МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення конструкції пневматичного висівного апарату в посівних машинах для стрічкового висіву насіння цукрових буряків»

Виконав: студент _4 курсу, групи 41-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Качурівський Іван Михайлович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник _к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

Вступ……... 3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ…… 4
1.1. Технології вирощування цукрових буряків на насіння ……. 4
1.2. Аналіз посівних машин та їх робочих органів для висіву насіння цукрових буряків …… 9
Висновки по розділу……. 14
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ…….. 15
2.1. Обґрунтування конструктивної схеми удосконаленого висівного апарату для стрічкового висіву насіння цукрових буряків ……...……. 15
2.2. Моделювання процесу поділу насіння у подільнику …… 16
2.3. Дослідження поділу насіння цукрових буряків подільником потоку до висівного апарату ……... 21
Висновки по розділу……. 26
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ……. 27
3.1. Організація охорони праці в господарстві…….. 27
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи із посівними машинами ..……... 28
Висновки по розділу……. 29
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ…… 30
Висновки по розділу……. 33
Загальні висновки…….. 34
Список використаних джерел…….. 35

ВСТУП

Насіння цукрових буряків є важливим напрямком в агропромисловому комплексі, оскільки використання якісного насіння істотно впливає на урожайність коренеплодів. Для зміцнення технологічного виробництва у сфері буряківництва необхідно збільшити на ринку кількість та якість посівного матеріалу вітчизняного виробника. Проте, існуючі способи посіву цукрових буряків на насіння мають певні недоліки, пов’язані з формуванням раціональної густоти насадження рослин.

Виходячи з вищесказаного, одним із актуальних напрямків впровадження схеми міжрядь посіву цукрових буряків на насіння є розробка посівних машин, здатних висівати насіння у два рядки з відстанню між ними 15 см та розміщенням його у шаховому порядку один відносно одного.

Таким чином, виникає потреба розробити пристосування, що дозволяє здійснювати висів насіння цукрових буряків стрічковим способом з однієї висівної секції, що є актуальним завданням на сьогодні.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1. Технології вирощування цукрових буряків на насіння.

Терміни посіву буряків залежать від біологічних особливостей культури та умов ґрунтового середовища. За даними науковців [1], насіння культури починають проростати при температурному режимі 3…6° С, а сходи рослин можуть пережити морози до -3...-4 °С. Цукрові буряки висівають в основному пунктирним способом, тобто, коли насіння в рядку розміщуються по одному на заданій відстані одне від одного [4]. Норма висіву варіюється в районі 100 тис. шт. на гектар, що пов’язано з потребою коренеплоду у великій площі росту. Для зниження ризику пошкодження насіння застосовують протруювання, що захищає від зараження шкідниками та хворобами.

Терміни збирання насіння цукрових буряків плаваючі – їх коригують залежно від погоди, готовності техніки та особливостей сорту. Передчасне збирання знижує посівні якості насіння, а запізнення загрожує його обсипанням. До збирання приступають, коли плоди насінники втрачають зелене забарвлення і на 30... 40% стають бурими, а саме насіння стає борошнистим. Збирання проводять переобладнаними зернозбиральними комбайнами або вручну. В сучасному насінництві цукрових буряків практикується три способи вирощування насінників [1]:

- посадковий, коли використовуються коренеплоди масою 300 г і більше із збереженням їх узимку в кагатах;

- безпосадковий – здійснюють посів насіння влітку на густоту 400...500 тис. шт./га з їх зимуванням на полі;

- перепосадковий – штеклінги (коренеплоди від 50 до 200 г) викопують восени і укладають у коренесховище з наступною їхньою висадкою в поле.

У разі посадкового та перепосадкового способу коренеплоди викопують за допомогою причіпних або самохідних комбайнів при настанні стійкого похолодання при температурі нижче 10° С [1]. Викопані коренеплоди після

збирання зберігаються надземним, підземним або стаціонарним способами (спецсховища або підвали), при цьому потрібно створити умови для успішного зберігання – температура 2...3° С, відносна вологість близько 90%.

Після весняної підготовки ґрунту реалізують посадку маточників, які спочатку витягують із сховища, а потім на перебірному столі прибирають загнилі залишки та некондиційні коренеплоди [12]. Висаджують маточники за допомогою засобів механізації. При посадці необхідно дотримуватися вертикальності розташування в борозні, глибини загортання, так, як над головкою коренеплоду повинен бути щільно прилеглий по всій поверхні ґрунт, висотою 2...2,5 см.

З врахуванням кліматичних умов існує спосіб вирощування штеклінгів, тобто використання коренеплодів масою близько 150 г, що є найбільш перспективним для регіонів з великими морозами. Дана концепція полягає в тому, що маточники дрібних розмірів вирощують із більш загущеною посадкою. Це дозволяє отримати коренеплоди невеликого розміру з великим виходом насіння, так, як насіннєва продуктивність маточників зростає із зменшенням маси [1]. За даними досліджень науковців було визначено, що маса штеклінгу повинна бути в межах 100...300 г [1]. При масі маточника менше 100 г вихід насіння різко знижувався.

З врахуванням найбільшої продуктивності штеклінгів при посадці їх у кількості, тотожній масі великих маточників, можна підвищити валовий збір насіння, що дозволить компенсувати додаткові витрати.

До посіву насіння цукрових буряків висуваються такі вимоги:

- поштучний відбір насіння з бункера [1] або камери забору сівалки;
- висів насіння в борозну через рівні проміжки часу та з найменшої висоти;
- забезпечення вертикальної траєкторії падіння;
- мінімізація пошкодження посівного матеріалу.

Посів насіння цукрових буряків на початку XX ст. виконували горизонтально-дисковими апаратами, які задовільно виконували тільки поштучний відбір. Враховуючи низьку схожість, норма висіву для цукрових буряків була свідомо більшою, а остаточне формування густоти насадження (5...6

рівновіддалених рослин на одному метрі) здійснювалося за допомогою ручної праці. Були спроби винаходу механізованих проріджувачів рослин, проте через високу складність експлуатації в масове виробництво вони не пішли [2].

Невдовзі вченими-селекціонерами було виведено сорти одноросткового насіння з високим відсотком (до 96%) схожості. Тому, на зміну горизонтально-дисковим апаратам прийшли вертикально-дискові апарати. Найбільш відомий із них встановлений на сівалці СКТ-12. Цей висівний апарат пережив багато модернізацій, частина яких навіть не була впроваджена у виробництво. Проте, він має низку недоліків:

- підвищена металоємність конструкції;

- високе пошкодження насіння;

- висівний диск повинен мати певний розмір комірок під кожну фракцію навіть однієї культури.

Незважаючи на недоліки вчені удосконалюють даний висівний апарат, в тому числі й для використання в насінництві цукрових буряків [1].

В країнах західної Європи та Америки на початку XX ст. проводили дослідження із застосування пневматики на сівалках точного висіву. Висівні апарати були вертикально-дискові з підведенням розрідження [1]. Їх застосування було перспективним рішенням завдяки ряду переваг:

- низьке пошкодження насіннєвого матеріалу;

- немає потреби у ретельному калібруванні насіння;

- універсальність, тобто, можливий висів багатьох технічних просапних культур при простій заміні диска у висівному апараті;

- дотримання вимог до якості посіву.

Проте, висівний апарат має і свої недоліки:

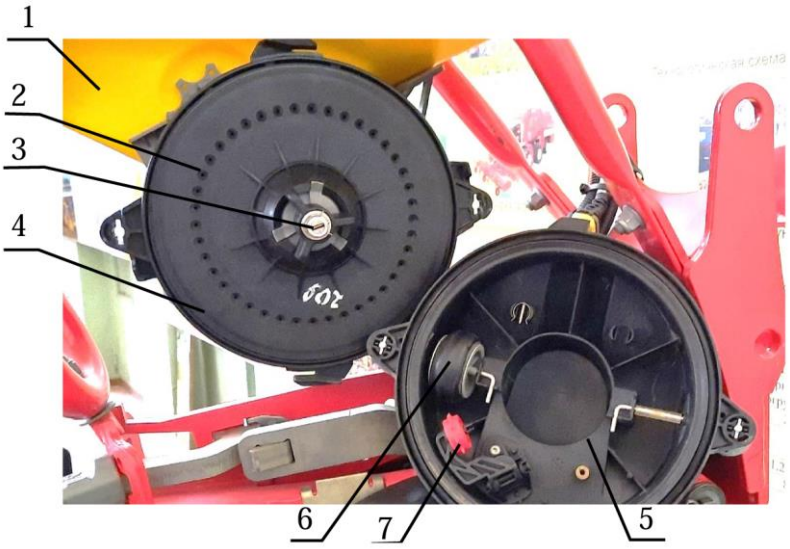
- ускладнення конструкції через використання патрубків та вентилятора з приводом від ВВП;

- чутливість процесу присмоктування насіння до нестабільності створюваного розрідження;

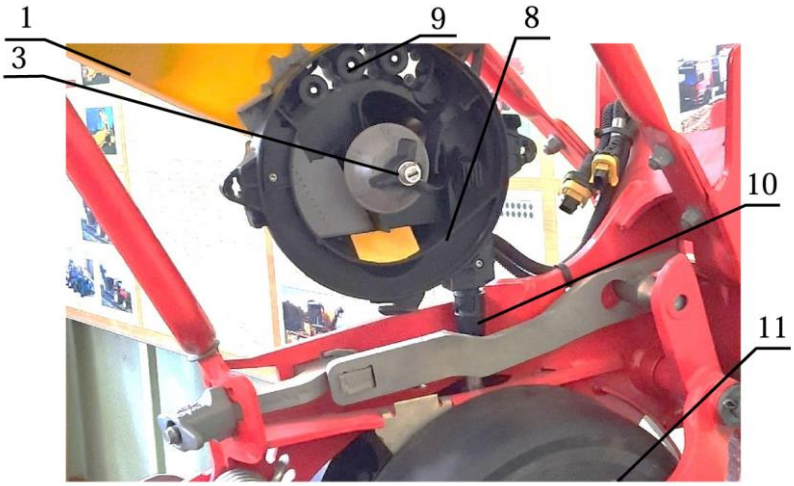
- підвищене енергоспоживання корисної потужності тягового засобу;

- додатковий шум від вентилятора.

