

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО  
СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

на тему: „ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСІВНИХ АПАРАТІВ  
КОТУШКОВОГО ТИПУ”

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61  
спеціальності 208 „Агроінженерія”  
(шифр і назва)

Кривоніжка Микола Миколайович  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Семен Я.В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доц. Миронюк О.С.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Дубляни 2024



УДК 631.338:632.21

Дослідження параметрів висівних апаратів катушкового типу. Кривоніжка Микола Миколайович. –Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича. –Дубляни, Львівський НУП, 2024.

64 с. текст. част., 25 рис., 4 табл., 26 джерел

Проаналізовано існуючі способи сівби зернових та інших сільськогосподарських культур. Виконано огляд конструкцій посівних машин вітчизняного та зарубіжного виробництва для сівби зернових культур та особливостей висівних апаратів, що на них застосовуються.

Проведено теоретичні дослідження роботи висівного апарату катушкового типу та аналітично обґрунтовані його параметри й режими роботи.

Наведено програму, методики й результати експериментальних досліджень гвинтового та реберчастого катушкових апаратів під час встановлення їх на задану норму висіву з побудовою графічних закономірностей зміни норми висіву пшениці озимої та вівса від ваги їх 1000 насінин.

Розроблено карту умов праці під час використання посівного агрегату та побудовано логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при його технічному обслуговуванні.

Виконано економічне обґрунтування й здійснено порівняльний аналіз використання різних типів посівних агрегатів.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	7
1.1 Огляд способів сівби.....	7
1.2 Огляд конструкцій сівалок для сівби зернових культур.....	10
1.3 Огляд конструкцій висівних апаратів катушкового типу.....	24
Висновки.....	28
<b>2 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОТУШКОВОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ</b> .....	29
2.1 Обґрунтування параметрів катушки.....	29
2.2 Аналітичне дослідження режиму роботи катушкового висівного апарату.....	33
Висновки.....	38
<b>3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	38
<b>4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	43
Висновки.....	47
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	48
5.1 Складання карти умов праці під час сівби зернових культур.....	48
5.2. Оцінка рівня виникнення небезпеки аварій і травм.....	51
<b>6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК</b> .....	56
Висновки.....	60
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	61
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b> .....	63

## ВСТУП

Усі посівні (садильні) машини повинні забезпечувати якісне дозування посівного матеріалу та укладати насіння у вологий ґрунт відповідно до біологічних особливостей кожної сільськогосподарської культури. На сьогоднішній день ставляться підвищені вимоги стосовно якості розподілу технологічного матеріалу безпосередньо під час сівби. Основним критерієм посівного матеріалу, за яким він розподілявся на певній площі була норма сівби (кг/га). Але як показали дослідження важливим показником є крупність насіння, тобто маса 1000 його насінин. Так, для озимої пшениці вона може коливатися від 30 до 60 г/1000 шт. Якщо під час сівби використовують дрібне насіння (до 38 г/1000 шт.), його схожість може бути меншою на 8-10% за сівбу крупним (понад 50 г/1000 ) насінням [9].

Зважаючи на те, що під час сівби сівалки можуть змінювати її глибину та норму внесення насіння їх обладнують різними системами автоматизованого керування технологічним процесом та вдосконаленими робочими органами, зокрема висівними апаратами, які здатні висівати як дрібне, так і крупне насіння. Тому важливим постає питання якісного розподілу посівного матеріалу сільськогосподарських культур одного виду, але різних сортів, які різняться масою 1000 насінин.

**Актуальність теми.** Найбільш поширеними і простими ми в експлуатації є катушкові висівні апарати зернових (льонових, овочевих) сівалок. Вони виготовлені у вигляді циліндрів, на поверхні яких є жолобки, гвинтові канавки, отвори спеціального розміру та профілю. Під час налаштування таких висівних апаратів на відповідні норми сівби технологічного матеріалу користуються номограмами, таблицями та ін. довідковими матеріалами. Але зовсім мало уваги приділяють питанню, як буде розподілятися насіння однієї й тієї ж культури за різної маси її 1000 насінин. Поряд із вибором оптимальної швидкості руху агрегату та обертів катушки слід експериментально дослідити вплив різної маси насінин на їх розподіл на поверхні поля.

Саме тому актуальним є дослідження роботи висівних апаратів катушкового типу різної конструкції стосовно впливу крупності насіння на задану норму його висіву.

