

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

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 столових буряків з обґрунтуванням конструкції і параметрів робочих органів просапної сівалки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи АІ-24М-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Довгиш Іван Олегович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Дмитро АРТЕМЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Станіслав КАТЕРИНИЧ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький



## **Анотація**

У роботі розглянуто актуальне питання удосконалення технічних засобів для механізації вирощування просапних культур, зокрема буряків столових. Особливу увагу приділено процесу сівби, оскільки він визначає рівномірність появи сходів і подальший розвиток рослин, а оновлення конструкції загортачів є важливим напрямом підвищення ефективності посівного процесу. Здійснено аналіз існуючих конструкцій загортаючих робочих органів та визначено їх основні недоліки, застосовано нові підходи до конструювання елементів просапної сівалки. Запропоновано та теоретично досліджено удосконалену конструкцію загортачів просапної сівалки та визначено, що модернізовані загортачі забезпечують краще виконання технологічного процесу, що сприяє збереженню вологи та покращує умови проростання.

**просапна сівалка, буряки столові, загортачі, посів**

## **Abstract**

The study addresses the relevant issue of improving technical means for the mechanization of cultivating row crops, particularly table beets. Special attention is given to the sowing process, as it determines the uniformity of seedling emergence and the subsequent development of plants, while updating the design of covering devices is an important direction for increasing the efficiency of the sowing process. An analysis of existing designs of covering working bodies was carried out and their main drawbacks were identified, with new approaches applied to designing elements of the row-crop seeder. An improved design of the covering devices of the row-crop seeder was proposed and theoretically investigated, and it was determined that the modernized covering devices ensure better performance of the technological process, help retain moisture, and improve germination conditions.

**row-crop seeder, table beets, covering devices, sowing**

## Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень .....	6
3. Наукова частина.....	20
4. Практична реалізація результатів досліджень.....	40
5. Охорона праці.....	45
Висновки.....	47
Список використаної літератури.....	48
Додатки	

## 1. Вступ

Одним із важливих напрямів розвитку вітчизняного агропромислового комплексу є впровадження сучасних технічних засобів для механізації процесів вирощування просапних культур, зокрема буряків столових. Ця культура відіграє значну роль у забезпеченні населення продуктами харчування та є цінною сировиною для переробної галузі. Рівень урожайності та якісні показники продукції значною мірою визначаються точністю виконання агротехнічних операцій, серед яких сівба є однією з ключових.

Результати посіву впливають на рівномірність появи сходів, подальший розвиток рослин і, в кінцевому, на врожай. На якість сівби суттєво впливає конструктивне виконання сівалки та ефективність роботи її основних елементів. У сільськогосподарському виробництві для посіву буряків столових переважно застосовують просапні сівалки, проте їх типове конструктивне рішення не завжди дає можливість повністю дотриматися спеціальних агротехнічних вимог, характерних для цієї культури. Тому виникає потреба в удосконаленні окремих елементів робочих органів.

Особлива увага приділяється конструкціям загортальних систем, оскільки саме вони відповідають за формування сприятливих умов для швидкого проростання насіння. Тому, їх модернізація сприятиме поліпшенню структури ґрунту в зоні посіву, збереженню вологи, забезпеченню дружних сходів і, відповідно, підвищенню результативності посівного процесу.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є аналіз технологічних особливостей вирощування буряків столових та обґрунтування необхідних конструктивних змін у робочих органах просапної сівалки для підвищення якості виконання процесу загортання насіння і забезпечення сприятливих умов для його стрімкого росту.

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

### **2.1 Особливості вирощування буряків столових**

Буряки столові (*Beta vulgaris* L.) належать до дворічних рослин родини амарантових. У перший рік вегетації вони утворюють м'ясистий коренеплід і розетку прикореневих листків, а на другий, квітконосне стебло і насіння. Коренеплоди застосовують як у свіжому вигляді, так і для тривалого зберігання чи промислової переробки. Ця овочева культура є однією з найпоширеніших завдяки високій поживній цінності, яка зумовлена значним вмістом цукрів, мінералів, вітамінів і органічних кислот. Для нормального розвитку буряків необхідний довгий період вегетації в середньому 100 - 130 днів, тому його зазвичай вирощують у відкритому ґрунті з ранньовесняним висівом [1 - 5].

Буряки столові належать до теплолюбних культур. Їх насіння починає проростати за температури близько  $+5...+6$  °С, проте найкраще цей процес відбувається при  $+20...+25$  °С. Молоді рослини здатні короткочасно витримувати заморозки до  $-2...-3$  °С, але затяжне похолодання пригнічує їх розвиток і сповільнює ріст. Найоптимальнішими умовами для утворення якісного коренеплоду вважається температура повітря  $+20...+22$  °С. Перегрів понад  $+30$  °С у поєднанні з браком вологи призводить до зниження врожайності та погіршення харчових властивостей [3 - 6].

Буряки належать до рослин, що потребують багато сонячного світла і добре ростуть за умов довгого дня. Недостатнє освітлення, особливо під час формування листової розетки, призводить до витягування пагонів, ослаблення фотосинтезу та появи дрібних або викривлених коренеплодів. При нестачі світла зменшується накопичення цукрів у тканинах рослини. Щоб отримати повноцінний урожай, посіви необхідно розміщувати на відкритих, добре освітлених ділянках протягом усього періоду вегетації [3 - 6].

Найкраще буряки ростуть на родючих, структурних землях із нейтральною або слабкокислою реакцією ґрунту (рН 6,5 - 7,0). Оптимальними вважаються середні та легкі суглинки, супіщані ґрунти, чорноземи і осушені торфовища багаті гумусом. Культура погано переносить надлишкове

зволоження, адже застій води спричиняє гниття коренеплодів. Глинисті або кислі ґрунти для вирощування непридатні. Перед сівбою обов'язково слід внести органічні та мінеральні добрива, провести глибоку осінню оранку і забезпечити ретельну передпосівну підготовку [7 -11].

Найдоцільніше висівати буряки після культур, що рано звільняють поле, не виснажують ґрунт і не сприяють накопиченню шкідників чи бур'янів. До таких належать озимі та ярі зернові (ячмінь, пшениця), зернобобові (квасоля, горох), цибуля, огірки, рання капуста, картопля. Не варто садити буряк після інших коренеплідних культур: моркви, пастернаку, селери або самих буряків, оскільки існує ризик поширення спільних хвороб, зокрема церкоспорозу, та виснаження поживних запасів ґрунту. Повертати культуру на попереднє місце бажано не раніше ніж через 3 - 4 роки [7 -11].

Метою ґрунтового обробітку перед сівбою буряків є створення пухкої, рівномірно зволоженого та родючого орного шару. Після збору попередника проводять лущення стерні на 6 - 8 см, а потім орють на глибину 25 - 30 см (на важких ґрунтах до 32 см). Навесні, коли ґрунт підсихає, здійснюють боронування для збереження вологи. Передпосівна підготовка включає культивуацію або фрезерування на глибину загортання насіння (2 - 3 см), вирівнювання поверхні поля і прикочування котками, що забезпечує однакову глибину висіву. Для успішного формування коренеплодів дуже важливо створити дрібногрудкувату структуру ґрунту, адже ця культура формує корінь лише в добре розпушеному шарі [7 - 11].

Сівбу столових буряків проводять у відкритому ґрунті, коли температура на глибині 5 - 6 см піднімається до +6...+8 °С і вище. Найкращим часом для посіву вважається період із кінця квітня до початку травня. Занадто ранній висів може спричинити підмерзання сходів, тоді як пізній, призводить до втрати врожайності. Норма висіву визначається фракцією насіння та способом сівби, але зазвичай становить 8 - 10 кг/га. Насіння загортають на глибину 2 - 3 см, а на легких ґрунтах до 4 см. Сівбу здійснюють рядковим способом (з міжряддями 45 см) або стрічковим: по 2 - 4 рядки з відстанню між ними 20 см

у стрічці і 50 см між окремими стрічками. Використання сівалок точного висіву і попередньо каліброваного насіння дозволяє зменшити густоту до 200 - 300 тис. рослин/га. Для забезпечення рівномірного висіву застосовують овочеві та просапні сівалки, обладнані механізмами розділення насіння, що попереджають загушення рядків і зменшують обсяг ручного проріджування. Після посіву проводять коткування, яке сприяє щільному контакту насіння з вологим ґрунтом і прискорює появу сходів [7 - 11].

Столові буряки належать до культур, що мають підвищені вимоги до живлення, тому правильне і збалансоване внесення добрив є основою високих урожаїв і доброї якості продукції. Важливу роль відіграє не тільки кількість добрив, а і поєднання органічних і мінеральних форм, а також своєчасність їх внесення. Органічні добрива (гній, перегній, компост) вносять зазвичай восени під основний обробіток ґрунту у нормі 30 - 40 т/га. Використання свіжого гною безпосередньо перед сівбою не рекомендується, оскільки він може викликати деформацію коренеплодів і надмірне накопичення нітратів.

Мінеральні добрива застосовують як доповнення до органічних або самостійно на полях, де органіку не додають. Основними елементами живлення є азот (N), фосфор (P), калій (K), а з мікроелементів найбільш важливі бор (B), магній (Mg), марганець (Mn) та молібден (Mo). Орієнтовні норми внесення такі: азот 60 - 90 кг/га діючої речовини (із них дві третини перед сівбою і одну третину у фазі 4 - 6 листків); фосфор 60 - 80 кг/га (вносять під основний обробіток); калій 90 - 120 кг/га (восени або навесні перед посівом). Фосфор і калій необхідні для формування коренеплоду та підвищення цукристості, тоді як азот стимулює розвиток листової маси. Надмірне азотне живлення спричиняє тріскання коренів і накопичення нітратів, тому його потрібно контролювати. Азотне підживлення рекомендується здійснювати у фазі 4 - 6 листків, тоді як фосфорно-калійні добрива вносять перед початком наростання коренеплоду або за ознак нестачі цих елементів. Підживлення проводять міжрядним способом, уникаючи прямого контакту гранул із коренями. Раціональна система живлення забезпечує формування вирівняних, щільних,

соковитих і солодких коренеплодів, підвищуючи як врожайність, так і товарну якість продукції [9 - 11].

Боротьба з бур'янами під час вирощування буряків столових [9 - 11]:

дотримання сівозмін сприяє зменшенню засміченості посівів, тому буряки варто висівати після чистих культур, таких як капуста, огірки чи бобові. Раннє весняне боронування до сівби стимулює появу бур'янів, які потім знищують під час передпосівного обробітку. Передпосівна культивування з прикочуванням дозволяє знищити перші сходи бур'янів і створити рівномірний посівний шар. Після появи сходів буряків проводять 2 - 3 міжрядні культивування, що забезпечує ефективне знищення бур'янів у міжряддях;

у фазі «вилочки» ефективною є присипка сходів або легке боронування впоперек рядків, яке знищує молоді проростки бур'янів. На невеликих ділянках та в органічному землеробстві застосовують ручне прополювання, яке проводять 1 - 2 рази до змикання листків у міжряддях;

гербіциди забезпечують надійний контроль бур'янів, особливо при великій кількості злакових чи багаторічних видів. Залежно від фази розвитку культури препарати поділяються на ґрунтові та страхові. До сходів буряків застосовують метамітрон, етофумезат, тріфлусульфурон-метил, які вносять після сівби. Вони пригнічують однорічні бур'яни на тривалий період. Після появи сходів використовують страхові гербіциди - фенмедіфам, десмедіфам, етофумезат у бакових сумішах. Вони ефективно діють проти дводольних і частково злакових бур'янів. Для контролю злакових бур'янів додатково застосовують грамініциди (клетодим, хізалопф-П-етил), особливо при засміченні пирієм;

в умовах органічного виробництва використовують біопрепарати на основі корисних мікроорганізмів або покривні культури, що затіняють поверхню ґрунту та стримують проростання бур'янів.

Боротьба зі шкідниками та хворобами столових буряків [10 - 12].