Враховуючи зазначені переваги, сучасні моделі сівалок точного висіву з пневмовакуумними висівними апаратами відіграють ключову роль в реалізації точного висіву. Розглянемо роботу висівного апарату, працюючого за рахунок надлишкового тиску, сівалки Tempo Vaderstad [7] (Рис. 1.1).



а) висівний апарат сівалки



б) висівна секція сівалки

Рисунок 1.1 – Посівна секція сівалки Tempo Vaderstad:

1 – бункер, 2 – висівний диск, 3 – привід диска з механізмом кріплення,

4 – отвір диска, 5 – кришка висівного апарату,

6 – притискний коток, 7 – голчастий коток, 8 – пневматична камера,

9 – відсікач зайвого насіння, 10 – насіннєпровід, 11 – прикочувальний коток.

Працює висівний апарат в такий спосіб. Насіння з бункера *1* самопливом надходить у попередню камеру *8*, де за допомогою вентилятора створюється надлишковий тиск, який переміщає його до отворів *4* диска *2*, де вони утримуються за рахунок стаціонарного повітряного потоку в камері. Для більшої герметичності диска до камери на кришці висівного апарату *5* встановлені притискувальні котки *6*, які притискають диск до камери надлишкового тиску. Працює висівний апарат від електродвигуна, на вал якого закріплюється швидкознімний механізм *3*, що дозволяє міняти диски протягом однієї-двох хвилин з врахуванням зняття та встановлення кришки. Електропривід сівалки дозволяє регулювати норму висіву безступінчасто, а вологий грунт не впливає на роботу сівалки. У цьому випадку частота обертання валу електродвигуна синхронізована із швидкістю машинно-тракторного агрегату, що зчитується радаром з ефектом Доплера [7].

Висів насіння здійснюється за допомогою голчастого котка *7*, який відриває частку від отвору диска *4*, внаслідок чого вона захоплюється надлишковим тиском й переміщається в насіннєпровід *10*, а потім в дисковий сошник. Зайве насіння від диска відокремлюється за допомогою відсікача *9*.

Представлений висівний апарат має також недоліки:

- високі вимоги до герметичності з’єднань висівного апарату;

- наявність системи електродвигун-висівний апарат висуває високі вимоги до їх синхронної роботи;

- підвищена чутливість до зовнішніх умов через складності конструкції висівного апарату та системи управління.

Таким чином, висівним апаратам надлишкового тиску властиві недоліки, пов’язані з високою складністю виготовлення, експлуатації та вимогами до герметичності з’єднань. Для вакуумних висівних апаратів характерна відносно низька швидкість виходу насіння в сошник та борозну, що визначається частотою обертання диска. У зв’язку з цим збільшується коефіцієнт варіації розподілу інтервалів. Проте, такий апарат відрізняється простотою конструкції та найбільш

поширений на існуючих сівалках точного висіву, тому він може бути використаний в наших дослідженнях.

1.2. Аналіз посівних машин та їх робочих органів для висіву насіння цукрових буряків.

Однією із проблем впровадження схеми міжрядь 45+15 см (Рис. 1.2) є відсутність комплексу машин для вирощування цукрових буряків. Проте, дослідження в цій галузі проводяться, і в якості вітчизняної розробки можна навести модель сівалки на базі ССТ-12Б (Рис. 1.3). У висівному апараті встановлені два диски з кутовим зміщенням на одній висівній секції, за рахунок чого досягається висів насіння у два суміжні рядки в шаховому порядку [10].

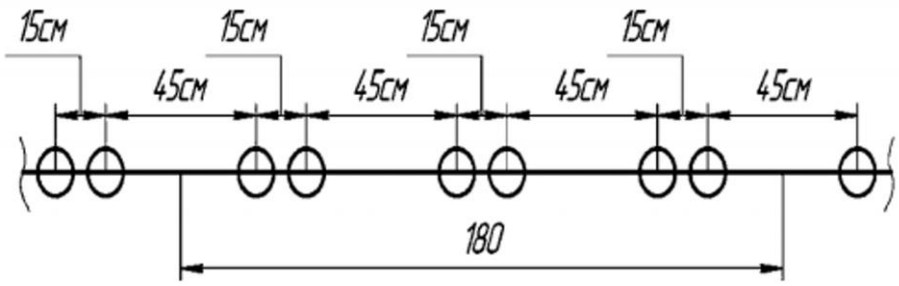


Рисунок 1.2 – Схема міжрядь 45+15 см



Рисунок 1.3 – Модернізована сівалка на базі ССТ-12Б:
1 – бункер, 2 – суміщені висівні апарати, 3 – прикочувальний коток,
4 – загортач, 5 – рама та навісний пристрій трактора.

Пристрій являє собою подільник потоку насіння з одного висівного апарату сівалки ССТ-12Б на два рядки (Рис. 1.4-1.5). Конструкція є трійником, що складається з вхідного відводу з перегородкою *2* та двох косих відводів *1* у

вигляді трубки прямокутного перерізу. Встановлюється відразу після висівного диска сівалки [10].

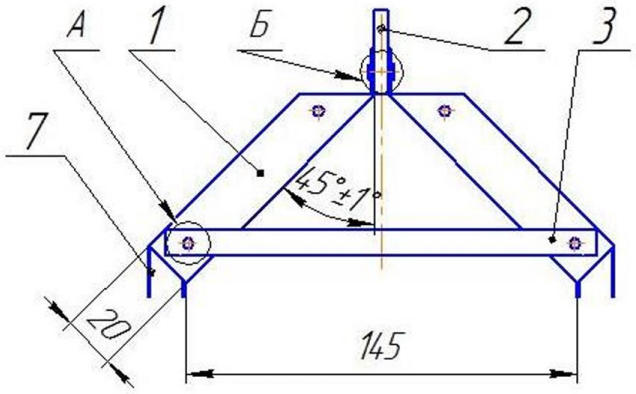


Рисунок 1.4 – Подільник потоку на сівалці СКТ-12Б:
1 – трубка прямокутного перерізу, 2 – перегородка,
3 – підсилювальна пластина, 7 – напрямні пластини.

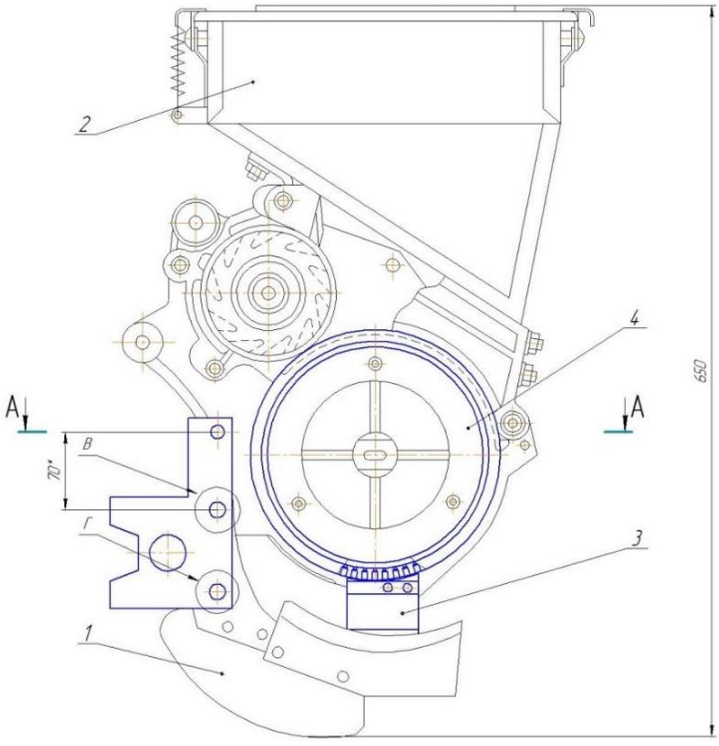


Рисунок 1.5 – Посадкове місце для подільника на сівалці:
1 – сошник сівалки, 2 – бункер, 3 – подільник потоку, 4 – дворядний висівний диск.

Для роботи подільника необхідно, щоб на сівалці було встановлено дворядний висівний диск. Принцип роботи пристрою полягає в тому, що насіння з лівого ряду диска падає в лівий косий відвід і до лівого сошника, а з правого – у відповідне відведення та сошник [10].

Також нами пропонується пневматичний висівний апарат для дворядного висіву насіння просапних культур з пластинчастими напрямниками (Рис. 1.6).