**Метою досліджень** є підвищення ефективності процесу сівби зернових культур реберчастим та гвинтовим катушковими висівними апаратами.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих способів, технології, посівних машини та їх робочих органів;
2. Провести аналітичні дослідження катушкового висівного апарату;
3. Експериментально дослідити роботу реберчастого та гвинтового катушкових висівних апаратів зернових сівалок;
4. Розробити карту умов праці та логіко–імітаційну модель процесу виникнення травм;
5. Визначити ефективність застосування сівалок, обладнаних катушковими висівними апаратами.

**Об'єкт дослідження:** реберчастий та гвинтовий катушкові висівні апарати зернових сівалок.

**Предмет дослідження:** вплив крупності насіння на закономірність його висівання катушковими апаратами.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.4 Огляд способів сівби

Для сівби окремих сільськогосподарських культур застосовують різні способи. Їх вибір обумовлюється біологічними особливостями кожної с.-г. культури, які мають розподілятися на полі за зоною живлення кореневої системи чи наземної частини рослин (сонячна радіація, тепло, волога й т.д.). Основним критерієм, який впливає на вибір способу сівби є формування рослинами відповідної густоти сходів, що трансформується в наступне формування їх листової поверхні, і, відповідно, зростання врожаю [1, 3, 8, 12, 16].

Серед існуючих способів сівби для зернових культур застосовують переважно рядковий спосіб (рисунок 1.1, а), за якого забезпечується доволі рівномірний розподіл насінневого матеріалу на площі сівби, як за зоною живлення, так і за глибиною загортання насіння у зволожений шар ґрунту. За рядкового способу сівби посівний матеріал (насіння) розміщується в рядках на відстані 1,5-2 см одне від одного, а ширина міжрядь може становити від 10 до 25 см. Таким способом можна окрім зернових культур сіяти горох, гречку, льон-довгунець, однорічні або багаторічні трави [1, 3, 8].

Ще одним видом рядкового способу є вузькорядний (рисунок 1.1, в) з шириною міжрядь 6,5-8,5 см). При цьому отримуємо загущені посіви, проте насіння на полі розподіляється не досить рівномірно. Застосування вказаного способу вимагає досить ретельного передпосівного обробітку. Самі рослини мають доволі хороше освітлення в рядках, міцне і стійке до вилягання стебло. За вузькорядної сівби льону-довгунцю зростає вихід волокна покращеної якості. Разом з тим, вузькорядні сівалки не можуть забезпечити високу рівномірність розподілу насіння в межах рядка й глибині сівби. Під час роботи дискові сошники таких сівалок часто забиваються рослинними рештками й ґрунтом, який може накопичуватися перед сошниками.