Основні шкідники: бурякова блішка (пошкоджує молоді листки, утворюючи дрібні отвори, що призводить до в'янення сходів); буряковий

довгоносик (пошкоджує листя та коріння, личинки особливо шкодочинні); підгризаючі совки (гусениці пошкоджують листя біля основи стебла, від чого рослини гинуть); мінуюча муха (личинки прогризають ходи в листках, знижуючи фотосинтез і затримуючи ріст); попелиці (висмоктують сік, викликають скручування листків і поширюють вірусні хвороби).

Основні хвороби: церкоспороз (грибкова хвороба, що проявляється бурими плямами з червоною облямівкою); коренеїд (комплекс захворювань сходів, викликає загнивання проростків); фомоз (чорна гниль, яка уражує листя і корені, спричиняючи сухі гнилі); борошниста роса (утворює білий наліт на листках, знижує фотосинтез і прискорює старіння); інфекційна гниль коренеплодів (проявляється під час зберігання).

Заходи боротьби: агротехнічні - дотримання сівозміни (повернення культури на поле не частіше ніж раз на 3 - 4 роки), знищення решток і бур'янів, глибока оранка, використання якісного насіння; хімічні - протруєння насіння фунгіцидами (тірам, карбоксин) для запобігання коренеїду, обприскування інсектицидами (дельтаметрин, імідаклопрід), застосування фунгіцидів (хлорокис міді, манкоцеб, тіофанат-метил) при перших ознаках церкоспорозу чи фомозу; біологічні - використання препаратів Триходермін, Планриз, Бактофіт для профілактики хвороб, а також ентомофагів, зокрема трихограми, або біоінсектицидів Лепідоцид проти шкідників.

Збирання врожаю буряків столових. завершальний етап технології вирощування, визначає якість та збереженість продукції. Грамотно організоване збирання допомагає уникнути травмування коренеплодів і підготувати їх до тривалого зберігання. Терміни збирання залежать від сорту, кліматичних умов і призначення продукції. Найчастіше його проводять у серпні - вересні, коли листя починає жовтіти, а коренеплоди набувають характерної форми та розміру. Затримка зі збиранням призводить до переростання та втрати смаку, тоді як надто раннє, до зменшення маси.

## **2.2 Технологічна карта вирощування столових буряків [5 -7, 10 - 12]:**

1. Лущення стерні виконують трактором New Holland TD5.110 із луцильником ЛДГ-10 у період із 10 по 12 березня. Глибина обробітку в межах 1 - 2 см від нормативу, поле має бути очищене від бур'янів і вирівняне.

2. Для підготовки мінеральних добрив використовують трактор New Holland TD5.90 з навантажувачем ПФП-1,2. Етап триває один день. Добрива вносять у три етапи: основне восени, стартове під час посіву та підживлення у період вегетації. Глибина загортання: 15 - 30 см, 4 - 6 см і 12 - 14 см відповідно.

3. Внесення мінеральних добрив проводять протягом двох днів за допомогою трактора New Holland TD5.90 і розкидача МВУ-0,5. Під основний обробіток восени вносять до 90% добрив: N140 - 170, P140 - 170, K160 - 190. У сівозмінах із багаторічними травами норму азоту зменшують на 30 кг/га. При сівбі додають N10, P15 - 20, K10, підживлення N90, P30, K30.

4. Для підготовки органічних добрив використовують трактор МТЗ-82 з навантажувачем ПФП-1,2 (один день).

5. Внесення органічних добрив здійснюють 12 - 14 березня за допомогою трактора МТЗ-82 і розкидача РОУ-6 у кількості 30 - 40 т/га.

6. Оранку проводять тракторами New Holland TD5.110 з плугом ПЛН 5 - 35, після чого виконують весняне рихлення на глибину 2,5 - 3 см і вирівнювання поля. Передпосівна підготовка включає боротьбу з бур'янами, внесення гербіцидів і створення посівного шару.

7. Культивуацію здійснюють трактором New Holland TD5.90 з культиватором КПС-4 у період 19 - 22 березня. Рекомендується проводити її відразу після весняного рихлення. Посів виконують при температурі ґрунту 5 - 6 °С на глибині 10 см, використовуючи пунктирний спосіб із міжряддями 45 см.

8. Сівбу проводять трактором New Holland TD5.90 і сівалкою Vesta 12. Відхилення глибини посіву не перевищує  $\pm 0,5$  см.

9. Перше міжрядне розпушування 21 квітня - 5 травня культиватором КРН-5.6.

10. Другу культивуацію виконують 29 травня - 10 червня. До моменту збору густина стояння має становити: 115–120 тис./га у вологих районах, 110–115 тис./га при нестійному зволоженні, 100–105 тис./га у посушливих умовах. За 10 - 15 днів до збору проводять глибоке розпушування ґрунту (10 - 12 см).

11. Збирання здійснюють комбайном KRBS (Holmer) у фазі технічної стиглості, коли маса і поживність коренеплодів максимальні, а сік має найбільшу чистоту.

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

Vesta 12 (рис. 2.1) - це професійна пневматична сівалка точного висіву, призначена для пунктирного (точного) висіву насіння просапних культур.



Рис. 2.1 Сівалка просапна пневматична Vesta 12

Вона розроблена для роботи за традиційною технологією обробітку ґрунту. Основне її призначення, це висів каліброваного насіння (буряків (цукрового, кормового столового), сорго, сої, рицини) з одночасним, окремо від насіння, внесенням гранульованих мінеральних добрив та прикочуванням ґрунту в рядках. Ключовою особливістю сівалок Vesta є вакуумна система

дозування насіння, яка забезпечує високу точність розподілу та мінімізує травмування посівного матеріалу. Модель "12" вказує на кількість висівних секцій, тобто 12 рядків. Через свою ширину (5,4 м) та вагу, Vesta 12 найчастіше випускається у причіпному виконанні, що знижує вимоги до вантажопідйомності навіски трактора [13].

Таблиця 2.1

**Технічні характеристики (Vesta 12) [13]:**

<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
Тип сівалки	Причіпна (або напівнавісна), пневматична
Кількість рядків	12
Робоча ширина	5,4 м
Міжряддя	45 см
Тип сошника	наральниковий
Робоча швидкість	6 - 10 км/год
Продуктивність (основна)	4,0 – 7,4 га/год
Норма висіву насіння	2 - 58 шт/м.п.
Норма внесення добрив	50 - 250 кг/га
Глибина загортання насіння	20 - 60 мм
Тиск на сошник	80 - 120 кг (регульований)
Необхідна потужність трактора	від 80 к.с.
Маса (орієнтовна)	4100 кг

Секція робочих органів (або посівна секція) - це основний елемент сівалки точного висіву. Саме вона відповідає за правильне відкриття борозни, дозування, укладання насіння та його закриття. Конструкція секції Vesta 12 (рис. 2.2) є класичною для сучасних просапних сівалок. Кожна секція кріпиться до рами через паралелограмний механізм. Це дозволяє секції точно копіювати рельєф ґрунту незалежно від інших секцій та рами сівалки. Це критично важливо для підтримки стабільної глибини висіву. За копіювання рельєфу та проникнення сошника в ґрунт відповідає пружинний механізм (який є регульованим). Він створює тиск, який утримує секцію в контакті з ґрунтом навіть на високих швидкостях або в умовах щільного ґрунту.

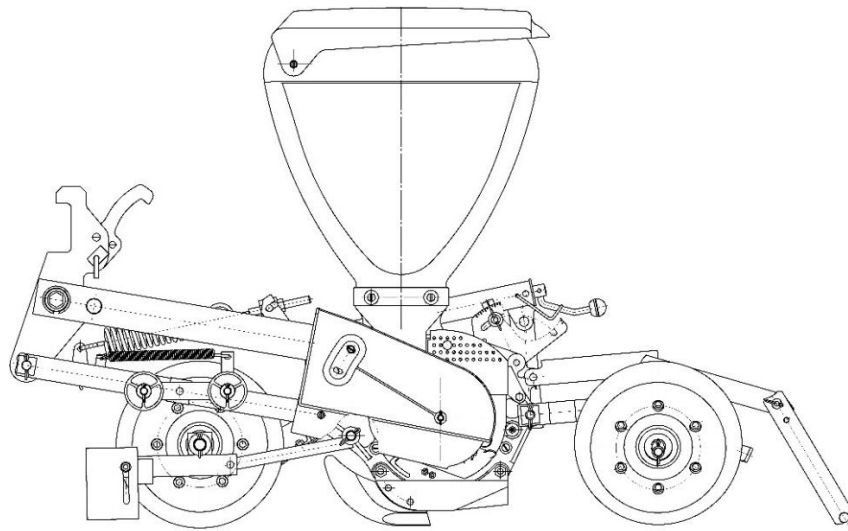


Рис. 2.2 Секція сівалки Vesta 12

Наральниковий насінневий сошник - це основний робочий орган для формування посівного ложа. Він складається із наральника із тупим кутом входження в ґрунт і щік. Така конструкція добре працює в умовах гарно підготовленого ґрунту і використовується для посіву більшості просапних культур. Такий сошник готує добре ущільнене дно борозни і сприяє рівномірному розміщенню насіння в ній.

Колеса контролю глибини (передній і задній коток) оснащені шинами атмосферного тиску, їх функція через механізм регулювання не давати сошнику заглибитись більше, ніж на задану величину.

Висівний апарат пневматичний вакуумний, всередині якого обертається вертикальний висівний диск з отворами. За рахунок зміни дисків можна регулювати норму висіву культури, що висівається. Коли диск проходить над точкою скидання (де вакуум, що тримається в апараті переривається), насінина під дією сили тяжіння падає точно в борозну.

V-подібний прикочуючий коток який йде позаду точки падіння насіння, закриває борозну, згортаючи ґрунт з боків від насінини, та ущільнюють ґрунт навколо неї. Це забезпечує капілярний ефект (підтягування вологи) та надійний контакт насіння з ґрунтом для швидкого проростання. Після котка можуть додатково встановлюватись загортачі або шлейфи.

## 2.2 Порівняльний аналіз сівалок для посіву буряків столових

Для порівняльного аналізу сівалки Vesta 12 виробництва Elvorti з провідними моделями закордонних виробників, які часто використовуються для посіву столових буряків було обрано п'ять зразків [14 - 18]: Kverneland Monopill e-drive II (механічна, універсальна); Maschio Gaspardo Orietta (пневматична, овочева); Monosem MS (пневматична, спеціалізована овочева); Mater Macc MS 8230 (пневматична, універсальна); Sfoggia Sigma 5 (пневматична, універсальна).

Порівняльні характеристики обраних сівалок наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

### Порівняльні характеристики сівалок

Характеристики	Vesta 12 (Elvorti)	Kverneland Monopill e-drive II	Maschio Gaspardo Orietta	Monosem MS	Sfoggia Sigma 5	Mater Macc MS 8230
Тип висіву	Пневматичний (Вакуумний)	Механічний (Точний)	Пневматичний (Вакуумний)	Пневматичний (Вакуумний)	Пневматичний (Вакуумний)	Пневматичний (Вакуумний)
Тип сошника	наральниковий	Анкерний (Полозовидний)	Анкерний (або дисковий опція)	Анкерний	Двотисковий	Двотисковий
Мінімальне міжряддя	45 см	45 см	від 14 см	від 14 см	45 см	45 см
Робоча швидкість	до 8-10 км/год	до 9 км/год	5-8 км/год	5-7 км/год	до 12 км/год	8-10 км/год
Вимоги до ґрунту	Традиційна	Тільки ідеально підготовлений ґрунт	Підготовлений ґрунт	Підготовлений ґрунт	Mini-Till / традиційна	Mini-Till / традиційна
Призначення	Універсальна (кукурудза, соняшник, буряк)	Вузкоспеціалізована (буряк, ріпак)	Овочева (дрібнонаасіннева)	Овочева (дрібнонаасіннева)	Універсальна	Універсальна
Об'єм бункера (насіння)	~300 л (12x25л)	~420 л (12x35л)	Залежить від компл.	~18-20 л на секцію	~30-50 л на секцію	~35-50 л на секцію
Внесення добрив	Так (в базі)	Опція	Опція	Опція	Так	Так

Kverneland Monopill (рис. 2.3), використовує механічний висівний апарат. Насіння фізично захоплюється чарунками диска, що обертається. Це забезпечує нульову швидкість падіння насіння (насіння котиться по ґрунту, а не падає), що гарантує ідеальну розкладку. Однак, вона працює тільки з дражованим (каліброваним) насінням ідеальної форми і боїться рослинних решток (анкерний сошник може забиватися).