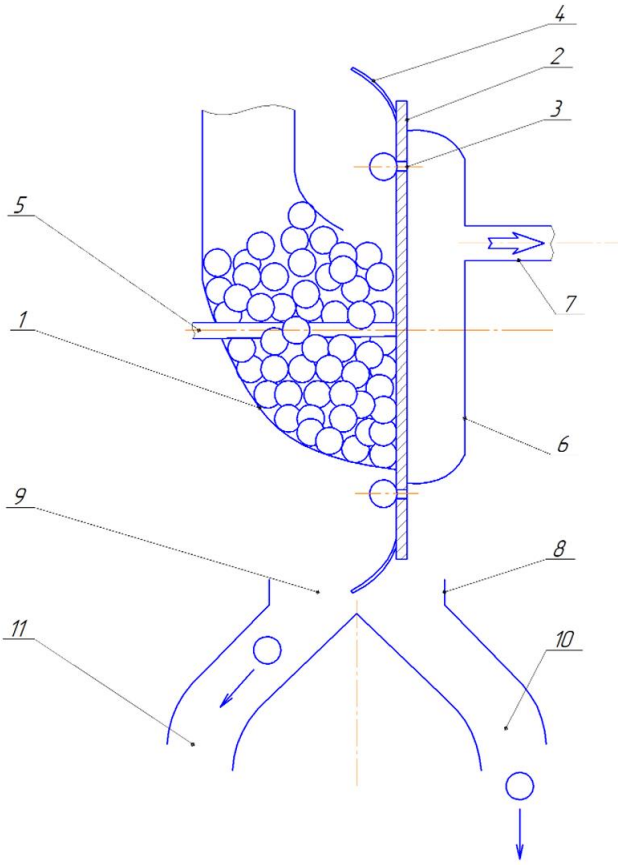


Рисунок 1.6 – Пневматичний висівний апарат для дворядного висіву:
1 – камера заповнення, 2 – висівний диск, 3 – отвори комірок диска,
4 – пластинчастий напрямник, 5 – приводний вал диска, 6 – вакуумна камера,
7 – патрубок, 8 – вхідний відвід, 9 – вхідний канал, 10 та 11 – вихідні канали.

Пневматичний висівний апарат для дворядного висіву (Рис. 1.6) просапних культур включає камеру заповнення *1*, в яку надходить насіння з бункера (не показаний), вертикально розташований висівний диск *2* наскрізними непрохідними комірками *3*, пластинчастими напрямниками *4* (Рис. 1.7) й приводним валом *5*, вакуумною камерою *6* з патрубком *7* та дільником *8* з вхідним каналом *9* та двома вихідними каналами *10* і *11*. Напрямники *4* розміщені на кожній другій комірці на окружності з більшим радіусом, ніж радіус окружності розміщення комірок. Подільник *8* встановлений асиметрично по відношенню до робочої площини висівного диска, що прилягає до камери заповнення таким чином, що ця площина збігається з одним із двох вихідних каналів подільника.

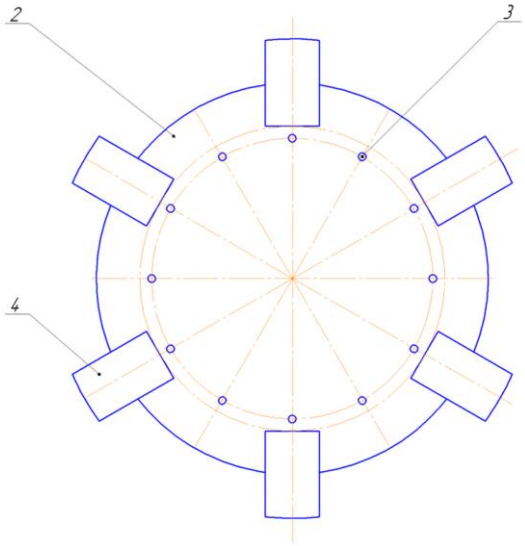


Рисунок 1.7 – Висівний диск пневматичного висівного апарату:
2 – висівний диск; 3 – отвір висівного диска; 4 – пластинчастий напрямник.

Пневматичний висівний апарат для дворядного висіву просапних культур працює наступним чином. Насіннєвий матеріал, що знаходиться в камері заповнення, контактує з обертовим висівним диском *2*, присмоктується за рахунок розрідження до отворів диска *3* та виноситься з камери заповнення. У нижній точці траєкторії обертання висівного диска отвори виходять з зони дії вакуумної камери *6*, і насіння падає вниз у напрямку до сошника. Спочатку вони потрапляють у вхідний канал *9* подільника *8*. Отвори *3*, біля яких немає напрямника *4*, викидають насіння відразу у вихідний канал *10*. Якщо біля отвору є напрямник, то частка зміщується в поперечному напрямку й потрапляє у вихідний канал *11*. Таким чином, насіння залишає висівний апарат двома потоками, які у грунті утворюють два рядки з шаховим розміщенням. Відстань між рядками дорівнює відстані між вихідними каналами дільника [10].

Пропонована розробка реалізує дворядний посів просапних культур за допомогою однорядкової секції сівалки точного висіву, внаслідок чого збільшується площа росту рослин.

Закордонні виробники з компанії Lemken вже у 2019 р. презентували серійний зразок сівалки Azurit 9/8.75 KD (Рис. 1.8), яка відрізняється не тільки використанням центрального насіннєвого 600-літрового бункера на всі секції, що висівають, але і реалізацією технології DeltaRow [8].

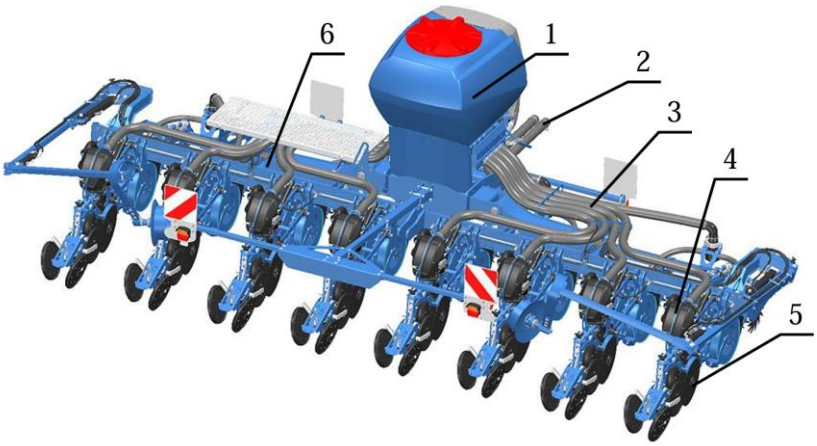


Рисунок 1.8 – Сівалка Azurit 9/8.75 KD від Lemken:
1 – центральний бункер, 2 – магістраль нагнітання повітря,
3 – трубопроводи подачі насіння до висівних апаратів, 4 – висівний апарат,
5 – дискові сошники напіврядів DeltaRow, 6 – рама.

За даними виробника, її основа – це висів насіння технічних культур у ряд з 2-х півряді на відстані 12,5 см один від одного, між якими укладаються добрива. Схема розподілу рослин при такому посіві представлена на Рис. 1.9, на якому видно, що зона росту рослин, позначена великим синім кружком, за рахунок шахового розташування збільшується порівняно з класичною схемою до 70% [7], що дотично впливає й на прогнозовану урожайність рослин.

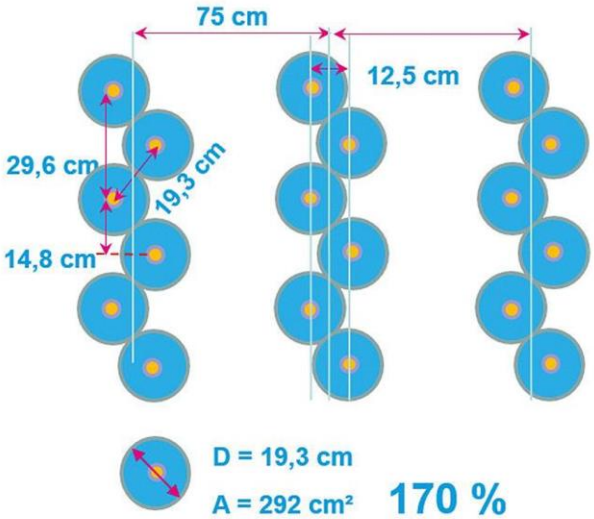


Рисунок 1.9 – Технологія DeltaRow

На підставі вищесказаного можна зробити висновок, що в контексті розвитку насінництва цукрових буряків рекомендується розпочати з використання

доступних на ринку машин, здатних працювати за схемою розміщення міжрядь 45+15 см, в тому числі описаних у даному розділі.

Висновки по розділу

Таким чином, в даному розділі наведено технології вирощування цукрових буряків на насіння й відповідно далі проведений аналіз технічних засобів та їх робочих органів саме для стрічкового посіву цукрових буряків на насіння.

В результаті проведених досліджень в першому розділі визначено, що для розвитку насінництва цукрових буряків рекомендується удосконалення існуючої техніки на ринку, тобто машини, яка буде здатна працювати за схемою розміщення міжрядь цукрових буряків 45+15 см.

РОЗДІЛ 2
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування конструктивної схеми удосконаленого висівного апарату для стрічкового висіву насіння цукрових буряків.