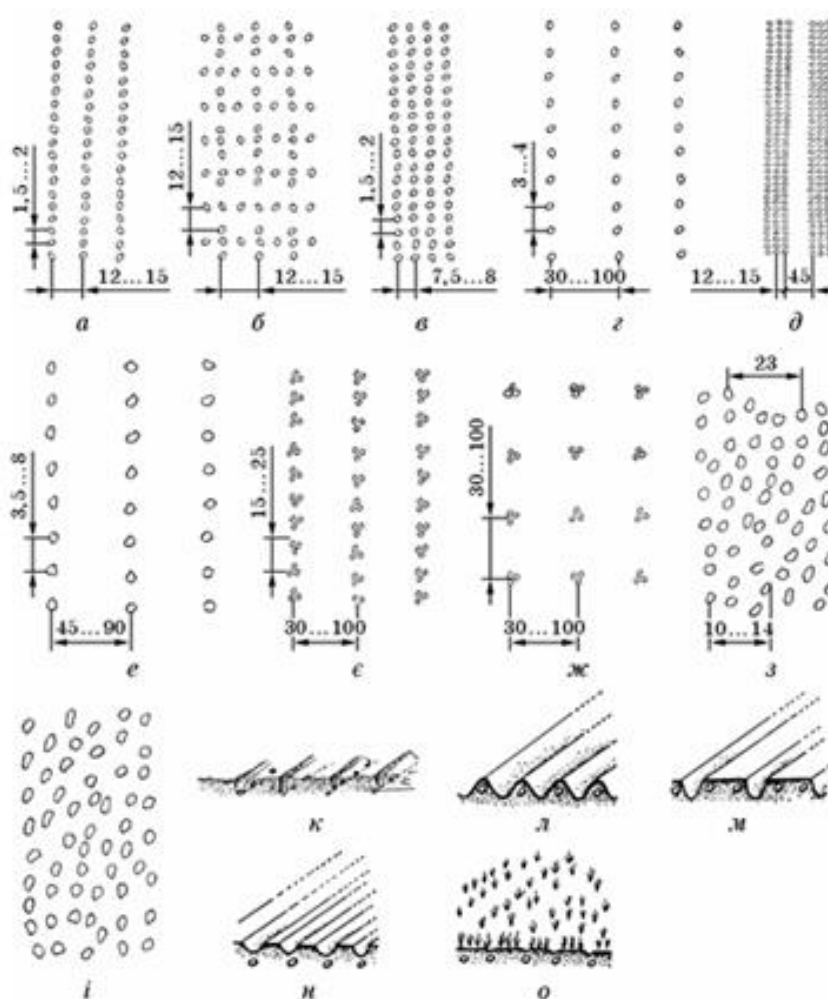


Рисунок 1.1 Схеми способів сівби:

*a* — рядковий; *б* — перехресний; *в* — вузькорядний; *г* — широкорядний;  
*д* — стрічковий; *е* — пунктирний; *є* — гніздовий; *жс* — квадратно-гніздовий;  
*з* — смуговий; *і* — розкидний; *к* — на рівній поверхні поля; *л* — на гребенях;  
*м* — на грядках; *н* — у борозни; *о* — по стерні.

Перехресний спосіб (див. рисунок 1.1, б) – це вид рядкового (вузькорядного) способів сівби за якого посівні агрегати спочатку рухаються вздовж, а потім впоперек поля, висіваючи за кожний прохід половину заданої норми сівби. Це забезпечує більш рівномірний розподіл технологічного матеріалу на поверхні поля й підвищення урожайності окремих сільськогосподарських культур на 3-4 ц/га, порівняно з рядковою сівбою. Але при цьому агрегати повинні двічі рухатися полем, що супроводжується надмірним ущільненням його поверхні, насіння не залягає на однакову глибину й порушується рівномірність їх сходу, а строки сівби зростають [1, 3, 8].



Широкорядний спосіб (див. рисунок 1.1, г) застосовують для сівби просяних культур, вибагливих до великих площ живлення наземної або підземної їх частин. Ширина міжряддя не повинна бути меншою за 0,3м. До таких культур належать: кукурудза (ширина міжряддя 60-70см), соняшник (ширина міжряддя 70см), цукрові буряки, просо, гречка (ширина міжряддя 45см), картопля (ширина міжряддя 70см), бавовник (ширина міжряддя 70см), овочеві культури). За широкорядного способу сівби в подальшому потрібно проводити міжрядні обробітки для боротьби з бур'янами й розпушення ґрунту у міжрядді для відновлення повітряно-водного режиму живлення рослин в період їх вегетації. Але цей спосіб вирізняється досить великою нерівномірністю розподілу насіння за площею поля [1, 3, 8].

Стрічковий спосіб сівби (див. рисунок 1.1, д) полягає у розміщенні насіння в ґрунті окремими стрічками в два- три рядки з відстанню між ними від 6,5 до 15 см. При цьому між окремими стрічками міжряддя може становити 45-60 см і більше й величина його залежить від вирощуваної сільськогосподарської культури, яким притаманна не велика площа живлення кореневої системи (морква, цибуля, часник, столові буряки, розсада окремих культур, просо та ін.). Для знищення бур'янів у стрічках застосовують обробіток міжрядь культиваторами [1, 3, 15].

За пунктирного способу сівби (див. рисунок 1.1, е) насіння висівається сівалками точного висіву, розміщуючи його через певну відстань у рядку на один погонний метр. Таким способом сіють цукрові буряки, соняшник, сорго, рицину, кукурудзу на зерно та інші сільськогосподарські культури, досить вибагливі до зони живлення кореневої системи, освітлення, водного та теплового режимів.

Гніздовий спосіб (див. рисунок 1.1, є) полягає у сівбі насіння в окремі гнізда спеціальними сівалками, які укладають їх по декілька штук. Його використовують для сівби насіння з поганою схожістю або насіння культур, які вимагають конкуренції щодо площі живлення. Таким способом можна сіяти також розсаду для наступного її пересаджування [1, 3, 15, 16].

Квадратно-гніздовий спосіб (див. рисунок 1.1, ж) полягає у розміщенні насіння (розсади) у вершинах квадратів (60×60 або 70×70 см), утворених за двох взаємно-перпендикулярних напрямків руху агрегату. Посіяні таким способом культури, переважно високостеблові або капуста може оброблятися культиваторами у двох напрямках, що дозволяє майже повністю механізувати процес їх міжрядного обробітку [1, 3, 15].