Рис. 2.3 Kverneland Monopill

У порівнянні з Kverneland Monopill, Vesta 12 пневматична, менш вибаглива до форми насіння. Наральниковий сошник дозволяє сіяти в менш підготовлений ґрунт з незначною кількістю пожнивних решток.

Якщо порівнювати просапну сівалку Vesta 12 і овочеві сівалки Monosem MS та Gaspardo Orietta, що пропонують Італійські виробники. То можна бачити, що ці моделі (серії MS та Orietta) створені спеціально для дрібнонасінневих овочевих культур. Їхні висівні секції легші, мають спеціальні системи (наприклад, переднє колесо контролю глибини прямо біля сошника) для дуже точної глибини загортання (наприклад, 2-3 см). Вони можуть робити дуже вузькі міжряддя або дворядковий висів.



Рис. 2.4 Овочева сівалка Monosem MS



Рис. 2.5 Овочева сівалка Gaspardo Orietta

Vesta 12 універсальна машина, адаптована під буряк. Вона добре впорається з висівом буряка на 45 см, але її секція важча і розрахована на глибший висів та більший тиск, що дає можливість висівати насіння різних буряків в всьому діапазоні ґрунтових умов.

Близькі за класом Vesta 12, Sfoggia Sigma 5 (рис. 2.6), MaterMass MS 8230 (рис. 2.7) показують, що Італійські сівалки (Sfoggia/MaterMass) конструктивно

дуже схожі (пневматичний висівний апарат, двох дисковий сошник, універсальність, можливість працювати на засмічених ґрунтах). Головна перевага італійських виробників це якість матеріалів (сталь, пластик), більш досконалі вакуумні ущільнювачі та наявність систем швидкої зміни міжряддя (як Easy-Set у MaterMass), що дозволяє за 10 хвилин переобладнати сівалку з 45 см (буряки) на 70 см (кукурудза).



Рис. 2.6 Просапна сівалка Sfoggia Sigma 5

Переналаштування міжрядь у Vesta 12 займає значно більше часу (механічне переміщення секцій, стаціонарні кріплення, допоміжний інструмент). Проте Vesta 12 значно дешевша в обслуговуванні та ремонті, а також забезпечує великий спектр культур, що висіваються. Простота конструкції, раціональної форми наральниковий сошник та вакуумний висівний апарат це ключові переваги вітчизняного виробника.



Рис. 2.7 Просапна сівалка MaterMass MS 8230

Стосовно конструкції сошників можна сказати, що якщо поле підготовлене неідеально, є грудки або рештки стерні то найкращим вибором буде дводисковий сошник але сівалки із такими сошниками будуть дорожчі. Якщо поле ідеально вирівняне то анкерний або наральниковий сошник забезпечать більш якісну борозну і умови проростання насіння. Тому обрана для модернізації сівалка вітчизняного виробника є актуальною, а забезпечення оптимальних умов загортання насіння правильним напрямком. Вітчизняна сівалка може забезпечити якісний посів просапних культур, зокрема буряків столових, при цьому експлуатаційні витрати будуть меншими ніж на закордоні аналоги.

### 3. Наукова частина

**Актуальність теми.** Процес загортання насіння є одним із визначальних етапів сівби, від якого значною мірою залежить врожайність та ефективність сільськогосподарського виробництва загалом. Застосування загортачів у складі просапних сівалок дає змогу створити оптимальні умови для проростання насіння, підтримуючи необхідний рівень вологості та відповідну структуру ґрунту. Це має особливе значення для більшості просапних культур, для яких рівномірне укладання насіння та збереження вологи в зоні його залягання є вирішальними для формування дружніх і рівномірних сходів. Тому, належна робота загортачів є важливою складовою посівного процесу, що безпосередньо впливає на якість продукції та її урожайність. Правильний підбір конструкції загортача, його точне налаштування та дотримання агротехнічних вимог під час висіву сприяють зменшенню витрат на вирощування культури та підвищують її продуктивність. Тому формування якісного технологічного процесу загортання насіння із використанням універсальних загортальних систем є актуальним і має практичне значення для підвищення досконалості просапних сівалок.

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

Для досягнення мети поставлено наступні **задачі:**

провести аналіз технології посіву буряків столових та конструкцій секцій сівалок для їх висіву, визначити недоліки та обґрунтувати напрями їх усунення;

дослідити процес роботи запропонованого загортача удосконаленої конструкції просапної сівалки, обґрунтувати його конструктивні особливості та визначити їх вплив на технологічний процес загортання насіння.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес роботи загортача просапної сівалки та його робочих елементів.

**Предмет дослідження:** конструктивно-технологічні параметри загортача просапної сівалки та технологічні властивості ґрунту, які впливають на їх роботу.

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

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

досліджено вплив геометрії елементів загортача просапної сівалки на зміну його тягового опору під час загортання насіння та встановлено, як конструктивні особливості елементів загортача впливають на якість виконання технологічного процесу;

аналітичним шляхом визначені раціональні параметри елементів загортача просапної сівалки, які сприяють покращенню якості розміщення насіння на дні борозни та підвищенню ефективності виконання процесу посіву насіння буряків столових в цілому.

### **3.1 Аналіз конструкцій загортальних систем які використовуються на просапних сівалках**

Сучасні загортачі насіння просапних культур представлені у вигляді різних конструктивних рішень, тому доцільно розглянути принципи роботи наявних елементів, які застосовуються сьогодні на посівних машинах. Вже починаючи з сошників просапних сівалок передбачено встановлення стандартних або подовжених щік, що перешкоджають передчасному засипанню борозни до моменту падіння насіння. Ці елементи утримують ґрунт по боках і дають можливість забезпечити точне його укладання на дно борозни. Для покращення рівномірності розподілу насіння та створення сприятливих умов для появи сходів на щоках сошників інколи виконують додаткові загортальні елементи [19]. Прикладом такого рішення є серійний сошник сівалки Vesta 12 [13], в задній частині якого передбачені спеціальні зрушувачі, вигнуті назовні від порожнини борозни (рис. 3.1). Під час руху сошника ці

елементи захоплюють нижні, більш вологі шари ґрунту та переміщують їх на насіння яке знаходиться на дні борозни, створюючи оптимальні умови для його швидкого і дружного проростання.



Рис. 3.1 Сошник із зрушувачами на щоках секції Vesta 12

Головним недоліком сошників, оснащених такими зрушувачами, є те, що вони не можуть ефективно працювати за умов підвищеної вологості ґрунту. Через налипання ґрунту їх робота порушується, що негативно впливає на рівномірність висіву.

В ситуаціях, коли сівба проводиться на ділянках із недостатньою кількістю вологи або навпаки, за умов запливаючих, важких ґрунтів, доцільним є застосування борозного котка. Такий елемент конструкції входить до складу багатьох секцій просапних сівалок, переважно імпортного виробництва [20] (рис. 3.2).

Такий коток забезпечує притискання насіння до дна сформованої борозни відразу після його висіву. Це покращує контакт насінини з вологим шаром ґрунту та сприяє формуванню більш щільного ґрунтового середовища навколо неї. Борозенні котки можуть виготовлятися у вигляді гладких металевих елементів або оснащуватися шиною атмосферного тиску плоскою чи радіальною. Основними недоліками таких котків є налипання частинок ґрунту та прилипання насіння до їх поверхні, а також схильність до забивання за умов підвищеної вологості.



Рис. 3.2 Секція Kverneland Miniair Nova

Важливе конструктивне значення має зона між сошником та заднім прикочуючим котком, саме в цьому місці зазвичай монтують загортачі. Їх призначення полягає в укрітті борозни пухким ґрунтом і запобіганні утворенню ґрунтової кірки. Загортачі можуть мати пластинчасту, пружинну, пруткову, дискову або коткову конструкцію.

Пластинчасті загортачі виготовляються у вигляді плоских або криволінійних полиць, встановлених з обох боків борозни під певним кутом до напрямку руху агрегату. Під час роботи вони переміщують верхній, розпушений шар ґрунту (до 3 см) у центр рядка, забезпечуючи якісне загортання насіння. Залежно від конструкції такі загортачі можуть бути регульованими або нерегульованими [14,21] (рис. 3.3).



1

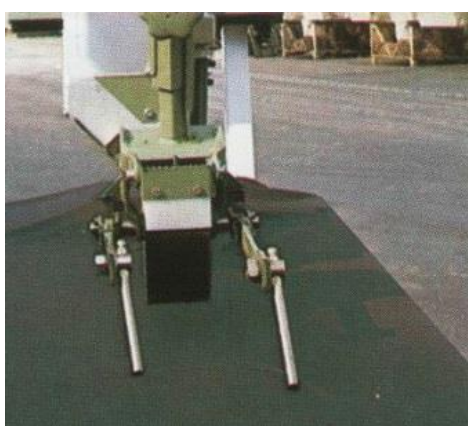


2

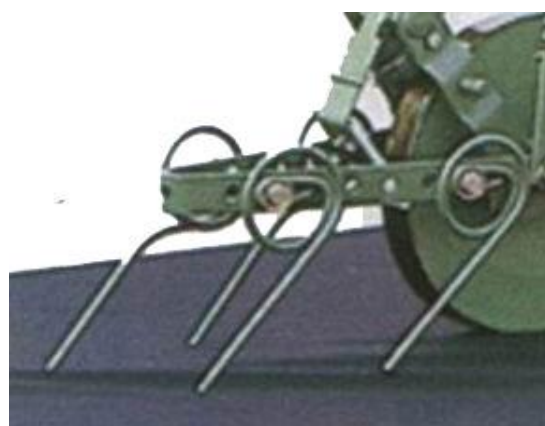
Рис. 3.3 Пластинчасті загортачі:

1 - пружинні, 2 - криволінійні

В практиці іноземних виробників застосовують два основних різновиди пруткових загортачів (рис. 3.4), регульовані та нерегульовані, які можуть мати як прямі, так і криволінійні прутки та працюють за принципом пружинної дії [14,16]. Регульовані моделі призначені для роботи на різній глибині та оснащуються елементами у вигляді прямих або вигнутих прутків. Нерегульовані загортачі пружинного типу забезпечують переміщення вологих нижніх шарів ґрунту під поверхнею та можуть виконуватися як з прямими, так і з поперечно загнутими прутками.



1



2

Рис. 3.4 Загортачі пруткові:

1 – прямий, 2 - пружинний прямий

Дискові загортачі виготовляють в двох основних варіантах: із суцільних металевих дисків або у формі пруткових конструкцій [14,20]. Моделі з металевими суцільними дисками можуть мати різне виконання гладкі диски, диски у формі зірочок, оснащені конусними пальцями, а також комбіновані варіанти (рис. 3.5). Використання таких загортачів дає змогу формувати над рядком рівномірний ґрунтовий покрив, одночасно забезпечуючи подрібнення та мульчування верхнього шару ґрунту.



1



2

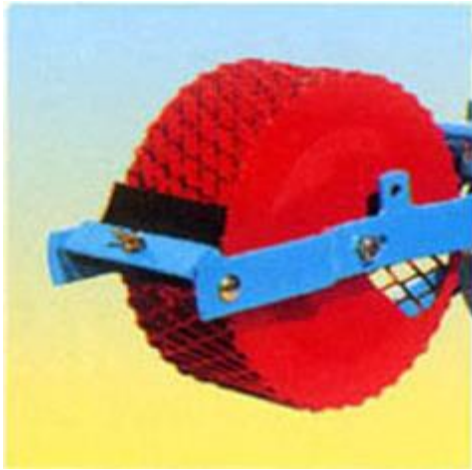


2

Рис. 3.5 Дисківі загортачі:

1 - з суцільними дисками, 2 - зірчкові, 3 - пальцеві

Пруткові загортачі коткового типу виконуються у формі диска, на поверхні якого закріплені прутки певної геометрії (рис. 3.6). Така будова забезпечує не лише загортання посівного рядка, а і додаткове його мульчування. До коткових загортачів належать сітчасті та пруткові модифікації [16,20], які можуть одночасно працювати як прикочуючі котки, підвищуючи ступінь ущільнення та забезпечуючи часткове подрібнення ґрунту. Водночас застосування таких котків для мульчування супроводжується перемішуванням ґрунтових горизонтів, що погіршує умови проростання насіння та сповільнює появу сходів.