Для реалізації стрічкового висіву насіння цукрових буряків розглядалися кілька можливих шляхів:

- встановлення додаткових висівних апаратів;
- зміна конструкції існуючих висівних апаратів;
- розробка подільника до висівного апарату.

Ширина посівних секцій існуючих пневматичних висівних апаратів не дозволяє розмістити їх на одному брусі рами, що вимагатиме зміни конструкції всієї сівалки.

Пристрій для поділу насіння на виході з висівного апарату та його стрічкового висіву за схемою 45+15 см представлений на рис. 2.1.

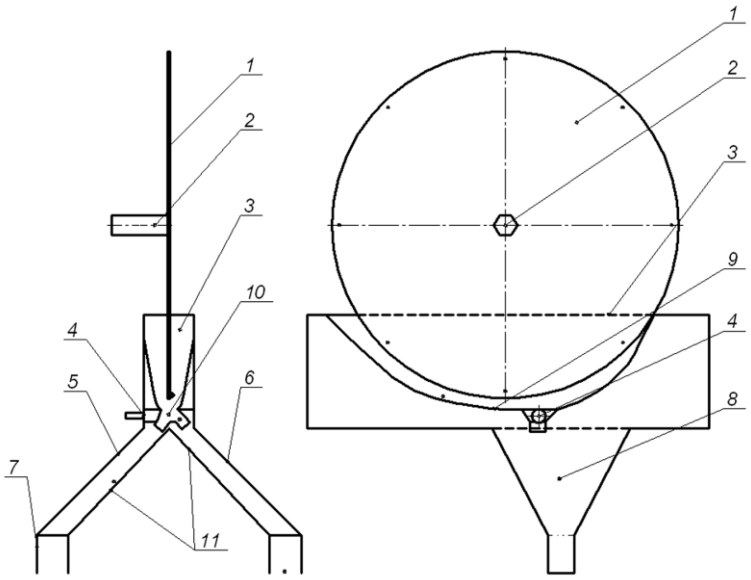


Рисунок 2.1 – Схема пристрою подільника потоку насіння з висівного апарату сівалки точного висіву:

1 – висівний диск, 2 – вал приводу диска, 3 – вертикальний вхідний відвід, 4 – форсунка подачі повітря, 5 і 6 – зовнішні стінки вихідного відведення, 7 – напрямники насіння, 8 – насіння цукрового буряка, 9 – похилий лоток для подачі насіння до повітряної камери, 10 – повітряна камера, 11 – внутрішня стінка відведення.

Подільник потоку виконаний у вигляді трійника, що складається з вертикального вхідного відведення *3* (Рис. 2.1), виконаного у формі прямокутного паралелепіпеда, й двох косих відводів *5* і *6*, виконаних у формі трапецеїдальної призми. У вертикальному вхідному відводі розташовується повітряна камера *4* із встановленою форсункою інжекторної пневмосистеми, виконаної з можливістю дискретної подачі повітря з частотою, що дорівнює половині частоти сходження насіння з висівного диска.

Працює пропонований пристрій наступним чином: посівний матеріал з висівного диска *1* надходить у вертикальний вхідний відвід *3* подільника потоку та за відсутності подачі повітря в повітряну камеру *4* потрапляє на початок косого відведення *5* з боку розміщення форсунки, потім в посівне ложе, що створюється першим сошником. При подачі повітря до форсунки насіння зміщується струменем у поперечному напрямку та потрапляє на початок косого відведення *6*, з протилежної від розміщення форсунки сторони, а після – в борозну, що створена другим сошником [6, 12].

Для визначення умов присмоктування насіння до отворів диска, траєкторії руху насіння від диска до виходу з подільника при дворядному посіві нами були розроблені математичні моделі.

2.2. Моделювання процесу поділу насіння у подільнику.

Насіння після сходу з лотка потрапляє у повітряну камеру, яка встановлена у другій частині подільника (Рис. 2.2). Вона складається із зони створення повітряного потоку та трійника, в якому насіннєвий матеріал рухається під впливом сили тяжіння [3]. Вихідні відводи подільника необхідно встановити таким чином, щоб насіння зміщувалося відносно центру на 0,075 м, нахил відводів відносно лінії горизонту становить 45°. Для моделювання ми вводимо нову локальну систему координат, в якій вісь *z* розташовується в поперечному напрямку відносно руху агрегату, а вісь *y* зміщується вниз на 0,1 м відносно координати початку падіння насіння. Враховуючи, що швидкість вздовж осі

ординат набагато більша, ніж вздовж осі абсцис – v_{x2}=0,05 м/с ≪ v_{y2}=−0,87 м/с, то переміщенням вздовж цієї осі при моделюванні знехтували.

Після скочування зі збірного лотка насіння здійснює політ до повітряної камери. Траєкторію руху насіння визначаємо, використовуючи рівняння польоту з врахуванням впливу повітряного потоку вздовж осі *z*:

$$m_{\text{сем}}\vec{a} = m_{\text{сем}}k\overrightarrow{v^2} + m_{\text{сем}}\vec{g} - m_{\text{сем}}k\overrightarrow{u^2}, \tag{2.1}$$

де $\vec{u}$ – швидкість повітряного потоку, м/с. Скоротивши масу, отримаємо:

$$\vec{a} = k\overrightarrow{v^2} + \vec{g} - k\overrightarrow{u^2}. \tag{2.2}$$

Проекції рівняння 2.2 на осі координат дозволяють отримати систему квазілінійних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2z}{dt^2} + k \cdot \dfrac{dz}{dt}\sqrt{\left(\dfrac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\dfrac{dy}{dt}\right)^2} - ku^2 = 0 \\ \dfrac{d^2y}{dt^2} + k \cdot \dfrac{dy}{dt}\sqrt{\left(\dfrac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\dfrac{dy}{dt}\right)^2} + g = 0 \end{cases}, \tag{2.3}$$

де t_2 – проміжок часу від моменту відриву насіння від висівного диска до попадання в повітряну камеру; y_2 – координата попадання насіння в повітряну камеру по осі ординат, м; vy_1 – швидкість польоту насіння в момент попадання в повітряну камеру по осі ординат, vy_1=−0,87 м/с, знак мінус дає нам розуміння того, що вектор швидкості спрямований у протилежний бік від осі y; u – швидкість повітряного потоку, u=30 м/с.

Початковими умовами системи рівнянь 2.2 є вирішення системи рівнянь 2.3: $z(t_2) = -0{,}005; y(t_2) = 0;\ \frac{dz}{dt}(t_2) = 0; \frac{dy}{dt}(t_2) = v_{y1}$. Прискорення повітряного потоку $k\overrightarrow{u^2}$ спрямовано вздовж осі *Oz*, тому його проекція підставляється лише в перше рівняння.

Виходячи з конструктивних параметрів подільника та тривалості впливу повітряного потоку на насіння, що зміщується, прийняли діаметр повітряної камери 0,01 м. Результатом розв'язання системи рівнянь 2.3 є час польоту, що дорівнює t_3=0,009 с, і швидкість $\frac{dz}{dt} = 0{,}81$ м/с, $\frac{dy}{dt} = -1{,}14$ м/с. З повітряної камери

частка летить під дією сили тяжіння та сили опору повітря за закономірністю, заданою рівнянням наведеним вище з початковими умовами, отриманими на підставі розв’язку рівняння 2.3.

В ході моделювання [3] прийняли швидкість потоку повітря 30 м/с. Висока швидкість обумовлена тим, що стиснене повітря діє на насіннєвій матеріал тільки в межах повітряної камери, де швидкість польоту насіння складає 0,87 м/с. Було визначено, що при куті нахилу внутрішніх стінок вихідного відведення в 45° кут входу становить 63°, швидкість насіння в момент удару у внутрішню стінку – 1,76 м/с. При такій швидкості пошкодження насіння та деформація незначні, тому при моделюванні приймемо, що відскок відбуватиметься за законами абсолютно пружного удару [6].

Тому, насіння відскакує під тим самим кутом від нормалі до поверхні внутрішньої стінки подільника та з тією ж початковою швидкістю. Відповідно, для опису моделювання відскоку скористаємося системою рівнянь 2.1. Визначені в результаті моделювання траєкторія руху насіння у лівому відведенні під дією сили тяжіння та траєкторія у правому відведенні з врахуванням дії повітряного потоку представлені на рис. 2.2.