Для реалізації вищенаведених способів сівби застосовують різні методи розподілу технологічного матеріалу на поверхні поля. Серед найпоширеніших – борозенний (див. рисунок 1.1, н), за якого насіння загортається на дні утвореної наперед борозенки, сівба в наперед нарізані грядки (див. рисунок 1.1, м) – застосовують на полях з надмірною вологістю і для кращого прогрівання грядок.

Для садіння картоплі застосовують гребеневий (див. рисунок 1.1, л), напівгребеневий та без гребеневий способи. При цьому бульби картоплі розміщують у гребенях на певній відстані в рядках, обумовленій зоною живлення кореневої системи рослини та повітряно-водному режиму її вирощування, особливо це стосується торф'яних ґрунтів.

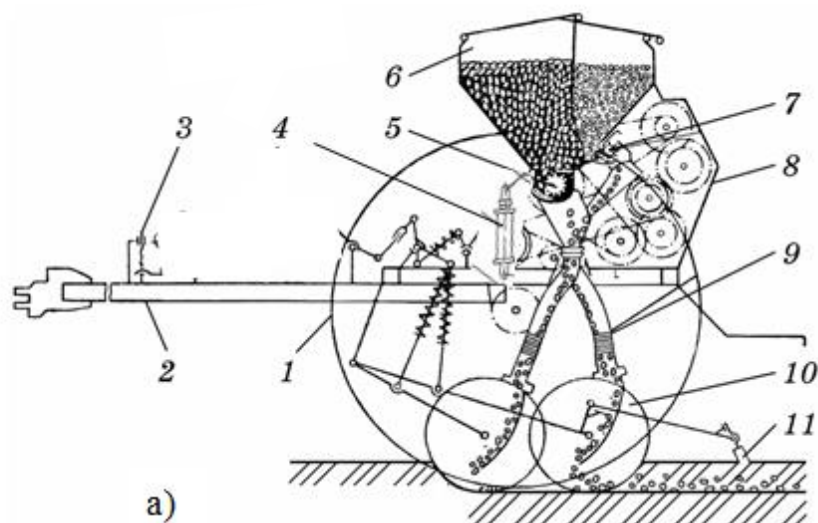
Широкого поширення останнім часом набуває сівба по стерні (див. рисунок 1.1, о). Особливо часто її застосовують у зонах, що піддається вітровій ерозії. Таким способом сіють переважно озимі культури (ріпак, зернові), використовуючи стернові сівалки, обладнані дисковими сошниками.

Сіяти, особливо зернові, можна також методом поверхневого розподілу з наступним їх загорання боронами. При цьому забезпечується покращений розподіл насіння по поверхні поля, але глибина загорання окремих насінин досить різниться, що впливає на рівномірність їх проростання та розвитку [8, 9, 12, 26].

### 1.5 Огляд конструкцій сівалок для сівби зернових культур

Сучасні зернові сівалки – це комбіновані машини, які одночасно із основним насінням вносять мінеральні добрива [1, 3, 15].

Зернотукова сівалка Atlant 360 створена на базі сівалки СЗ-3,6 і має зварну раму, у передній частині якої змонтовано причіпний пристрій (сницю) 2 (рисунок 1.2), два опорно-приводні пневматичні колеса 1, два зернотукові ящики, розділені перегородками [21].



**Рисунок 1.2 Зернотукова сівалка Atlant 360:**

а) схема (1 – опорно-привідне колесо; 2 – причіпний пристрій; 3 – регулятор глибини ходу сошників; 4 – гідроциліндр; 5 – насінневисівний апарат; 6 – зернотуковий ящик; 7 – туковисівний апарат; 8 – редуктор; 9 – насіннепровід; 10 – сошник; 11 – загортач);

б) загальний вигляд.

Насінневисівні апарати 5 котушково-реборчастого типу. Вони кріпляться до передньої нижньої частини зернотукового ящика 6, а котушково-штифтові туковисівні апарати 7 – до задньої стінки цього ящика. Усі висівні апарати мають групове спорожнення та групове налаштуванням норми висіву відповідного технологічного матеріалу.

Сівалка обладнана дводисковими сошниками 10, гумовими гофрованими насіннєтукопроводами 9 та пальцевими загортачами 11. Привід валів висівних апаратів здійснюється від опорно-приводних коліс 1, обгінні муфти, ланцюгові передачі та механізм змінних шестерень.

