;

перед виїздом на дорогу сошники мають бути підняті та зафіксовані транспортними упорами (щоб уникнути падіння при відмові гідравліки);

маркери повинні бути підняті у вертикальне положення і механічно заблоковані штирями.

### **3. Заходи безпеки при завантаженні (насіння та добрива) [27 - 34]:**

насіння озимої пшениці обробляється фунгіцидами та інсектицидами. При завантаженні слід стояти з навітряного боку (вітер має дути в спину, відносячи пил від обличчя);

вдихання пилу протруйників викликає токсичне ураження легень - респіратор обов'язковий;

після роботи ретельно вимити руки та обличчя з милом перед їжею чи курінням;

підніжна дошка сівалки часто стає слизькою від пилу чи роси. Пересуватися по ній треба обережно, тримаючись за поручні (правило трьох точок опори);

заборонено застрибувати на підніжку або зістрибувати з неї під час руху; в бункерах знаходяться ворушилки (вали з лопатями). Категорично заборонено пхати руки в бункер або намагатися проштовхнути добрива, коли працює двигун трактора або коли сівалка рухається (привід йде від коліс).

### **4. Безпека безпосередньо при сівбі (в полі) [27 - 34]:**

перед початком руху тракторист повинен подати довгий звуковий сигнал; переконатися, що в радіусі 10-15 метрів немає людей;

маркери на Astra 6 New відкидаються різко і мають великий радіус дії. Удар диском маркера може бути смертельним, заборонено знаходитися в зоні дії маркерів під час їх опускання/піднімання;

під час роботи на сівалці (на підніжній дошці, рамі чи сходах) не повинно бути нікого. Раніше допускалася присутність сівача, на сучасних швидкісних агрегатах це суворо заборонено. Падіння під сошники або прикочуючі котки гарантує каліцтво;

розворот здійснювати тільки при піднятих сошниках. Якщо повертати із заглибленими сошниками, можлива поломка диска сошника, який може відлетіти як шрапнель;

заборонено рух заднім ходом із заглибленими сошниками (забиваються насіннепроводи).

#### **5. Технічне обслуговування, очищення та ремонт [27 - 34]:**

будь-які роботи (очищення сошників від бруду, заміна зрізних шпильок, регулювання норми висіву, натягування ланцюгів) проводяться тільки при - повній зупинці агрегату, заглушеному двигуні трактора, вимкненому валу відбору потужності (якщо використовується привід вентилятора/гідравліки);

якщо потрібно працювати під піднятими сошниками чи рамою, категорично заборонено покладатися лише на гідравліку трактора. Обов'язково встановити жорсткі металеві упори (козли) під раму або заблокувати штоки гідроциліндрів спеціальними скобами;

Astra 6 New має пружини тиску на сошники, вони знаходяться під великим натягом. При їх зніманні/заміні слід використовувати спеціальні знімачі та берегти обличчя від відскоку пружини;

усі ланцюгові передачі (привід від опорно-привідних коліс до редукторів і висівних апаратів) мають бути закриті захисними щитками, працювати зі знятими щитками заборонено.

#### **6. Пожежна безпека [27 - 34]:**

оскільки робота ведеться в полі з сухими пожнивними рештками (стерня, солома), трактор і сівалка мають бути укомплектовані справними вогнегасниками та іскрогасниками на вихлопній трубі трактора;

слідкуйте, щоб на обертові вали не намотувалася солома від тертя вона може спалахнути.

### **Висновки**

1. Під час виконання дослідження було здійснено ґрунтовний аналіз існуючих конструкцій прикочуючих котків зернових сівалок, в результаті чого з'ясовані ключові їх недоліки та визначено основні напрями їх удосконалення з метою підвищення ефективності посівного процесу.

2. В межах модернізації сівалки Astra 6 New було запропоновано новий комбінований прикочуючий коток з конічними робочими поверхнями оснащений шиною атмосферного тиску.

3. На основі розробленої математичної моделі встановлено, що розподіл тиску під робочою частиною котка є неоднорідним і визначається геометрією конструкції. Максимальні напруження виникають у зоні бокових конусів, тоді як центральна гнучка частина створює мінімальний тиск, що відповідає вимогам до прикочування зернових культур.

4. Побудовані графічні залежності підтвердили, що бокові конічні елементи забезпечують основне ущільнення ґрунту на глибині залягання насіння. Саме ці елементи формують підвищену щільність ґрунту та покращують капілярний підйом вологи до насінини, тоді як під центром тиск швидко затухає.

5. Доведено, що конструктивні параметри котка суттєво впливають на характер ущільнення. Зменшення ширини центральної частини ( $b_c$ ) та оптимізація ширини бокових елементів ( $b_k$ ) у межах 12 - 18 мм призводять до зростання напружень і щільності на цільовій глибині. Надмірне збільшення  $b_c$  або  $b_k$  погіршує передачу вертикального тиску. Аналіз впливу кута конічних частин показав наявність оптимального діапазону, у якому вертикальна

складова тиску максимальна. Занадто гострий конус спричиняє надлишкове поверхнєве ущільнення без достатньої передачі тиску вглиб, що знижує ефективність прикочування.

6. Встановлено, що подальше удосконалення конструкції котка можливе шляхом цілеспрямованої оптимізації параметрів  $b_c$ ,  $b_k$  та кута  $\alpha$ , що дозволить забезпечити максимальну щільність ґрунту саме на глибині залягання насіння. Отримані залежності створюють наукове підґрунтя для конструктивних змін та експериментальної перевірки.