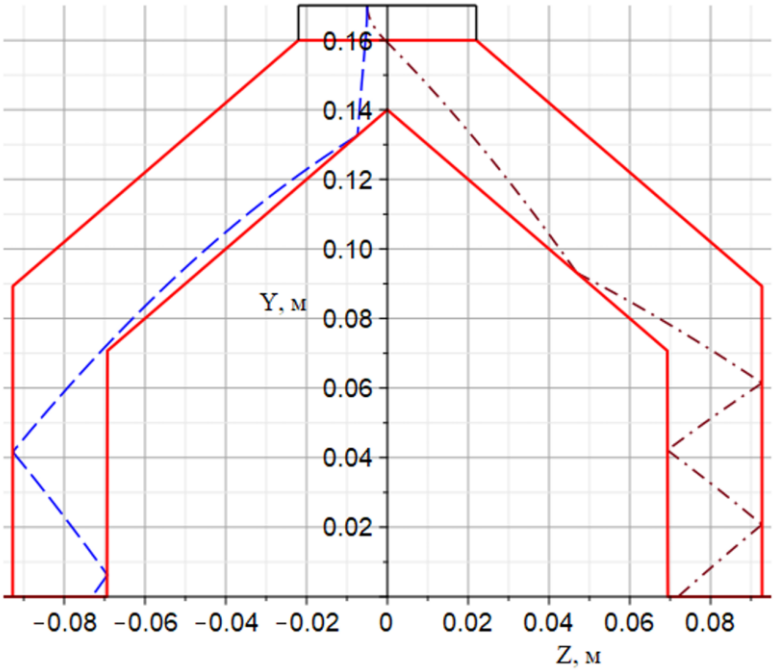


Рисунок 2.2 – Траєкторія польоту частки у проектованому пристрої з врахуванням абсолютно пружного зіткнення

З Рис. 2.2 видно, що після потрапляння в повітряну камеру позначену горизонтальною лінією з координатою y=0,17 м, на насіння діє повітряний потік зліва направо зі швидкістю 30 м/с до горизонтальної лінії з координатою y=0,16 м. У цьому інтервалі під дією сили опору повітряного потоку насіння змінює свою траєкторію і набуває горизонтальну складову швидкості у напрямку осі z і потрапляє в праве відведення. В подальшому насіння, збільшуючи швидкість під дією прискорення вільного падіння, зіштовхується із внутрішньою стінкою подільника й відскакує під тим самим кутом до нормалі в 63° з тією ж початковою швидкістю v_3=1,41 м/с до зіткнення із зовнішньою стінкою відведення подільника. За рахунок декількох зіткнень та відскоків час переміщення насіння збільшується до 0,128 с та швидкість – до 2,2 м/с.

При проходженні через повітряну камеру попереднього та наступного насіння відсутня подача бічного повітряного потоку, тому насіння потрапляє в ліве відведення за рахунок зміщення осі подільника у правий бік. При досягненні внутрішньої стінки лівого бокового відведення насіння має швидкість $v_3^{л}$=1,36 м/с та після відскоку досягає зовнішньої бічної стінки. У цьому випадку кількість зіткнень менша, ніж для насіння, зміщеного у праве відведення під дією повітряного потоку, при цьому час руху становить 0,133 с.

Після циклу розрахунку систем рівнянь, встановили значення швидкості падіння насіння в борозну для правого відведення 2,2 м/с та для лівого 2,1 м/с. При зменшенні швидкості повітряного потоку до 22 м/с траєкторія руху посівного матеріалу внаслідок моделювання представлена на рис. 2.3.

З рисунка видно, що насіння приземляється ближче до вершини внутрішньої стінки подільника, що збільшує траєкторію руху насіння після відскоку та загальну тривалість падіння насіння до 0,64 с, швидкість приземлення в борозну – 2,13 м/с. При подальшому зниженні швидкості повітряного потоку будуть відбуватися зіткнення з похилою зовнішньою стіною, що збільшить різницю в часі руху насіння в лівому та правому відводах. При швидкості повітряного потоку 35±2 м/с кількість ударів насіння з корпусом подільника знижується (Рис. 2.4), час польоту становить 0,1 с.

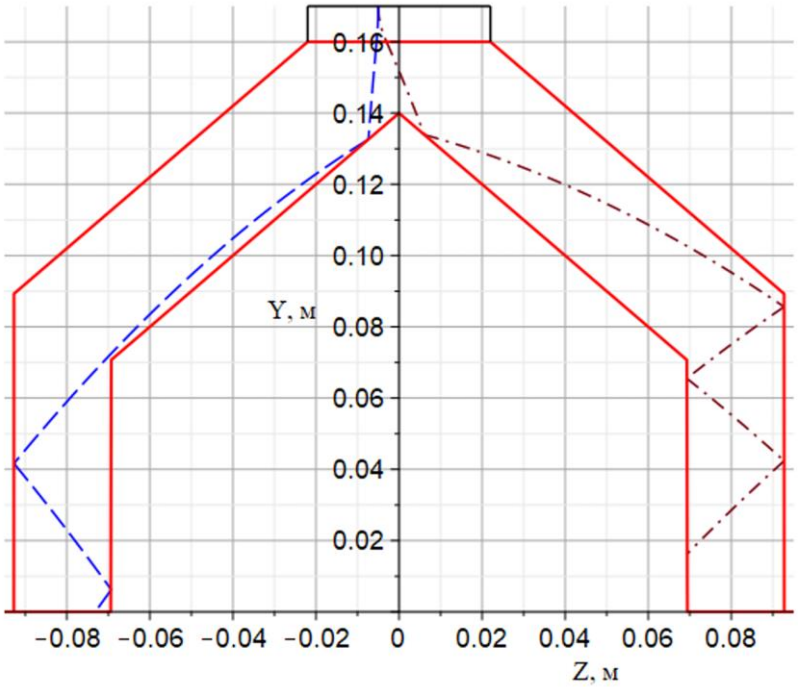


Рисунок 2.3 – Траєкторія польоту насіння при швидкості потоку повітря 22 м/с

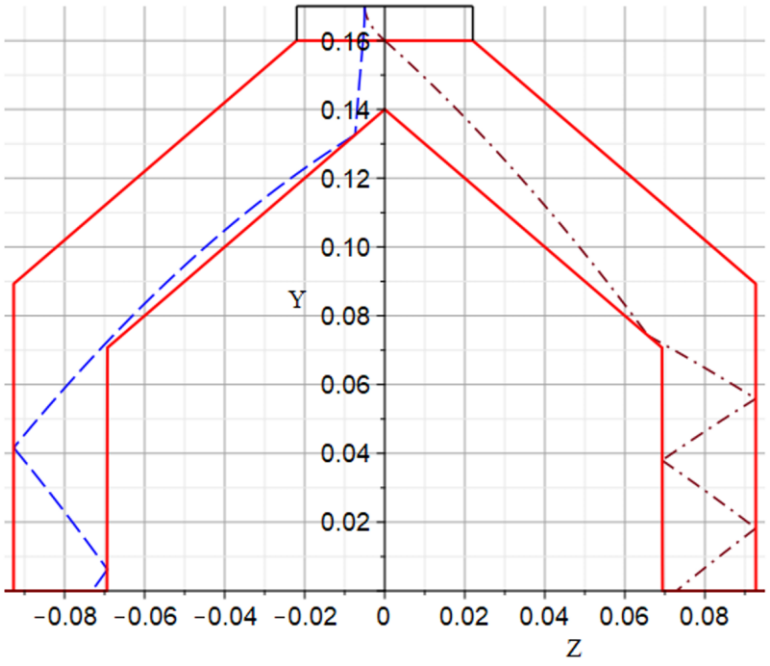


Рисунок 2.4 – Траєкторія польоту насіння при швидкості потоку повітря 35 м/с

Таким чином, моделювання процесу поділу та руху насіння у відводах подільника потоку дозволяє визначити раціональний режим роботи пневмосистеми подільника. При діаметрі повітряної камери 0,01 м швидкість повітряного потоку має становити понад 22 м/с. За такого режиму час рух у

правому відводі становить 0,128 с. Зі збільшенням швидкості повітряного потоку до 35 м/с, час руху знижується до 0,1 с. Час переміщення у лівому відводі, куди насіння потрапляє без участі поперечного повітряного потоку складає 0,133 с. Подальше збільшення швидкості поперечного повітряного потоку призведе до зменшення кількості зіткнень насіння зі стінками відводів та часу їх руху у правому відведенні, що призведе до збільшення різниці в часі руху посівного матеріалу у відводах та зміщення місця розташування насіння в суміжних рядках однієї стрічки. Отже, швидкість повітряного потоку за результатами моделювання раціонально змінювати від 22 до 35 м/с.

Для забезпечення такої швидкості потрібно визначити тиск у нагнітальній пневмосистемі. Розрахувати можна, скориставшись відомою формулою Пуазейля [3], в якій різниця тисків при ламінарному перебігу визначається співвідношенням:

$$\Delta p_{\text{в}} = \frac{4L \cdot u \cdot \eta}{R_{\text{ф}}^2}, \tag{2.4}$$

де $\Delta p_в$ – різниця тисків на кінцях трубопроводу, Па; L – довжина трубопроводу, м; η – динамічна в’язкість, Па·с; $R_{\text{ф}}$ – радіус сопла, м.

Для трубопроводу приймемо довжину L=0,12 м і радіус R=0,0001 м. Динамічна в’язкість для повітря за нормальних умов становить η=1,81·10^{-5} Па·с [3]. Для швидкості повітряного потоку в 22 м/с нам необхідно забезпечити тиск у системі $p_{\text{в}}$=1,2·10^5 Па. Для швидкості в 35 м/с – $p_{\text{в}}$=1,4·10^5 Па. Таку величину тиску в системі може забезпечити компресорна установка, яка розміщується в універсально-просапних тракторах базової комплектації.

2.3. Дослідження поділу насіння цукрових буряків подільником потоку до висівного апарату.