Дискові сошники 10 та загортачі 11 переводяться у робочу або транспортне положення завдяки механізму піднімання й гідроциліндру 4, технологічно й конструктивно пов'язаних з системою важелів та підпружинених штанг [ 21].

Сівалка Amazone D9 4000 Super (рисунок 1.3) має аналогічне призначення, що і сівалка Atlant 360. Вона може бути начіпною за триточковою схемою начіпки на енергетичний засіб чи причіпною, працюючи в одиночному варіанті або в комбінації з ґрунтообробними агрегатами, які мають активні робочі органи [22].

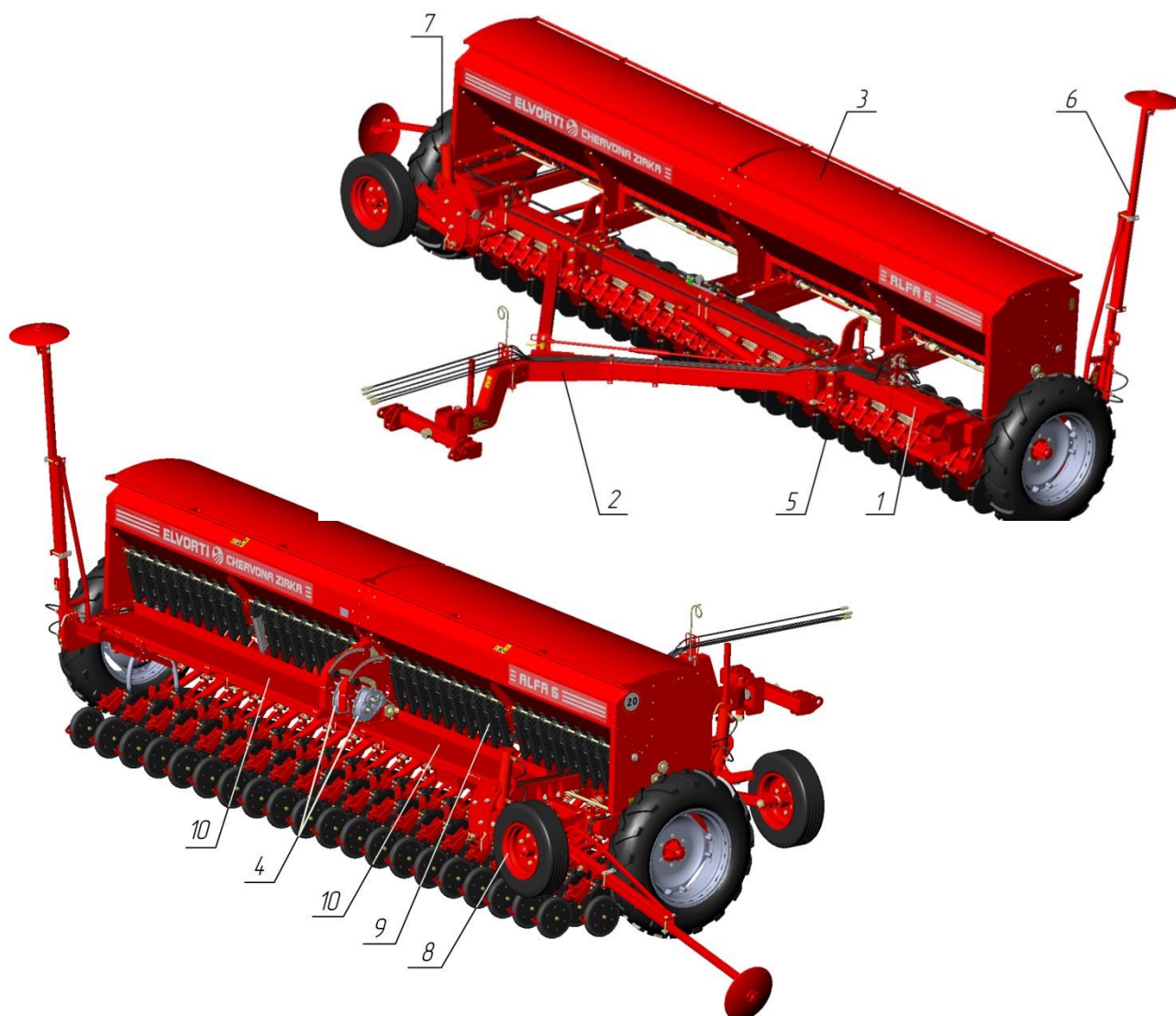


**Рисунок 1.3 Сівалка Amazone D9 4000 Super**

Сівалка обладнана котушковим висівним апаратом, однодисковими сошниками та прутковими загортачами. Об'єм насінневого бункера сівалки може змінюватися від 450л до 1000 л.