1



2

Рис. 3.6 Коткові загортачі:

1 – сітчастий, 2 - прутковий

Провівши аналіз існуючих загортачів просапних сівалок можна сказати, що для підвищення ефективності їх роботи доцільно розділити процес загортання насіння на два послідовні етапи: спочатку насіння слід покривати вологим шаром ґрунту, а вже потім засипати сухішими верхніми шарами. У результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш перспективним напрямом є використання загортачів коткового типу з вертикальним впливом на ґрунт. Така конструкція має низку переваг, які безпосередньо усувають більшість недоліків, властивих існуючим рішенням, розглянутим раніше.

На основі проведеного аналізу конструкцій загортаючих систем нами був запропонований удосконалений комбінований загортач просапної сівалки (рис. 3.7) який має двокомпонентну структуру, його зовнішня частина виконана у вигляді вертикального однобічно загостреного диска, тоді як у внутрішній частині розташовано котковий загортальний елемент. Останній складається з гумового обода з внутрішньою порожниною атмосферного тиску, який змонтований на каркасі диска та має зовнішній контур, який має вигляд частини кола.

Така конструкція забезпечує ефективну взаємодію робочих елементів із ґрунтом. Зовнішній диск підрізає поверхневий шар ґрунту на задану глибину, полегшуючи роботу внутрішнього коткового елемента. Завдяки своїй

сферичній формі в горизонтальній і вертикальній площинах цей елемент створює вертикальний тиск на відокремлений шар ґрунту, переміщуючи його до центру борозни, де розташоване насіння. Симетричне розташування обох частин загортача забезпечує рівномірне переміщення ґрунту з двох боків рядка, завдяки чому насіння покривається саме вологим шаром, що істотно покращує умови його проростання.

Принцип дії коткового загортача полягає в тому, що під час руху агрегату диски загортача 1 розміщуються безпосередньо за щокми сошника, запобігаючи потраплянню сухого верхнього шару ґрунту у борозну. Одночасно диск 1 здійснює підрізання нижніх, більш вологих шарів і, обертаючись, спрямовує їх під робочу поверхню гумового обода 5. Завдяки сферичному профілю обода цей ґрунт рівномірно переміщується в зону, де знаходиться насіння. Відстань між внутрішніми елементами загортача підібрана так, щоб забезпечити підвищене ущільнення ґрунту з обох боків насінини, але менший тиск безпосередньо над нею, що створює оптимальні умови для проростання.

Гумовий обід 5 із внутрішньою порожниною атмосферного тиску має властивість деформуватися при перевищенні навантаження, створюючи ефект амортизації. Це сприяє більш плавному розподілу тиску по поверхні ґрунту, зменшує прилипання вологих частинок і покращує самоочищення робочої поверхні. Загортач кріпиться до секції робочих органів через підвіску, на яку діє важільний кронштейн, що натягується пружиною тиску. Під час роботи пружина стабілізує рух загортача, підтримує постійне навантаження і забезпечує його самоочищення від налиплого ґрунту та рослинних решток.

Переваги запропонованого загортача полягають у наступному:

робочі диски встановлені безпосередньо за сошником, що унеможливило потрапляння сухого поверхневого ґрунту в борозну. Завдяки цьому нижні, більш вологі шари спрямовуються під робочу поверхню загортача, забезпечуючи якісне укриття насіння вологим ґрунтом;

геометрія загортача розрахована таким чином, щоб створювати підвищене ущільнення ґрунту з боків насінини при одночасному зменшенні

тиску над нею. Це сприяє оптимальному мікроклімату для проростання та утриманню вологи в зоні розміщення насіння;

гумовий обід із внутрішньою порожниною атмосферного тиску здатний деформуватися під дією надмірного навантаження, створюючи ефект демпфування. Така особливість забезпечує рівномірний розподіл тиску по поверхні ґрунту, зменшує налипання вологих частинок і покращує самоочищення загортача;

пружинна підвіска забезпечує постійний контакт загортача з поверхнею ґрунту, стабілізує його рух і сприяє ефективному очищенню від налиплого ґрунту та рослинних решток під час роботи.

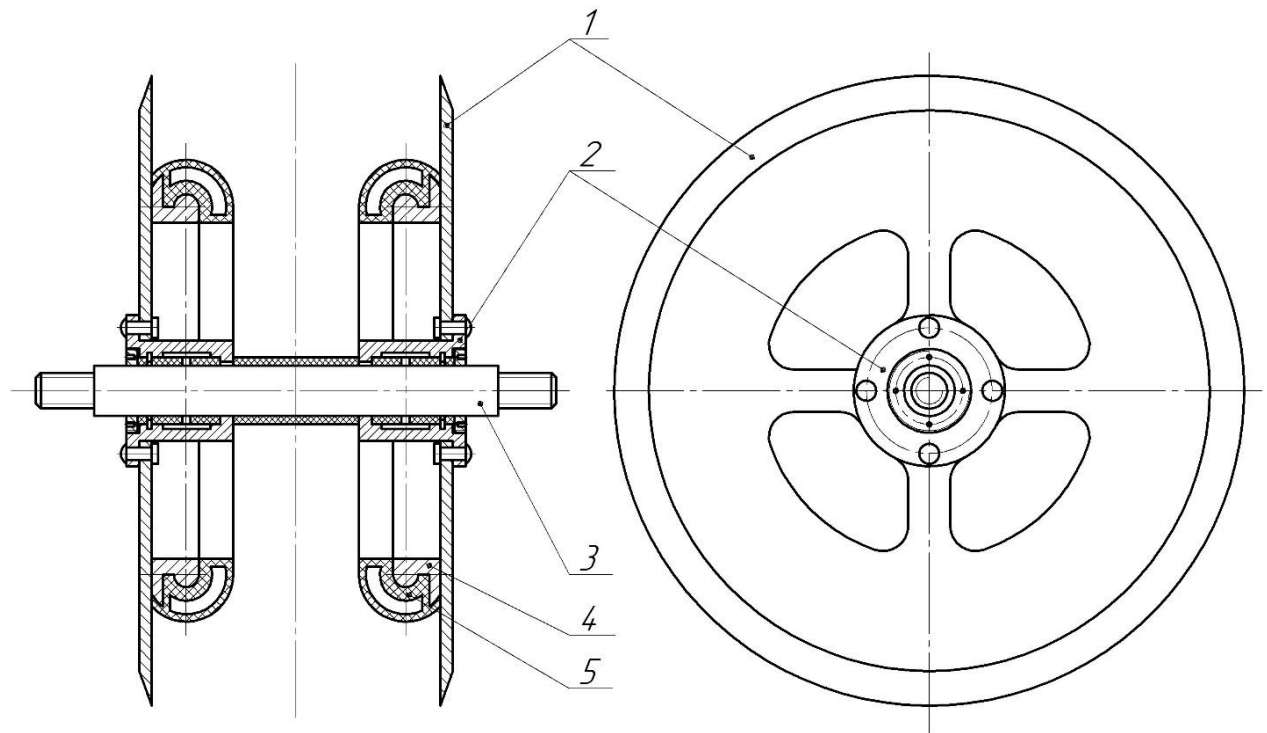


Рис. 3.7 Удосконалений загортач коткового типу:

1 – зовнішній диск; 2 – підшипниковий вузол, 3 – вісь; 4 – каркасна основа; 5 – обод з шиною атмосферного тиску

Для можливості побудови математичної моделі яка дасть можливість розраховувати та оптимізувати конструктивні параметри запропонованого робочого органу необхідно провести теоретичний розгляд взаємодії робочих поверхонь загортача з ґрунтом. Процес взаємодії комбінованого загортача з

ґрунтом можна розділити на три основні етапи, що відповідають послідовній роботі його конструктивних елементів:

взаємодія дисків з ґрунтом - робочий процес починається з дії вертикальних однобічно загострених дисків шляхом блокування сухого ґрунту. Диски розташовані одразу за сошником і їх перша функція це механічно запобігати обсіпанню сухого верхнього шару ґрунту в борозну, ширина якої відповідає ширині наральника сошника;

підрізання та зсув – диски, рухаючись зі швидкістю посіву на глибині загортання насіння, проводять підрізання нижніх, більш вологих шарів ґрунту. Завдяки однобічному куту загострення, диски не просто ріжуть, але і створюють бічну силу, яка у поєднанні з обертанням дисків, зсуває (направляє) підрізаний вологий шар ґрунту вбік центру борозни, під робочу поверхню гумових ободів коткової частини загортача;

ущільнення та профілювання ґрунту котковою частиною загортача - після того, як диски підрізли та подали вологий ґрунт, у роботу вступають внутрішні загортальні елементи коткового типу, які діють на ґрунт вертикально. Котки мають сферичний зовнішній профіль, така форма допомагає остаточно направити ґрунт, що надходить від дисків, у зону розміщення насіння. Оскільки відстань між котками більша за ширину борозни то основний вертикальний тиск від загортача припадає не безпосередньо над насінням, а з обох боків від нього. Така конструкція цілеспрямовано забезпечує більшу щільність ґрунту з боків від насіння, але меншу безпосередньо над нею. В результаті, створюються оптимальні умови для проростання насіння, а ущільнення з боків сприяє підтягуванню капілярної вологи до насіння, тоді як пухкіший шар ґрунту над ним не перешкоджає проростанню;

конструкція має адаптивні механізми для роботи в складних умовах, це демпфування гумового ободу який має порожнину атмосферного тиску. При надмірному навантаженні (наприклад, при проході через щільніші ділянки ґрунту) обід деформується, такий ефект забезпечує більш плавний розподіл

деформацій ґрунту, що важливо при підвищеній вологості ґрунту, зменшує налипання вологих шарів на робочу поверхню;

загортач кріпиться до секції через підвіску з важільним кронштейном та пружиною тиску, яка забезпечує сталий рух загортача, постійний контакт з ґрунтом та сприяє самоочищенню від налиплого ґрунту та рослинних решток під час роботи.

В результаті аналізу процесу роботи нового загортача з ґрунтом встановлено, що ключовими параметрами для побудови математичної моделі будуть сили опору - опір різанню ґрунту двома дисками та опору ґрунту зрізу, опір коченню та деформації ґрунту котками, а також контактний тиск.

Для початку розгляду взаємодії загортача з ґрунтом визначаємо основні геометричні параметри елементів конструкції які здійснюють вплив на процес роботи (рис. 3.8).