При проведенні досліджень режим роботи висівного апарату встановлювали наступний: кутова швидкість диска 1 рад/с, розрідження 30 мбар. Тиск у пневмосистемі подільника встановлювали 0,05; 0,10; 0,15; 0,17 МПа за допомогою

редукційного клапана. Для виключення можливих випадків, пов'язаних з нестабільною роботою керуючого механізму та клапана подачі повітря в подільнику, впливу повітряного потоку піддавалося все насіння, що подавалося отворами висівного диска. Ймовірність зміщення оцінювалася, як відношення кількості зміщеного насіння до загальної кількості, поданої в подільник. Результати дослідження представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати досліджень поділу насіння

Тиск, 10^5 Па	Ймовірність зіткнення насіння повітряним потоком			
	Повторності			Середнє
	1	2	3	
0,5	0,84	0,94	0,86	0,88
0,1	0,96	0,90	0,96	0,94
1,5	0,96	1,00	1,00	0,99
1,7	0,98	0,97	0,99	0,98

З даних, наведених у таблиці 2.1, видно, що більш повне зіткнення насіння повітряним потоком відбувається при тиску 0,1...0,15 МПа. При тиску 0,15...0,17 МПа зміщується 98…99% насіння, яке подається. За результатами теоретичних досліджень тиск у пневмосистемі має становити 0,12...0,14 МПа. Враховуючи невелику різницю між теоретичними та експериментальними значеннями, раціональним режимом вважатиметься тиск 0,15...0,17 МПа.

Отримане раціональне значення тиску було використане в подальших дослідженнях при оцінці якості поділу насіння залежно від частоти обертання висівного диска. Опрацьовані результати експерименту представлені у таблиці 2.2 та відображені на рис. 2.5-2.6.

Аналіз результатів показує, що закономірність зниження якості розділення при збільшенні окружної швидкості диска близька до лінійної, в межах виконання експерименту 0,5…2,5 рад/с. Також зауважимо, що рівняння регресії для відносних мас у лівому та правому рядку описуються лінійною залежністю, в яких тангенс кута нахилу прямої для відносної маси в правому рядку дорівнює – 0,007, а в лівому становить 0,007. На якість поділу насіння подільником впливає і

ймовірність заповнення отворів диска, що має бути близькою до 100%. При кутовій швидкості диска до 1,7 рад/с можливість заповнення отворів диска вище 99%, а якість поділу вища за 97,5%. Якість поділу менше 97% спостерігається при підвищенні кутової швидкості диска вище 2,2 рад/с, при цьому ймовірність заповнення залишається вищою за 98%.

Таблиця 2.2 – Дослідження якості поділу насіння подільником залежно від частоти обертання висівного диска

Частота обертання диска, рад/с	Відносна маса насіння		Якість розділення, %	Ймовірність заповнення, %
	В лівому сошнику	В правому сошнику		
1,0	0,500	0,500	100	100
1,5	0,506	0,494	98,7	99,7
2,0	0,509	0,491	98,0	99,4
2,5	0,516	0,484	96,8	98,2

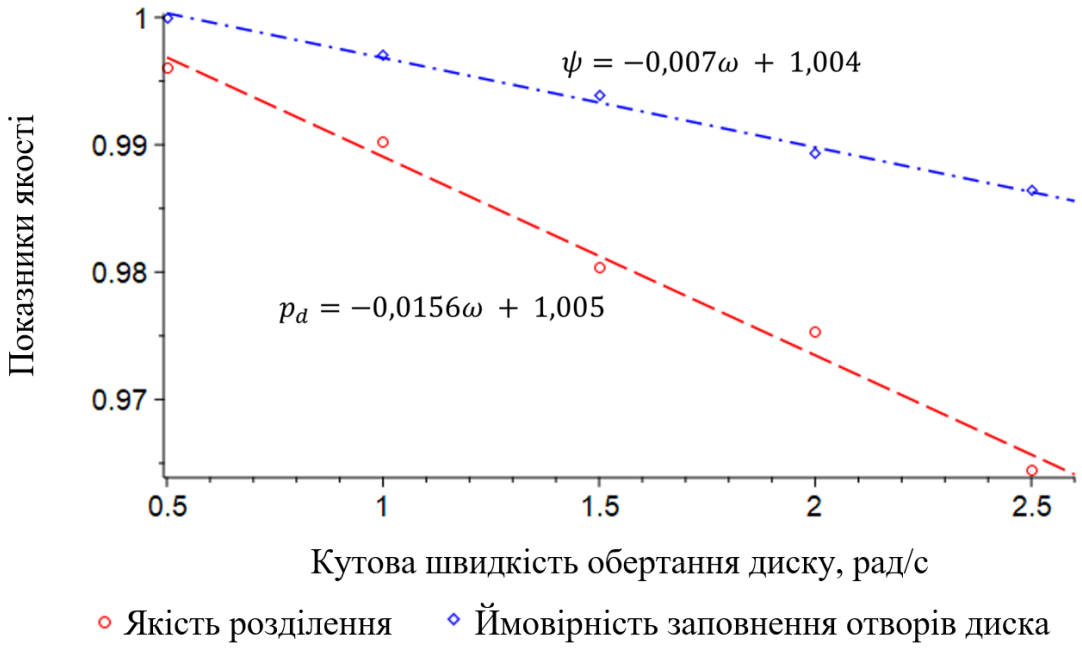


Рисунок 2.5 – Залежність показників якості поділу насіння від частоти обертання висівного диска

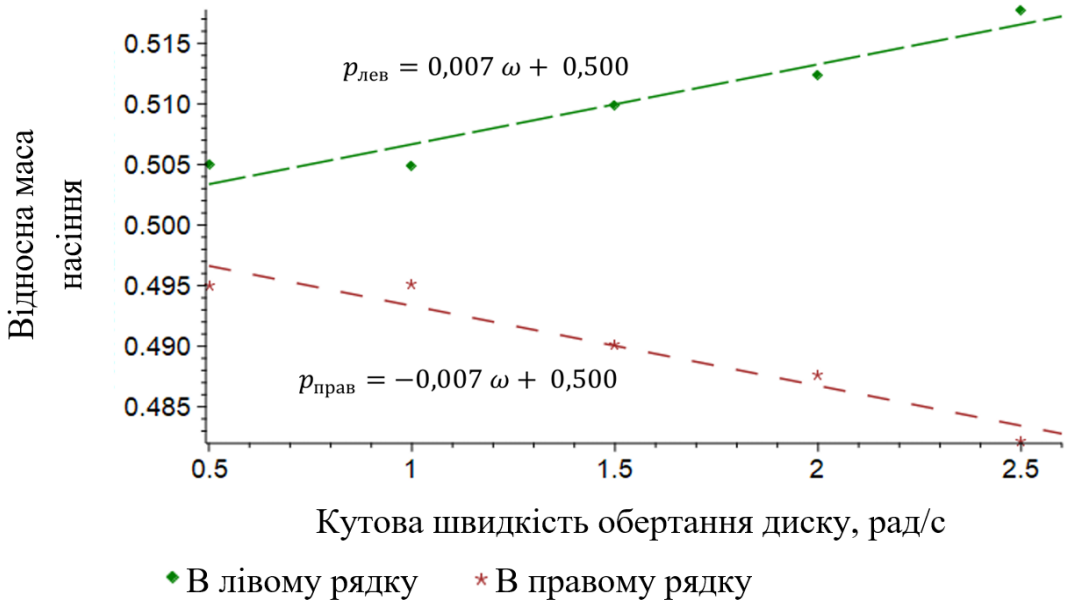


Рисунок 2.6 – Залежність відносної маси насіння в лівому та правому рядках від частоти обертання диска

Розподілення насіння між рядками, що утворюються подільником з одного висівного апарату, наведено на рис. 2.7. З наведених графічних залежностей видно, що неспрацьовування механізму поділу веде до зменшення показника відносної маси насіння для правого рядка й відповідно до збільшення аналогічного показника для лівого рядка.

Нами було сформовано віртуальну стрічку розподілу насіння, що сходить із подільника (Рис. 2.7).

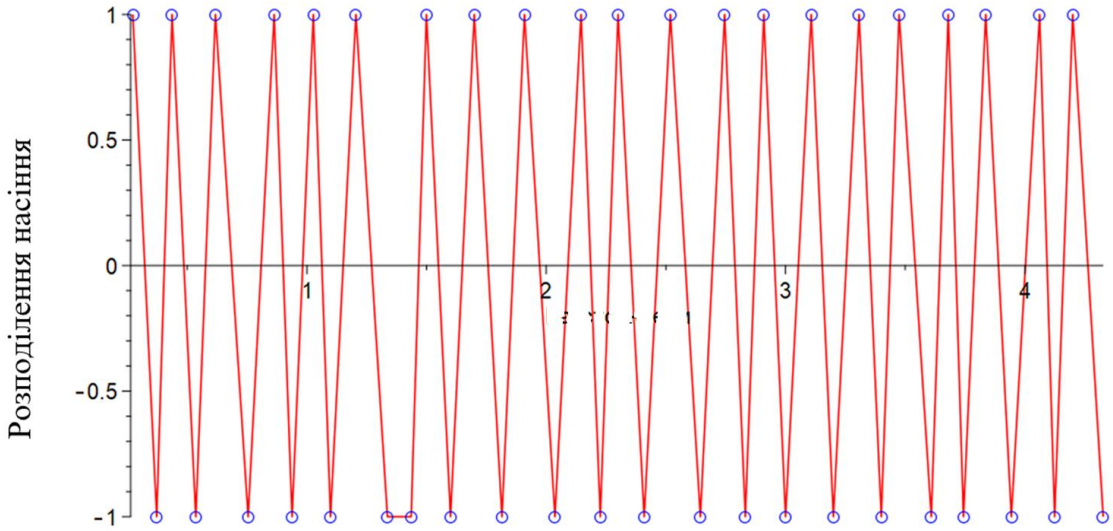


Рисунок 2.7 – Розподілення насіння у два рядки одним висівним апаратом

На графічному зображення бачимо, що насінини, які зміщуються пневмосистемою, умовно представлені вище осі абсцис, не зміщуються – нижче. Ломаною лінією на графіку позначено черговість розподілу насіння в рядках залежно від переміщення висівного апарату з подільником. Відстань між насінинами вище та нижче осі показують розкид між інтервалами їх розміщення у рядках. Наявність горизонтальної лінії, що з'єднує дві сусідніх насінини без перетину осьової лінії, говорить про те, що насінини не були переміщені подільником або подано дві насінини одним отвором.