7. Запропоновано комплекс заходів для покращення умов праці та мінімізації впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів під час виконання посівних робіт зерновими сівалками.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рослинництво: Підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко; За ред. О.І. Зінченка. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.
2. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.
3. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Озима пшениця // Рослинництво: Підручник. – К.: Аграрна освіта, 2001. – с. 183 – 210.
4. Животков Л.О., Бірюков С.В., Бабаянець Л.Т. та ін.. Озимі зернові культури. К.: Урожай, 1993. – 288 с.
5. Господаренко Г.М. Агрохімія: Підручник. К.: ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 376 с.
6. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України /за ред П.Т. Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. 2-е вид., доп. К.: ННЦ ІАЕ, 2008. 720 с.
7. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням /за ред. Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. Харків: ХНТУСГ. 2006. 725 с.
8. Петров П.В., Посполітак Т.Є., Юркевич Є.О. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: навч. посіб. К.: Аграрна освіта, 2009. 268 с.
9. Технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: монографія /Л.М. Тіщенко, С.І. Корнієнко, В.А. Дубровін та ін.: за ред. Л.М. Тіщенка /Харк. нац. техн. ун-т с.-г. ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – 273 с. – [https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/2015\\_tchkart.pdf](https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/2015_tchkart.pdf)
10. Проектування технологій та розрахунок витрат на вирощування сільськогосподарських культур. Навчальний посібник /за ред. Г.Є. Мазнева. Харків: «Майдан». 2009. 257 с.

11. Elvorti. Astra-6-new. URL: <https://elvorti.com/catalog/seyalka/astra-6-new.html?lang=ua>
12. Veles Agro SZM Nika 6. URL: [https://www.velesagro.com/products/mechanical\\_grain\\_seeders/2/](https://www.velesagro.com/products/mechanical_grain_seeders/2/)
13. Maschio Gaspardo Mega 600. URL: <https://agro-temp.com.ua/machinery/maschio-gaspardo-mega-600/>
14. Ozdoken Pertum S-600. URL: <https://ozdoken.com.tr/en-US/Product/Group/seeding-group/mechanical-grain-seed-drill-va/seed-drill-with-power-harrow-c>
15. Demetra (СЗД) 6. URL: <https://agrodим-center.com.ua/goods/sivalka-zernova-demetra-mini-szd-3000v/>
16. Great Plains 2025F (6m). URL: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/11849/bd7600>
17. John Deere, зернова сівалка прямого посіву моделі 1590. URL: <https://www.deere.ua/uk/%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B2/>
18. Amazone. Seed drill D9 6000-TC "Combi". URL: [https://amazone.co.uk/en-gb/products-digital-solutions/agricultural-technology/seeding/conventional-seed-drills/d9-6000-tc-trailed-seed-drill-99378?\\_gl=1\\*\\_glqiem\\*\\_ga\\*MTc2Mzk4MjAwOC4xNzE2NjE0MDcy\\*\\_ga\\_W7Z1C227BJ\\*MTcxNjYxNDExOS4xLjEuMTcxNjYxNDI3MC42MC4wLjA](https://amazone.co.uk/en-gb/products-digital-solutions/agricultural-technology/seeding/conventional-seed-drills/d9-6000-tc-trailed-seed-drill-99378?_gl=1*_glqiem*_ga*MTc2Mzk4MjAwOC4xNzE2NjE0MDcy*_ga_W7Z1C227BJ*MTcxNjYxNDExOS4xLjEuMTcxNjYxNDI3MC42MC4wLjA)
19. Артеменко Д.Ю. Теоретичне дослідження процесу взаємодії конусного котка просапної сівалки з ґрунтом. Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал / В. С. Шибанін (гол. ред.) та ін. – Миколаїв, 2012. Вип. 1 (65). – С. 171 – 177.
20. Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А. Обґрунтування робочої поверхні конусного прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise» №5/2(34)2017 – С. 18-22.
21. Артеменко Д.Ю. Прикочувальні котки сівалок: конструкційні переваги, недоліки та перспективи розвитку. Пропозиція. Машина та обладнання: (257) 1/17, С. 54 - 58

22. Артеменко Д.Ю., Магопець О.С., Ауліна Т.М., Семенова Д.А. Результати експериментальних досліджень розподілу полів деформацій в ґрунті від дії прикочуючих котків бурякових сівалок. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2007, випуск 37, 1 – С. 286 – 290.
23. Основи лінійної теорії пружності, пластичності та повзучості: Навч. посібник / Е.Д. Чихладзе, М.А. Веревічева, Є.І. Галагура та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 149 с.
24. Максимович В.М., Коцюба А.Ю., Лавренчук С.В. Плоскі контактні задачі теорії пружності для тіл складної форми. Монографія. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – 98 с.
25. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / Л.М. Шутенко, О.Г. Рудь, О.В. Кічаєва та ін.; за ред. Л.М. Шутенка; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. - 563 с.
26. Кушнар'єв А.С. Механіко – технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'єв, В.І. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
27. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003. – 408с.
28. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту. [http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu\\_7239\\_2011.pdf](http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf)
29. ДСТУ 2867-94. Державний стандарт України. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. [https://ksv.do.am/GOST/DSTY\\_ALL/DSTY3/dsty\\_2867-94.pdf](https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2867-94.pdf)
30. СП 4282-87. Санітарні правила по устрою тракторів та сільськогосподарських машин. [https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F\\_4282-87](https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F_4282-87)

31. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.

32. ГОСТ 25942-90. Трактори і сільськогосподарські машини. Пристрої швидковідєднуючі. Вимоги до конструкції.  
[http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015\\_2.HTM](http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015_2.HTM)

33. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

34. Єрмаков О.Ю. Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.