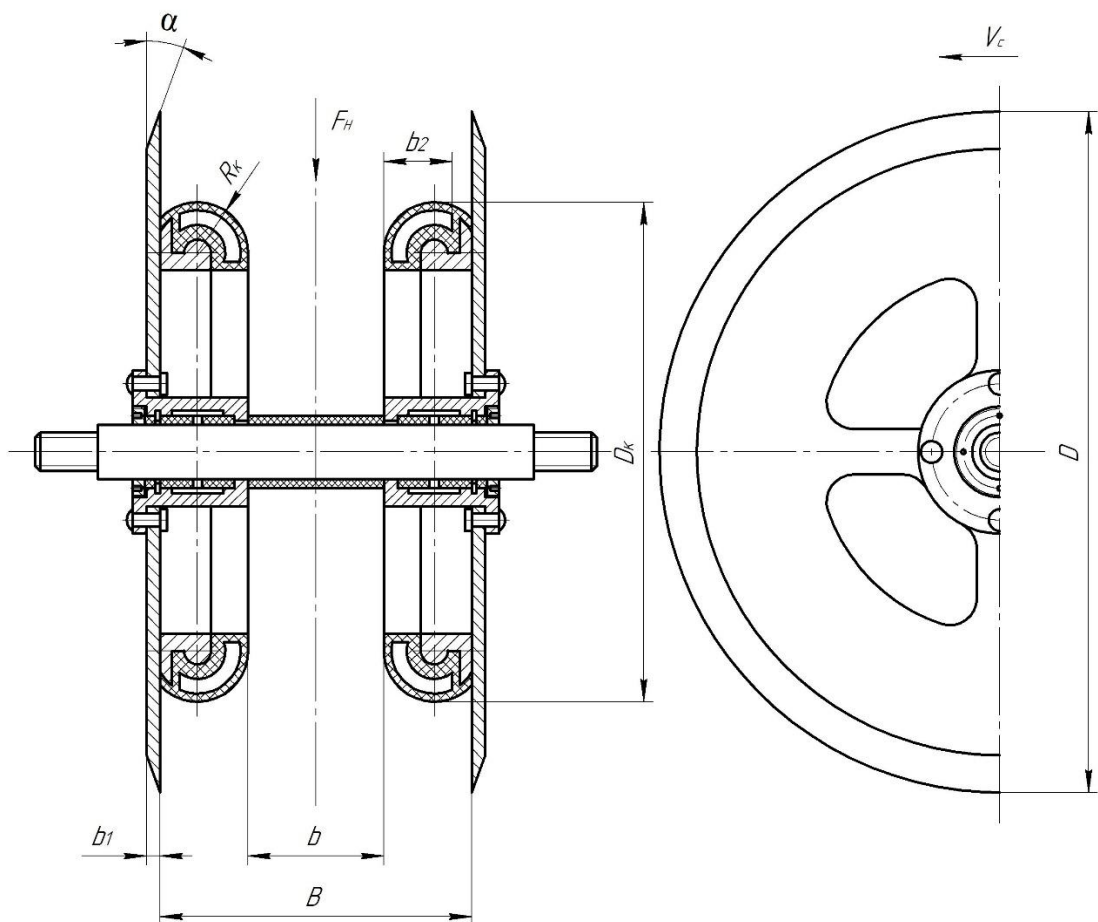


Рис. 3.8 Схема конструктивних параметрів загортача які впливають на процес його роботи

Розглянемо взаємодію внутрішньої коткової частини загортача з ґрунтом під час його роботи. В процесі руху агрегату із швидкістю  $V_c$ , загортач взаємодіє з ґрунтом, створюючи такі сили (рис. 3.9):

нормальну силу тиску  $F_N$ ;

дотичну силу зсуву  $F_T$ ;

реакцію ґрунту  $R$ , що спрямована під кутом  $\alpha$  до нормалі.

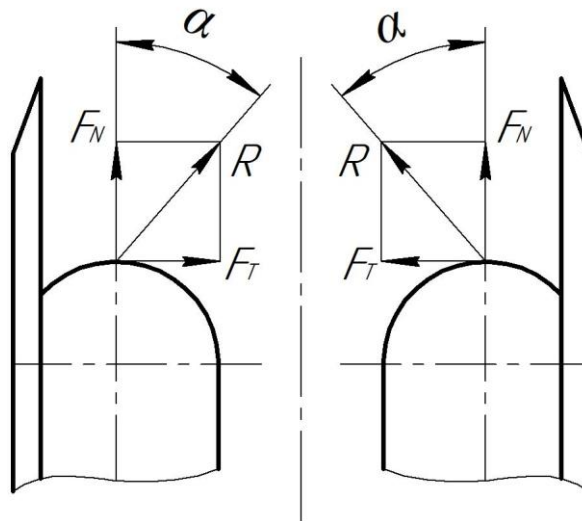


Рис. 3.10 Схема сил, що діють під час роботи внутрішньої частини загортача

Нормальна сила  $F_N$  представляє собою сумарний тиск, який створює робоча поверхня загортача на ґрунт в зоні контакту.

Вона складається з:

$$F_N = F_G + F_{II}, \quad (3.1)$$

де  $F_G$  - сила від ваги секції сівалки (через важіль та пружину);

$F_{II}$  - сила, що виникає від пружинного механізму натиску (регулюється).

Оскільки силу  $F_N$  можна розрахувати за рахунок різних складових, що визначають умови її дії на ґрунт то необхідно для подальших розрахунків отримати узагальнену залежність для її визначення.

Визначаємо  $F_N$  за умовами рівноваги загортача.

Якщо відомі вертикальне навантаження  $G$  (маса робочого органу, що діє на ґрунт) і геометрія важеля притискної пружини, що формує додаткове навантаження, то:

$$F_N = G + k_{II} \Delta l, \quad (3.2)$$

де  $k_{II}$  - жорсткість пружини;

$\Delta l$  - деформація пружини.

Таким чином, величину сили  $F_N$  можна змінювати через натяг пружини.

Визначаємо  $F_N$  через тиск у зоні контакту:

$$F_N = p_{сер} \cdot A, \quad (3.3)$$

де  $p_{сер}$  - середній тиску в зоні контакту (визначається з властивостей ґрунту);

$A$  - площа контакту ободу загортача з ґрунтом.

$$A = \pi \cdot R_k \cdot b_2. \quad (3.4)$$

Тоді:

$$F_N = p_{сер} \cdot \pi \cdot R_k \cdot b_2. \quad (3.5)$$

Якщо припустити, що коток сферичний і ґрунт піддатливий (деформація пружнопластична), то нормальна сила  $F_N$  зростає зі збільшенням занурення  $h$ :

$$F_N = k_o \cdot h^n, \quad (3.6)$$

де  $k_o$  - коефіцієнт опору ґрунту (залежить від вологості, структури, щільності);

$$n \approx 1,5 - 2,0$$

Це типова статична модель контакту коткового загортача з ґрунтом (аналогічна моделі Герца для пружних тіл) [22 - 24].

Таким чином можна записати узагальнену залежність для визначення сили  $F_N$ :

$$F_N = p_{сер} \cdot \pi \cdot R_k \cdot b_2 = k_o \cdot h^n = G + k_{II} \Delta l. \quad (3.7)$$

Розглянемо динамічну модель взаємодії коткової частини загортача із ґрунтом. В момент контакту сферичної поверхні коткової частини загортача з ґрунтом виникає зона пружнопластичної деформації шириною  $b_2$  та глибиною занурення  $h$ , тоді сумарний тиск на ґрунт визначається як:

$$p = \frac{F_N}{\pi \cdot R_k \cdot b_2} + p_\delta, \quad (3.8)$$

де  $p_\delta$  - додатковий тиск від деформації гумового обода.

Розподіл тиску під котком для сферичної робочої поверхні спрощено можна визначити аналогічно до контактної теорії Герца [22 - 24], а більш точно за допомогою основних рівнянь контактної теорії пружності [25 - 27] але оскільки робочий профіль має просту конструкцію і в подальшому планується експериментальна перевірка отриманих розрахунків то нами використовувалась спрощена модель:

$$p(x) = p_{\max} \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right)^{1/2}, \quad (3.9)$$

$$\text{де } p_{\max} = \frac{3F_N}{2\pi a^2};$$

$$a = \sqrt{R_k \cdot h} \text{ - півдовжина контактної плями.}$$

Ущільнення ґрунту від дії робочої поверхні загортача відбувається, якщо середній тиск на ґрунт перевищує його початкову структурну міцність:

$$p_{сер} \geq p_{кр} = c + \sigma \cdot \text{tg}(\varphi), \quad (3.10)$$

де  $c$  - питоме зчеплення ґрунту;

$\sigma$  - нормальний тиск від ваги шару;

$\varphi$  - кут внутрішнього тертя.

При цьому фактична зміна щільності ґрунту описується емпіричною залежністю:

$$\rho = \rho_0 \left( 1 + k_p \frac{P_{cep} - P_0}{E} \right), \quad (3.11)$$

де  $\rho_0$  - початкова щільність;

$E$  - модуль деформації ґрунту;

$k_p$  - коефіцієнт ущільнення (0,6 - 0,8).

Дотичну складову реакції ґрунту (рис. 3.10) можна визначити як:

$$F_T = f \cdot F_N = F_N \cdot \operatorname{tg}(\alpha), \quad (3.12)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя між поверхнею загортача та ґрунтом;

$\alpha$  - кут дії результуючої реакції.

Умовою стабільного кочення запропонованого загортача є його мінімальне проковзування під час руху. Ця умова буде виконуватись якщо момент сил тертя дорівнює моменту інерції:

$$M_f = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (3.13)$$

Для рівномірного руху  $\frac{d\omega}{dt} = 0$ , тоді умова рівноваги сил при сталому коченні:

$$M_f = F_T \frac{D_k}{2} = 0. \quad (3.14)$$

Конструкцією робочої поверхні внутрішньої частини загортача передбачено використання шини атмосферного тиску яка здійснює демпфування під час кочення. Тоді, деформація гумового обода при навантаженні  $F_N$ :

$$\Delta R_k = \frac{F_N}{k_{жс}}, \quad (3.15)$$

де  $k_{жс}$  - жорсткість обода, яка залежить від товщини стінки та внутрішнього тиску.

Внаслідок деформації створюється ефект демпфування, що зменшує амплітуду коливань сили контакту:

$$p_{ef} = p_{сер}(1 - \xi), \quad (3.16)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт демпфування (0,15 – 0,25).

Для забезпечення ефективного загорання насіння поверхнею загортача повинні виконуватись умови:

$$p_{opt} = (1,1 - 1,2)p_{кр}, \quad (3.17)$$

$$\rho_{нісля} = (1,0 - 1,05)\rho_{до}. \quad (3.18)$$

Виконання цих умов гарантує ущільнення бокових стінок борозни і збереження капілярної вологи над насінням. В результаті проведених розрахунків можна визначити величину повної реакції ґрунту на робочу поверхню загортача:

$$R = \sqrt{F_N^2 + F_T^2} = F_N \sqrt{1 + f^2}. \quad (3.19)$$

Питомий тиск у зоні контакту:

$$p = \frac{R}{A} = \frac{F_N \sqrt{1 + f^2}}{\pi \cdot R_k \cdot b_2}. \quad (3.20)$$

Для отримання технологічних характеристик нового загортаючого робочого органу необхідно визначити його тяговий опір. Загальний тяговий опір  $R_z$  - це сума опорів, що чинять зовнішня і внутрішня частини робочої поверхні загортача:

$$R_z = R_D + R_K. \quad (3.21)$$

де  $R_D$  - опір дисків;

$R_K$  - опір коткової частини загортача.

Опір дисків  $R_D$  складається з опору різанню ґрунту лезом та опору, спричиненого тертям ґрунту об бічні поверхні диска, який має кут загострення  $\beta$  (рис. 3.11):

$$R_D = R_P + R_B, \quad (3.22)$$

де  $R_P$  - опір різанню (фронтальний);

$R_B$  - опір бічної взаємодії (тертя та деформація).

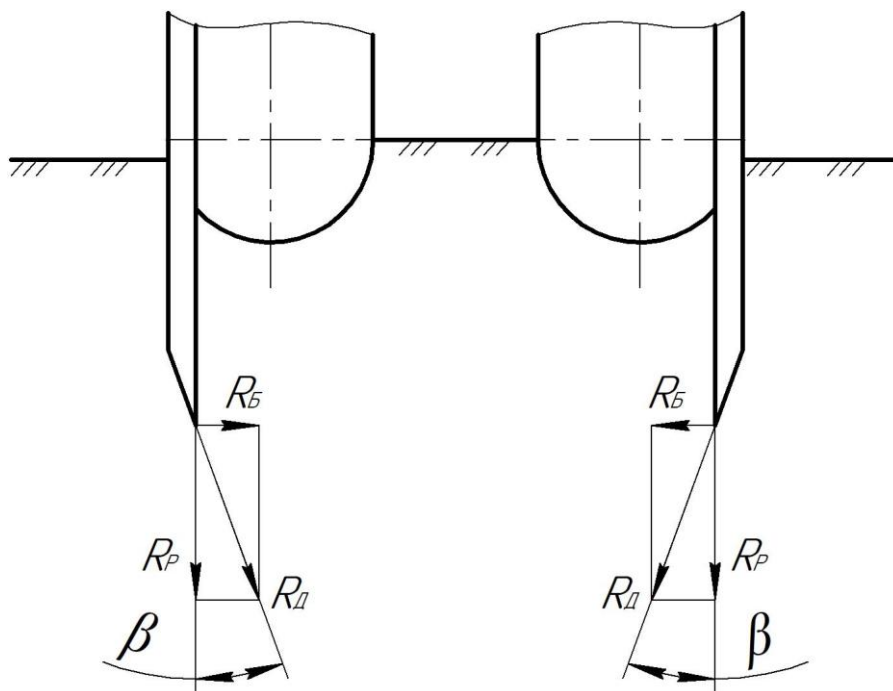


Рис. 3.11 Схема для визначення тягового опору диску

Опір різанню можна визначити як:

$$R_P = n_d \cdot k_0 \cdot h \cdot b_1, \quad (3.23)$$

де  $n_d$  - кількість дисків;

$k_0$  - питомий опір ґрунту різанню;

$h$  - глибина обробітку дисками;

$b_1$  - товщина диска.