Отримане розміщення насінин на віртуальній стрічці було опрацьовано статистичними методами, в результаті було визначено для кожного рядка математичне очікування, що характеризує середній інтервал розміщення насінин у борозні, дисперсія, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації. Розподіл інтервалів розміщення насінин, що сходили з подільника, у лівому і правому рядку наведено на рис. 2.8. На рисунку, поряд з експериментальними значеннями, наведені криві щільності розподілу Гаусса, побудовані з врахуванням статистичних характеристик, наведених у таблиці 2.3.

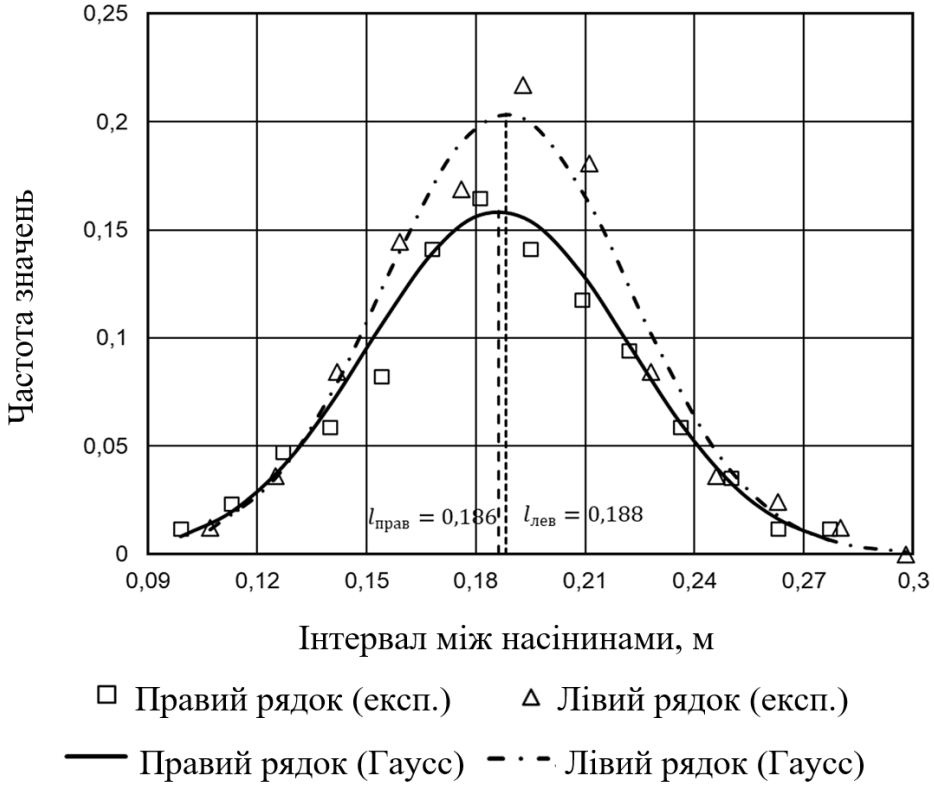


Рисунок 2.8 – Розподілення інтервалів між насінинами у рядках

Таблиця 2.3 – Статистичні характеристики розподілу інтервалів у рядках, сформованих подільником

Показники	Математичне очікування, $\Delta l_{\text{ср}}$	Середнє квадратичне відхилення, σ_l	Коефіцієнт варіації, ν_l
Лівий рядок	0,1883	0,033	0,1794
Правий рядок	0,1863	0,036	0,1929

При аналізі результатів обробки даних визначили, що середній інтервал розміщення насіння в лівому та правому рядках складає в середньому 18,5 см. Це свідчить про те, що при рекомендованому інтервалі від 13 до 19 см дотримується, норма висіву насіння і становить 5...6 шт. на метр в рядку стрічки. Коефіцієнт варіації розміщення насіння для лівого та правого ряду становить менше 0,33 (33%). Це говорить про те, що представлений розподіл близький до розподілу Гаусса. Частка інтервалів між насінинами менше 0,13 і більше 0,26 м, що виникає через відсутність насіння або при присмоктуванні більше однієї насінини до отвору, становить близько 3%, що при ймовірності заповнення 97% цілком допустимо.

Отже, розроблений подільник потоку насіння до висівного апарату секції сівалки точного висіву, призначений для висіву насіння цукрових буряків за схемою 45+15 см. Підвищення точності роботи пристрою можливо за рахунок удосконалення конструкції інжекторної пневмосистеми, зокрема форми та розмірів повітряної камери.

Висновки по розділу

Таким чином, в даному розділі показано конструктивну схему удосконаленого пневматичного висівного апарату для стрічкового висіву насіння цукрових буряків та проведено моделювання процесу поділу насіння у подільнику. Визначено, що якісна робота подільника забезпечується нагнітальним повітряним потоком у повітряній камері діаметром 0,01 м при тиску 0,15...0,17 МПа.

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Організація охорони праці в господарстві.

Організація охорони праці в аграрному господарстві – це комплекс заходів, що включає інструктажі, навчання, забезпечення заходів індивідуального захисту, медогляди та контроль технічного стану машин для безпечного виконання польових і тваринницьких робіт. Роботодавець зобов’язаний створити службу охорони праці (при 50+ працівниках) та забезпечити дотримання безпечних умов праці.

Основні складові організації охорони праці (ОП) в АПК:

- Документальне оформлення: наказом призначаються відповідальні особи, затверджуються інструкції з ОП для кожної професії та виду робіт, ведуться журнали інструктажів.
- Інструктажі та навчання: працівники повинні проходити вступний, первинний (на робочому місці), повторний, позаплановий та цільовий інструктажі. До роботи допускаються особи, які пройшли навчання, інструктаж та мають посвідчення (наприклад, тракториста-машиніста).
- Медичні огляди: обов’язкові попередні (при прийнятті) та періодичні медогляди, особливо для трактористів, водіїв та осіб, що працюють з пестицидами.
- Забезпечення ЗІЗ та побут: працівники мають бути забезпечені спецодягом, взуттям, рукавицями, респіраторами, а також облаштовані місця для відпочинку та харчування.
- Безпека машин та обладнання: заборонено експлуатацію несправної техніки. Ремонт, очищення та регулювання машин дозволено лише при вимкненому двигуні.
- Специфіка робіт: особлива увага приділяється безпеці під час весняно-польових робіт, збирання врожаю, роботі з агрохімікатами та в тваринництві.

- Служба ОП: якщо на підприємстві працює 50 і більше осіб, роботодавець створює службу охорони праці. Якщо менше 50 – функції служби виконують особи за сумісництвом, менше 20 – можна залучати сторонніх спеціалістів.

3.2. Заходи з охорони праці під час роботи із посівними машинами.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях у кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Оскільки якість виконання роботи залежить від навиків та вмінь самих працівників, то роботодавець має забезпечити для них проходження навчань, інструктажів та перевірки знань з питань охорони праці [5].

Посадові особи та інші працівники, зайняті на роботах, внесених до Переліку робіт з підвищеною небезпекою, мають пройти спеціальне навчання і перевірку знань відповідно до вимог нормативно-правових актів з охорони праці.

Необхідно забезпечити та організувати на підприємствах проведення попереднього та періодичного медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці.

При безпосередньому проходженні кампанії на підприємствах сфери АПК має належним чином експлуатуватися техніка.

Під час проїзду техніки потрібно дотримуватися безпечної дистанції.

Особливої уваги суб'єкти господарювання мають надати роботам, пов'язаним з підготовкою мінеральних добрив до їх внесенням у грунт.

Працівники мають бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та засобам індивідуального захисту органів дихання та зору.

Також їм не дозволяється перебувати у зоні можливого руху маркерів або начіпних машин під час розвертання машинно-тракторних агрегатів.

Під час руху агрегату не допускається одночасне обслуговування одним працівником двох і більше посівних машин.

Завантаження посівних машин насінням та добривами має бути механізованим.

Ручне завантаження дозволяється лише за умови зупинення посівного агрегату та вимкнення двигуна трактора.

Заміну, очищення і регулювання робочих органів начіпних машин і знарядь, які підняті, потрібно проводити тільки спеціальними чистками в рукавицях із зупиненим, загальмованим агрегатом та вимкнутим двигуном і вжиттям заходів, що запобігають їх самовільному опусканню.

Працівникам заборонено підніматися або спускатися з машин під час їх руху.

Не дозволяється сівачам працювати на начіпних посівних машинах.