Опір бічної взаємодії це складний компонент, тому для дослідницького розрахунку його можна представити у вигляді спрощеної моделі, що враховує

кут  $\beta$ , описує бічну силу  $F_B$ , як функцію опору різанню, а силу тертя  $R_B$ , як функцію бічної сили:

$$R_B \approx \frac{k_0 \cdot h \cdot b_1}{\operatorname{tg}(\beta)}. \quad (3.24)$$

Об'єднуючи, загальний опір дисків (враховуючи фронтальний опір та опір від бічного тертя) можна наближено сказати, що:

$$R_D = (n_d \cdot k_0 \cdot h \cdot b_1) \cdot \left(1 + \frac{f_D}{\operatorname{tg}(\beta)}\right), \quad (3.25)$$

де  $f_D$  - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі для диска;

$\beta$  - кут загострення диска.

Опір коткової частини загортача  $R_K$  - це переважно опір коченню, який прямо залежить від вертикального навантаження  $G$  та коефіцієнта опору коченню  $k_{ok}$ :

$$R_K = G \cdot k_{ok}. \quad (3.26)$$

Коефіцієнт опору коченню  $k_{ok}$  можна виразити через зміщення  $\delta$  точки прикладання рівнодіючої реакції ґрунту відносно осі котка та радіус котка:

$$k_{ok} = \frac{2\delta}{D_K}. \quad (3.27)$$

Знаючи загальний тяговий опір  $R_z$  можна визначити потужність, яка необхідна для його подолання при русі зі швидкістю  $V_c$ :

$$N = R_z \cdot V_c. \quad (3.28)$$

Важливою особливістю нового загортача є конструктивне виконання коткової частини його робочої поверхні, у зв'язку з чим є необхідність визначення розподілу тиску в ґрунті від її дії (рис. 3.12). Для цього можна використати модель Буссінеска [28 - 30] для двох паралельних лінійних навантажень (дві коткові частини загортача), щоб описати вертикальне

напруження  $\sigma_z$  в ґрунті на глибині  $z$  та при бічному зміщенні  $x$  від центру борозни.

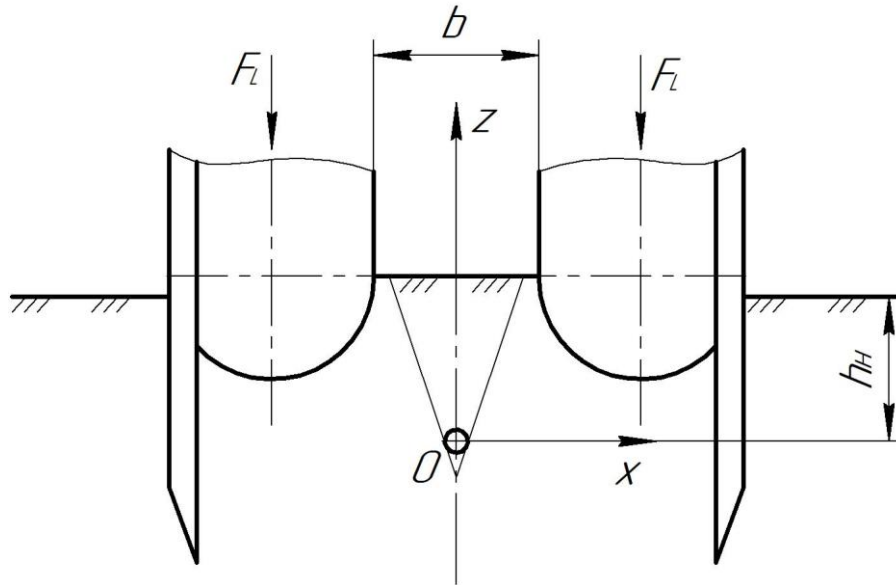


Рис. 3.12 Схема взаємодії коткової частини загортача з ґрунтом

Знайдемо вертикальне напруження  $\sigma_z$  в точці  $(x, z)$ :

$$\sigma_z(x, z) = \frac{2 \cdot F_L \cdot z^3}{\pi} \left[ \frac{1}{\left( \left( x - \frac{b}{2} \right)^2 + z^2 \right)^2} + \frac{1}{\left( \left( x + \frac{b}{2} \right)^2 + z^2 \right)^2} \right], \quad (3.29)$$

де  $b$  - відстань між котками;

$F_L$  - вертикальне навантаження на одиницю довжини котка.

Тиск над насінням по центру ( $x = 0$ ) на глибині посіву  $h_n$ :

$$\sigma_z(0, h_n) = \frac{4 \cdot F_L \cdot h_n^3}{\pi \cdot \left( \left( \frac{b}{2} \right)^2 + h_n^2 \right)^2}. \quad (3.30)$$

Тиск збоку від насінини під котковою частиною загортача ( $x = b/2$ ) на глибині посіву  $h_n$ :

$$\sigma_z\left(\frac{b}{2}, h_n\right) = \frac{4 \cdot F_L \cdot h_n^3}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{h_n^4} + \frac{1}{(b^2 + h_n^2)^2} \right]. \quad (3.31)$$

Порівнюючи вирази (3.30) і (3.31), очевидно, що (3.31) значно більший, ніж (3.30). Це підтверджує, що конструкція розробленого загортача створює зони високого тиску з боків від насіння, для підтягування капілярної вологи та зону низького тиску безпосередньо над ним, для полегшення проростання.

#### 4. Практична реалізація результатів досліджень

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

Залежність (3.7) показує, що основним параметром дії коткової частини загортача на ґрунт є нормальна сила  $F_N$  (рис. 4.1).

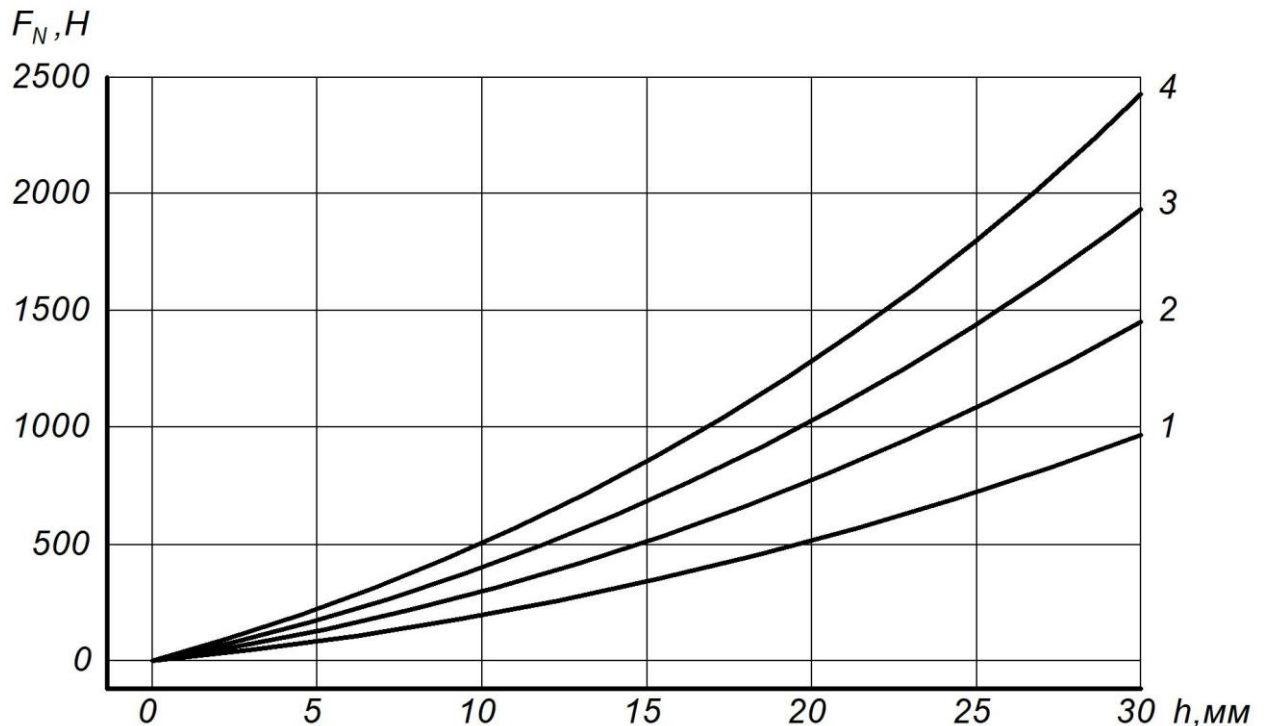


Рис. 4.1 Залежність зміни нормальної сили від глибини занурення загортача

при  $k_o = 50$  кПа :

1 -  $E = 0,50$  мПа ; 2 -  $E = 0,75$  мПа ; 3 -  $E = 1,00$  мПа ; 4 -  $E = 1,25$  мПа

Як видно із отриманого, із збільшенням глибини роботи загортача нормальна сила  $F_N$  значно зростає, основний вплив на її ріст здійснює модуль пружності ґрунту  $E$ , який в свою чергу залежить від його характеристик. Також аналізуючи графік (рис. 4.1) можна сказати, що на глибині посіву насіння буряків столових значення нормальної сили  $F_N$ , з якою діє коткова частина загортача на ґрунт є незначною і приводить до переущільнення ґрунту в зоні її дії не буде.

Залежність (3.7) дає можливість оцінити середній контактний тиск під котковою частиною загортача (рис. 4.2).

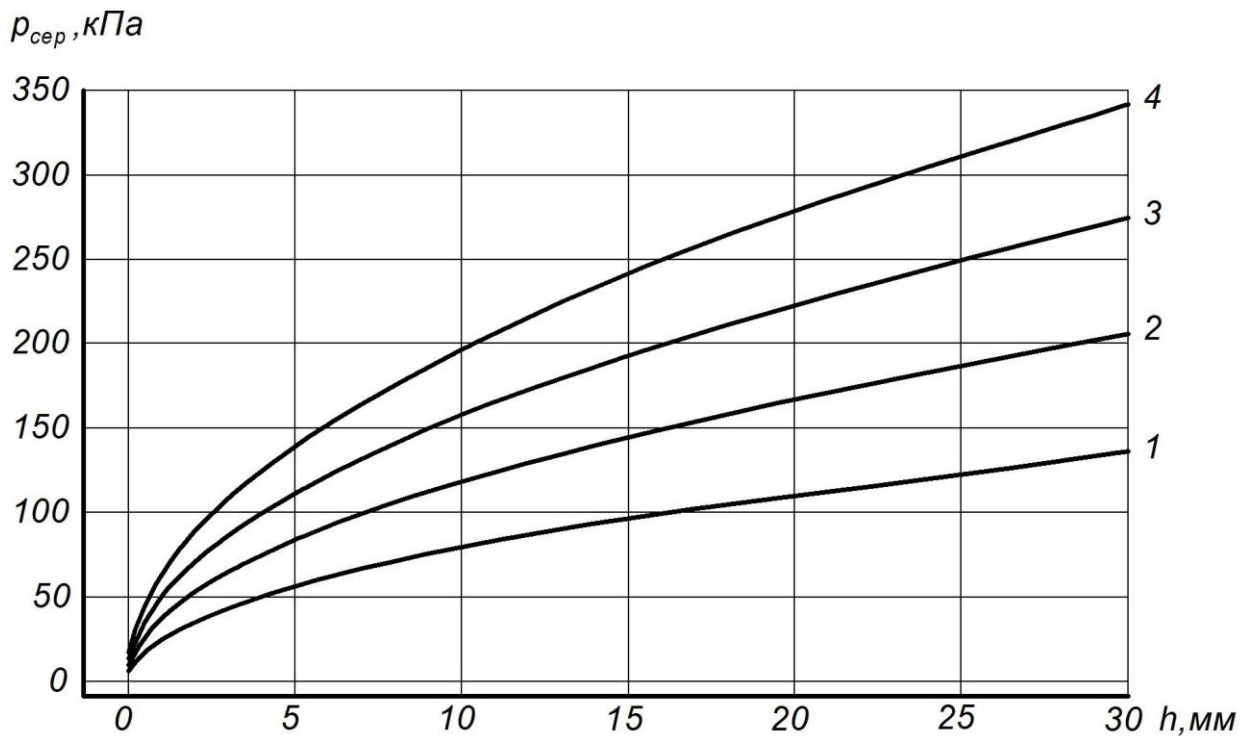


Рис. 4.2 Залежність зміни середнього тиску від глибини занурення загортача при  $k_o = 50$  кПа :

1 -  $E = 0,50$  мПа ; 2 -  $E = 0,75$  мПа ; 3 -  $E = 1,00$  мПа ; 4 -  $E = 1,25$  мПа

Отримані величини середнього тиску у плямі контакту поверхні з ґрунтом показують, наскільки він ущільнюється під котком. Із графіка також видно, що значний вплив на ріст тиску здійснює модуль пружності ґрунту  $E$ .

Залежність (3.21) дає можливість оцінити загальний тяговий опір загортача під час роботи (рис. 4.3).

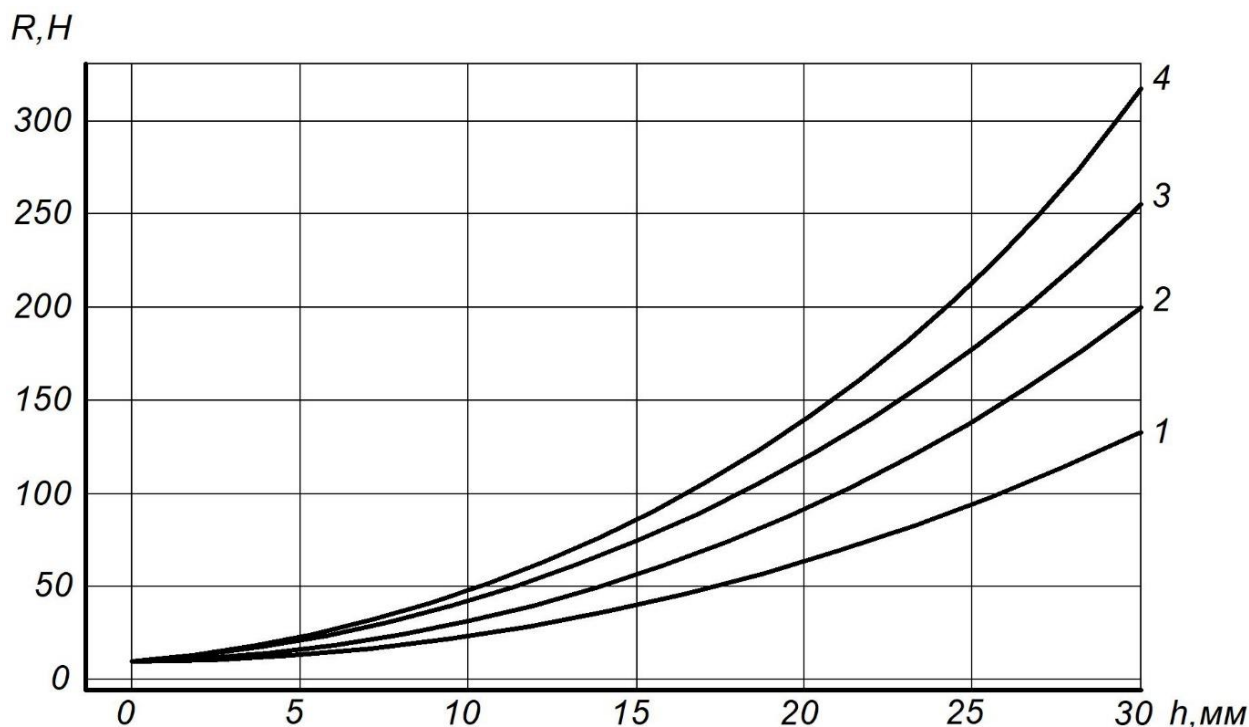


Рис. 4.3 Залежність зміни тягового опору від глибини занурення загортача при:

1 -  $E = 0,50$  МПа ; 2 -  $E = 0,75$  МПа ; 3 -  $E = 1,00$  МПа ; 4 -  $E = 1,25$  МПа

Оскільки загальний тяговий опір загортача - це сума опорів, що чинять зовнішня і внутрішня частини робочої поверхні то при середніх і великих глибинах залягання насіння провідну роль відіграє опір коченню, опір дисків є другорядним. Тому тягове зусилля зростає головним чином через збільшення величини нормальної сили  $F_N$ , яка діє на коткову частину загортача. Із графіка видно, що вплив на ріст тягового опору здійснює модуль пружності ґрунту і глибина розміщення насіння.

Залежність (3.28) дає можливість оцінити зміну необхідної потужності, яка потрібна для забезпечення працездатності загортача, від глибини його занурення та швидкості посіву. Оскільки максимальна швидкість за якої рекомендується проводити посів буряків столових просапною сівалкою є

швидкість  $V_c = 7,2 \text{ км/год}$ , то вона бралась сталою, змінювалась величина тягового опору загортача і характеристики ґрунту, що дало можливість отримати графік (рис. 4.4).

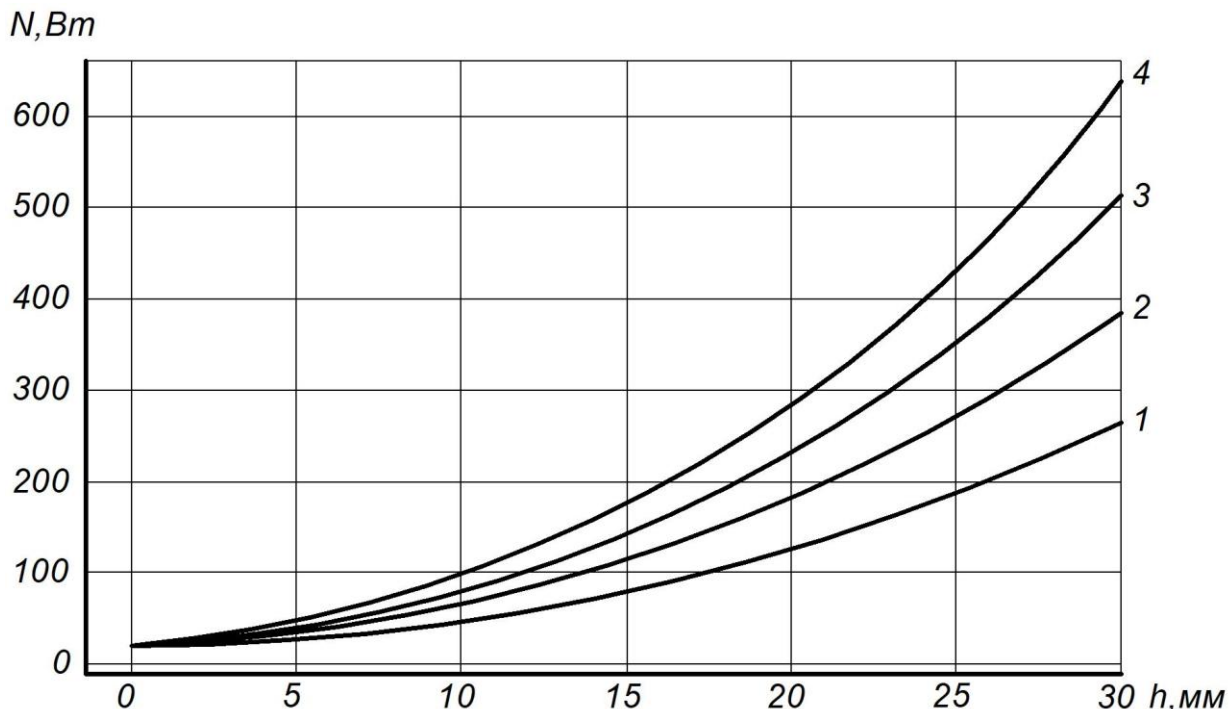


Рис. 4.4 Залежність зміни необхідної потужності від глибини занурення загортача на швидкості посіву при:

1 -  $E = 0,50 \text{ МПа}$  ; 2 -  $E = 0,75 \text{ МПа}$  ; 3 -  $E = 1,00 \text{ МПа}$  ; 4 -  $E = 1,25 \text{ МПа}$

Як видно із отриманого, величина необхідної потужності росте із зміною глиби занурення насіння і характеристик ґрунту. Модуль пружності ґрунту  $E$  здійснює значний вплив на збільшення необхідної потужності і є ключовим параметром який впливає на роботу коткової частини загортача.

Оскільки основною складовою розробленого загортача є коткова його частина то необхідно проаналізувати її вплив на виконання технологічного процесу. Нами визначені залежності (3.30) і (3.31), які після підстановки відповідних значень, що входять в залежності величин дали можливість отримати наступну картину (рис. 4.5).

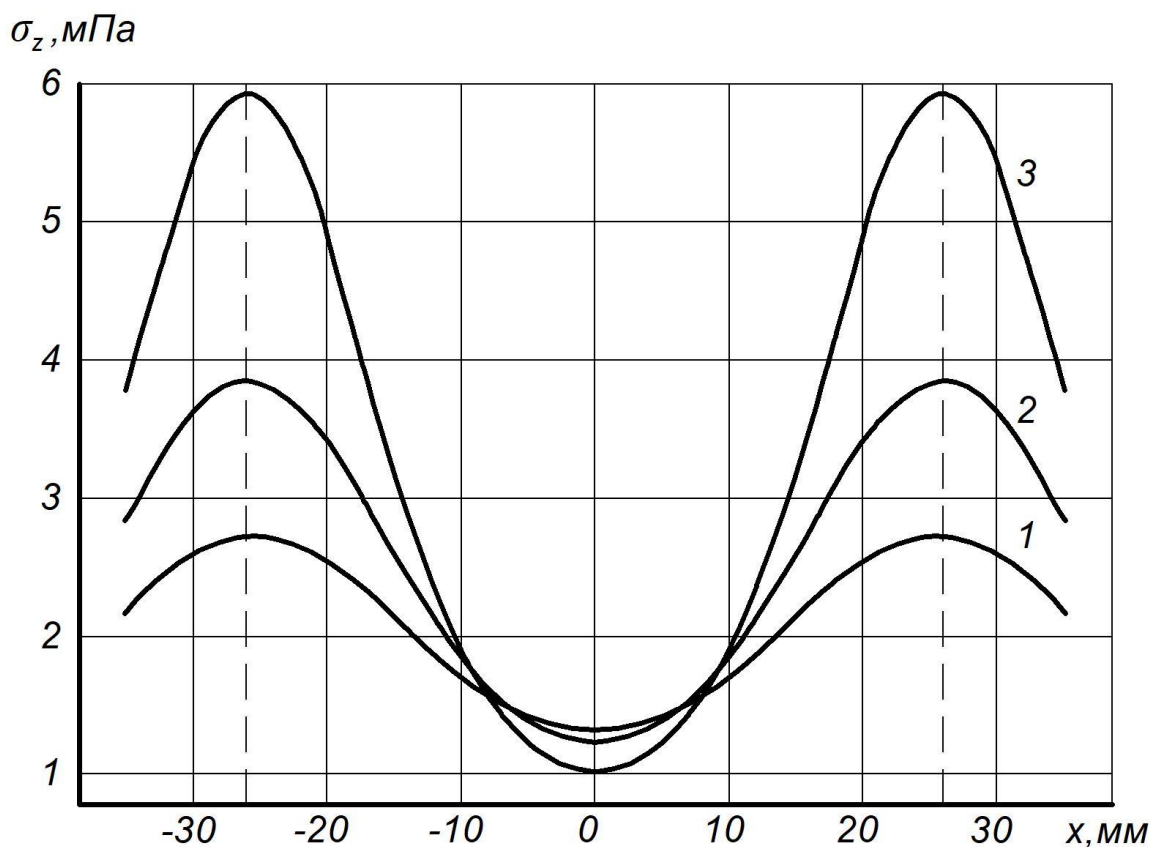


Рис. 4.5 Залежність зміни тиску від дії коткової частини загортача на ґрунт в залежності від глибини залягання насіння

На графіку показані поперечні профілі  $\sigma_z(x)$  на різних глибинах знаходження насіння, так на глибині 20 мм, тиск найбільший  $\sigma_z(x) \approx 5,8 - 6,0 \text{ мПа}$  у піках; на глибині 25 мм у піках тиск помірний  $\sigma_z(x) \approx 3,7 \text{ мПа}$ ; на 30 мм у піках тиски ще менші  $\sigma_z(x) \approx 2,7 \text{ мПа}$ . В той же час в центрі між котковими частинами загортача  $x = 0$  мм, тиск мінімальний  $\sigma_z(x) \approx 1,0 - 1,5 \text{ мПа}$ . Це суттєво менше, ніж тиск під котками, відповідно насіння не піддається надмірному стиску, що підтверджує правильність конструктивної схеми розробленого загортача.