Висновки по розділу

Таким чином, при роботі із посівними машинами працівники мають дотримуватись правил з охорони праці та техніки безпеки, що регламентуються Законом України «Про охорону праці», тому що безпека життя працівників найважливіше при будь-якому виконанні робіт.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Розроблений подільник потоку дозволяє здійснювати стрічковий посів насіння цукрових буряків у два рядки за схемою 45+15 см одним висівним апаратом секції сівалки точного висіву.

Економічна ефективність [11] визначалася залежно від порівняння параметрів серійної сівалки з переобладнаним екземпляром. В процесі оцінки доцільності застосування запропонованого пристрою проводилося визначення витрат на виконання посівних робіт базовим та проектним варіантами, собівартості валової продукції, додаткового чистого доходу, річного інвестиційного ефекту, ефекту за весь термін експлуатації проекту та показники порівняльної ефективності проекту. Дані для необхідних розрахунків подані у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунків

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Площа посіву, га	350	350
Агротехнічні терміни, днів	5	5
Тривалість робіт за зміну, год.	7	7
Коефіцієнт змінності	1,5	1,5
Норма висіву насіння, кг/га	5,0	5,0
Урожайність насіння, ц/га	78	82,8
Питома вага витрат на збирання насіння, %	30	30
Собівартість продукції, грн./ц	1530	-
Ціна реалізації насіння цукрових буряків, грн./ц	30000	30000
Силові машини		
Марка силової машини	МТЗ-82.1	МТЗ-82.1
Кількість силових машин	1	1
Ціна машини, грн.	869592	869592
Норма амортизаційних відрахувань, %	11,1	11,1
Норма відрахувань на поточний ремонт, %	9,9	9,9
Річне завантаження в годинах	1350	1350

Продовження таблиці 4.1

Робочі машини		
Кількість машин	1	1
Ціна обладнання, грн.	1710000	1339823
Норма амортизаційних відрахувань, %	12,5	12,5
Норма відрахувань на поточний ремонт, %	7	7
Річне завантаження в годинах	110	110
Норма виробітку, га/год	3,3	2,9
Норма витрати пального, кг/га	3,1	3,4
Комплексна ціна палива, грн./кг	78,00	78,00

Відповідно до агротехнічних вимог щодо термінів посівних робіт потрібно використання двох агрегатів базового та проектного варіантів. В обох випадках сівалка агрегатується з трактором МТЗ-82.1. Кожний агрегат базовий та проектний обслуговується трактористом-машиністом та працівником ручної праці (сіяльником).

Продуктивність посівного агрегату за одиницю часу Wг (га/год) знаходили за формулою:

$$W_{\text{г}} = 0{,}001 \cdot B_{\text{р}} \cdot v_p \cdot \tau_{\text{зм}}, \tag{4.1}$$

де $B_{\text{р}}$ – робоча ширина захвату, м; v_p – швидкість виконання операції, км/год; $\tau_{\text{зм}}$ – коефіцієнт використання часу зміни.

Кількість необхідних агрегатів N_a визначали із співвідношення:

$$N_a = \frac{S}{T_a \cdot t_{\text{зм}} \cdot \tau_{\text{зм}} \cdot W_{\text{г}}}, \tag{4.2}$$

де S – площа посіву, га., T_a – агротехнічний термін посіву насіння, днів; $t_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год; $\tau_{\text{зм}}$ – коефіцієнт змінності.

Витрати на посівних роботах визначали за формулою:

$$C_t = З_{\text{о.п.}} + З_{\text{пмм}} + Зa + З_{\text{рем}} + С_{\text{нв}}, \tag{4.3}$$

де $З_{\text{о.п.}}$ – витрати на оплату праці працівників, грн.; $З_{\text{пмм}}$ – витрати на паливо-мастильні матеріали при посіві сівалкою, грн.; $З_{\text{а}}$ – амортизаційні відрахування

при сівбі серійної або експериментальною сівалкою, грн.; $З_{рем}$ – витрати на технічне обслуговування та ремонт сівалки, грн.; $С_{нв}$ – накладні витрати, грн.

Чистий дохід ЧД розраховувався так:

$$ЧД = В_{вп} - С_{вз}, \tag{4.4}$$

де $С_{вз}$ – собівартість валового збору, грн.; $В_{вп}$ – вартість валової продукції, що визначається за формулою:

$$В_{вп} = В_з \cdot Ц_р, \tag{4.5}$$

де $В_з$ – валовий збір, ц; $Ц_р$ – вартість реалізації продукції, грн..

Річний інвестиційний ефект $D_р$ розраховували за формулою:

$$D_р = ΔЧД + ΔАм, \tag{4.6}$$

де ΔЧД – приріст чистого доходу, який визначається різницею між чистим доходом за проектом і чистим доходом за базовим варіантами, грн.; ΔАм – приріст амортизації капіталовкладень, грн.

Річний економічний ефект K_t за термін експлуатації проекту розраховували за формулою:

$$K_t = \frac{D_t \cdot [(1 + NS)^T - 1]}{NS}, \tag{4.7}$$

де NS – ставка банківського відсотка за кредитом, %; T – термін експлуатації проекту, років.

Термін окупності проекту $T_{ок}$, або термін окупності визначали з рівняння:

$$T_{ок} = -\frac{\ln\left(1 - (K_0 + C_0) \cdot \frac{NS}{K_t}\right)}{\ln(1 + NS)}. \tag{4.8}$$

За проведеними розрахунками нами були отримані результати техніко-економічної оцінки проекту, що показують ефективність впровадження пропонованої розробки у виробництво, так як економічний ефект за термін реалізації становить 15827, 29 тис. грн., а термін окупності дорівнює близько 1,2 роки.

Висновки по розділу

Таким чином, нами визначено, що посів насіння цукрових буряків за схемою розміщення міжрядь 45+15 см із встановленням дільника на 8 висівних апаратів сівалки точного висіву дозволить збільшити врожайність насіння на другий рік вегетації коренеплодів – на 6%.

Розрахунки економічної ефективності удосконаленої конструкції робочих органів посівної машини для висіву насіння цукрових буряків показують доцільність виробництва та використання запропонованого нового технічного засобу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, нами проведені дослідження щодо удосконалення конструкції робочих органів сівалки точного висіву насіння цукрових буряків, в результаті чого отримані такі результати:

1. Здійснено аналіз існуючих технологій вирощування цукрових буряків на насіння, технічних засобів та їх робочих органів для висіву насіння стрічковим способом.

Визначено, що за сприятливих погодних умов та інтервалі між насінинами в рядку першого року посіву від 13 до 19 см, використання схеми міжрядь 45+15 см в порівнянні з міжряддям 45 см призводить до збільшення середньої урожайності насіння другого року вегетації на 30 ц/га.

2. Удосконалена й досліджена конструкція пневматичного висівного апарату сівалки для висіву насіння цукрових буряків та визначені оптимальні параметри його роботи. Встановлено, що якісна робота подільника забезпечується нагнітальним повітряним потоком у повітряній камері діаметром 0,01 м при тиску 0,15…0,17 МПа, при цьому кутова швидкість диска не повинна перевищувати 2 рад/с. Розроблений подільник забезпечує поділ насіння на два рядки із середнім інтервалом розміщення у лівому та правому рядках відповідно 18,8 та 18,6 см, при розрахунковому інтервалі 18,2 см. Коефіцієнт варіації розміщення насіння для лівого та правого рядків становить 17,9 та 19,2 %. Це підтверджує наявність у стрічці нормального розподілу.

3. В дослідженнях приведені заходи з охорони праці в аграрних господарствах та правила техніки безпеки працівників при роботі із посівними машинами.

4. Здійснено техніко-економічне обгрунтування проекту, яке вказує на доцільність впровадження його в серійне виробництво. Термін окупності даної розробки становить 1,2 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балан В.М. Оптимальні сходи та їх збереження при безпосадковому насінництві. *Цукровий буряк*. 1988. № 4. С. 33–34.

2. Балашов А.В., Гущин Д.А. Характеристика сервісного обслуговування бурякозбиральних комбайнів Holmer. *Техніка в сільському господарстві*. 2012. № 6. С. 13–14.

3. Василенко В.В. Моделювання проріджування сходів цукрових буряків та розрахунок робочого органу проріджувача. *Сільськогосподарські машини*. 2000. С. 124–133.

4. Василенко В.В. Обґрунтування межі точності дозування насіння комірково-дисковими апаратами. *Техніка в сільському господарстві*. 2000. № 1. С. 34–35.

5. Закон України «Про охорону праці». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text. (Дата звернення: 22.01.2026).

6. Панков А.А. Енергетичні показники робочого процесу висівних апаратів і систем. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць ЦНТУ*. Вип. 30. Кропивницький : ЦНТУ, 2017. С. 28-36.

7. Посівні комплекси фірми Vaderstad. URL: https://www.vaderstad.com/ua. (Дата звернення: 20.02.2026).

8. Посівні комплекси. Огляд сучасних моделей. URL: https://agroelita.info/posivni-kompleksy-ohliad-suchasnykh-modeley/. (Дата звернення: 25.02.2026).

9. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.

10. Сільськогосподарські машини. Електронний підручник. URL: https://rafk.if.ua/ebook/sgmash/Index.htm. (Дата звернення: 20.02.2026).

11. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.

12. Karayel D., Barut Z.B., Özmerzi A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. *Biosystems Engineering*. 2004. Т. 87, №. 4. С. 437–444.