Важливою особливістю розробленої моделі є те, що між дисками формується захисна зона низького тиску, саме там місце розміщення насіння. Пікові тиски знаходяться безпосередньо під котками загортача, що забезпечує ущільнення країв борозни і ґрунту навколо насіння. При збільшенні глибини

з 20 до 30 мм тиск зменшується приблизно в 2,5 рази. Таким чином можна сказати, що отримана математична модель дає реалістичні абсолютні значення тиску який виникає під час роботи загортача з врахуванням властивостей ґрунту.

В результаті проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

1. На основні технологічні характеристики загортача найбільший вплив здійснюють глибина розміщення насіння  $h$ , модуль деформації ґрунту  $E$ , питомий опір різанню  $k_o$  та конструктивні особливості робочих поверхонь.

2. На формування ущільнення ґрунту на глибині розміщення насіння впливає тиск на загортач, відстань між котками та ширина робочої поверхні котків.

3. Глибина розміщення насіння і модуль ґрунту формують основне контактне навантаження та тяговий опір під час роботи загортача.

4. Запропонована конструкція загортача підтвердила свою спроможність виконати комбінований технологічний процес загортання насіння, спочатку дисками відокремити шар ґрунту і направити його до центра борозни, а потім котковою частиною виконати загортання насіння з ущільненням ґрунту навколо нього, причому залишаючи шар неущільненого ґрунту в зоні росту насінини.

## 5. Охорона праці

### **Заходи безпеки при роботі з просапними сівалками під час виконання посівних робіт**

Щоб забезпечити безпечне проведення посіву просапними сівалками, необхідно дотримуватись вимог охорони праці, техніки безпеки та експлуатаційних інструкцій.

**Загальні вимоги безпеки:** до роботи допускаються лише навчені та проінструктовані працівники; оператор повинен мати практичні навички керування трактором та агрегатом з просапною сівалкою; заборонено працювати в стані втоми, алкогольного чи наркотичного сп'яніння; під час виконання робіт необхідно використовувати спецодяг, захисне взуття та рукавиці; перед початком роботи проводиться візуальний огляд сівалки та трактора; не допускається знаходження сторонніх осіб у зоні роботи агрегату [31 - 38].

**Перед виїздом у поле необхідно:** перевірити стан сошників, робочих органів, маркерів, заслінок бункера; переконатися у справності гідравлічної системи, електропроводки та датчиків; змастити вузли тертя та перевірити затягування болтових з'єднань; перевірити тиск у шинах трактора та надійність приєднання навісної системи; виконати натягіння ланцюгів приводів та перевірити роботу висівних механізмів; установити глибину загортання та норму висіву згідно з агротехнічними вимогами [31 - 38].

**Безпечний запуск та початок роботи:** запуск двигуна дозволяється лише з місця тракториста; перед запуском необхідно переконатися, що біля сівалки нікого немає; перевірити системи сигналізації та освітлення, якщо робота ведеться вночі; плавно рушати і уникати різких поворотів та гальмування; регулювання сівалки допускається лише при повній зупинці двигуна [31 - 38].

**Під час роботи у полі:** заборонено очищати сошники, котки, тукові та насінневі апарати на ходу; при засміченні потрібно зупинити агрегат, заглушити двигун, лише після цього усувати несправність; забороняється: рух

заднім ходом з опущеними робочими органами; виїзд на схили понад 8 - 10°; виконання поворотів із включеним висівним апаратом; перевозити людей на рамі чи бункерах сівалки; перед переїздом через дороги необхідно підняти робочі органи та замкнути їх фіксаторами [31 - 38].

**Робота з насінням і добривами:** при роботі з мінеральними добривами необхідно використовувати респіратори та рукавички; засипання насіння або добрив проводиться спеціальними совками, не вручну; заборонено використовувати злежані, зволожені або токсичні матеріали; після засипання бункерів необхідно прибрати залишки з рами та робочих елементів [31 - 38].

**При виникненні аварійних ситуацій:** негайно припинити роботу; заглушити трактор; встановити сигнальні знаки або маячки (якщо робота ведеться на дорогах); провести усунення несправності або викликати механіка [31 - 38].

**Після закінчення роботи:** очистити сівалку від залишків ґрунту, насіння та добрив; рмастити рухомі частини та зняти залишковий тиск у гідравліці; зробити запис у журналі технічного обслуговування; поставити агрегат у безпечне місце з твердим покриттям [31 - 38].

**Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)** які використовуються по видам робіт: для регулювання та ремонту - рукавиці, захисні окуляри; для роботи з добривами - респіратор, захисний костюм; для роботи з гідравлікою - захист рук та обличчя; пересування по полю - спецвзуття з твердою підошвою [31 - 38].

## Висновки

1. Під час виконання дослідження було здійснено ґрунтовний аналіз існуючих конструкцій загортаючих робочих органів просапних і овочевих сівалок, в результаті чого з'ясовані ключові недоліки загортачів, які використовуються на сучасних сівалках, та визначено основні напрями їх удосконалення з метою підвищення ефективності посівного процесу.

2. В межах модернізації сівалки Vesta 12 було запропоновано новий комбінований загортач коткового типу, в якому зовнішня бічна частина виконана як вертикальний однобічно загострений диск, а у внутрішній частині розміщено загортальний котковий елемент. Останній складається з гумового обода із порожниною атмосферного тиску, закріпленого на дисковому каркасі та формуючого зовнішній профіль у вигляді сегмента кола.

3. На основі побудованої математичної моделі визначено закономірності впливу геометричних характеристик робочих елементів нового загортача на ефективність виконання операції загортання борозни. Також теоретично досліджено, як робоча поверхня загортача впливає на якість ущільнення та укладання ґрунту навколо насінини.

4. Отримано теоретичні залежності величини тиску робочої поверхні загортача на ґрунт, що формується під впливом конструктивних параметрів, маси, опору перекочування, габаритів робочого елемента та місця його встановлення, що дозволило визначити оптимальні параметри робочої частини.

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

6. Вдосконалена конструкція загортача коткового типу для просапної сівалки Vesta 12 може забезпечити суттєве підвищення ефективності процесу загортання насіння та дозволити збільшити врожайність просапних культур.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Болотських О. С. Енциклопедія овочівника. Харків: Фоліо, 2005. - 798 с.
2. Григоровська М. Буряк столовий. Огородник. 2007. № 3. С. 44.
3. ДСТ України 7033:2009 Буряк столовий свіжий. Технічні умови: Введен. 01.01.10. К: вид.офіційне, 2010. 11 с.
4. Барабаш О. Ю. Овочівництво. К.: Вища школа, 1994. 362 с.
5. Барабаш О. Ю. Столові коренеплоди К.: Вища школа, 2003. 85 с.
6. Барабаш О. Ю., Цизь О. М. Овочівництво і плодівництво. К.: Вища школа, 2000. 503 с.
7. Технологія вирощування столових буряків URL: <https://disted.edu.vn.ua/courses/learn/2236>
8. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту Ч2. Відкритий ґрунт. Навчальний Посібник. Вінниця: Нова книга. 2008. 312 с.
9. Бобер А.В. Агротехніка вирощування буряка столового. Овочівництво. 2007. № 4. С. 22 – 29.
10. Вдовенко С.А., Паламарчук І.І. Буряк столовий. Сортовивчення, технологія вирощування. Вінниця: ВНАУ, 2023. 204 с.
11. Сучасні технології вирощування овочевих культур: навч. Посібник для студентів напряму «Агрономія» агробіологічних спеціальностей вищих навчальних закладів освіти III-IV рівнів акредитації./ В.Б. Кутовенко, І.Г. Міхаліна, В.Т. Гонтар. – Київ, 2013. – 300 с.
12. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2002. 800с.
13. Product Catalog. Technology in harmony with the nature. Elvorti - Chervona zirka. Ukraine, 2016. 20p. URL: [https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG\\_2016\\_EN\\_SITE.pdf](https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf)

14. Kverneland. Monopill - Mechanische Einzelkornsämaschine. Präzise Vereinzelnung - nicht nur bei Rüben. Kverneland Group Deutschland GmbH, 2017. 16p. URL:  
<https://www.kverneland.de/Saetechnik/Einzelkornsaeemaschinen/Kverneland-Monopill-Monopill-e-drive-II>
15. Сівалка точного висіву для овочевих культур ORIETTA – GASPARD. URL: <https://www.maschiogaspardo.com/uk/web/ukraine/orietta>
16. MONOSEM. The precision Planter specialist. Monosem MS. Ribouleau MONOSEM – FRANCE, 2020. 24p. URL:  
<https://www.monosem.com/Range/Planter-range>
17. Mater Macc MS 8230. URL: [https://www.matermacc.it/en\\_in/](https://www.matermacc.it/en_in/)
18. Sfoggia Sigma 5. URL: <https://sfoggia.com/en/semina-di-precisione-3/sigma-5/>
19. Дмитро Артеменко. Дослідження конструкційних параметрів елементів сошника для посіву просапних культур. Науково-технічні дослідження у галузі механічної інженерії та транспорту: колективна монографія / заг. ред. А.А. Кашканова. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2023. – С. 72-110. URL:  
[https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech\\_transport.pdf](https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf)
20. Kverneland Miniair Nova. URL:  
<https://sng.kverneland.com/posevnaya-tehnika/ovoschnye-seyalki/kverneland-mini-air-nova>
21. Каталог продукції Elvorti. Сівалка Vesta 8. URL:  
<https://elvorti.com/catalog/>
22. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper // J. reine angew. Math. – 1882. – 92. – S. 156–171.
23. Valentin L. Popov, Markus Heß, Emanuel Willert. Handbook of Contact Mechanics. Exact Solutions of Axisymmetric Contact Problems, Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58709-6>

24. Трач В.М., Подворний А.В. Опір матеріалів (спецкурс), теорія пружності та пластичності. Київ: Каравела, 2016. - 434 с. URL: <https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/navch-posib/.pdf>
25. Кушнар'єв А.С. Механіко – технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'єв, В.І. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
26. 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.
27. 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.
28. Основи лінійної теорії пружності, пластичності та повзучості: Навч. посібник / Е.Д. Чихладзе, М.А. Веревічева, Є.І. Галагуря та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 149 с.
29. Максимович В.М., Коцюба А.Ю., Лавренчук С.В. Плоскі контактні задачі теорії пружності для тіл складної форми. Монографія. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – 98 с.
30. 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.
31. 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.
32. 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)

33. 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)
34. 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)
35. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машина сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.
36. 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)
37. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.
38. Єрмаков О.Ю. Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.