Сівалки може використовуватися в системах точного землеробства, оскільки обладнана пристосуванням для автоматичного регулювання норми висіву насіння безпосередньо під час руху агрегату в залежності від стану ґрунтового середовища та розподілу в ньому поживних речовин.

Зернотукова сівалка «ALFA-6» (рисунок 1.4) призначена сівби насіння зернових та бобових культур, ріпаку, льону-довгунцю, однорічних та багаторічних трав, гречки, проса з одночасним внесенням у рядки гранульованих мінеральних добрив [19].



**Рисунок 1.4 Зернова сівалка ALFA-6:**

1 – рама; 2 – причіпний пристрій; 3 – зерно-туковий ящик; 4 – варіатори; 5 – сошник; 6 – маркер; 7 – опорно-приводне колесо; 8 – колеса для транспортування; 9 – висівні апарати; 10 – підніжна дошка; 11 – ланцюговий загортач.

Сівалка забезпечує вузькорядну сівбу (міжряддя орієнтовно становить 7,5 см) з одночасним ущільненням ґрунту за «мінімальної» або «традиційної» технологій його підготовки [19].

Сівалка має раму плоску зварну 1 (див. рисунок 1.4) на якій змонтовано зерно-туковий ящик 3, у передню частину якого засипають насіння, а в задню – мінеральні добрива.

На задній стінці зерно-тукового ящика 3 змонтовано висівні апарати 9 для насіння та міндобрив. У середній частині заднього бруса рами 1 змонтовано два безступінчасті варіатори 4 – один (правий) для передачі крутного моменту на вали насінневих апаратів, інший (лівий) – забезпечує привід валів туковисівних апаратів. Крутний момент до варіаторів 4 і відповідних висівних апаратів передається від опорно-приводних коліс 7 рами 1 через вали контрприводу і ланцюгові передачі.

Сівалка обладнується дводисковими сошниками 5, які кріпляться до рами 1 за допомогою повідців. Їх переведення у робоче або транспортне положення здійснюється гідроциліндрами, які містяться на передньому брусі рами 1.

Зерно-туковий ящик сівалки складається з двох відділень – переднього для посівного матеріалу й заднього – для мінеральних добрив. На задній стінці зерно-тукового ящика змонтовані катушкові висівні апарати 1 (рисунок 1.5) для насіння та катушково-штифтові апарати 2 для міндобрив [19].



Рисунок 1.5 Задня стінка зерно-тукового ящика сівалки ALFA-6.

Висівний апарат для висіву насіння обладнаний спеціальною заслінкою 1 (рисунок 1.6, а) та важелем клапана 2. Під час налаштування сівалки на задану норму висіву за допомогою заслінки й важеля встановлюють (регулюють) подачу (об'єм) насіння, який рівномірним потоком надходить у котушковий висівний апарат [19].



а)



б)

Рисунок 1.6 Висівні апарати для насіння (а) та міндобрив (б) сівалки ALFA-6.

Туковисівний апарат обладнаний аналогічною заслінкою 1 (див. рисунок 1.6, б), за допомогою якої регулюють обсяг мінеральних добрив, що подається до катушки.

Змінювати норму висіву технологічного матеріалу (насіння і міндобрив) на сівалці ALFA-6 дозволяють два безступінчасті варіатора, які мають покажчик 1 (рисунок 1.7), фіксатор 2 та шкалу 3 з цифровими значеннями на ній від 0 до 100 [19].

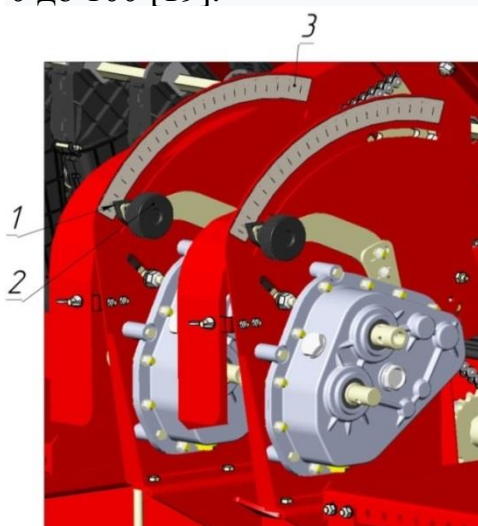
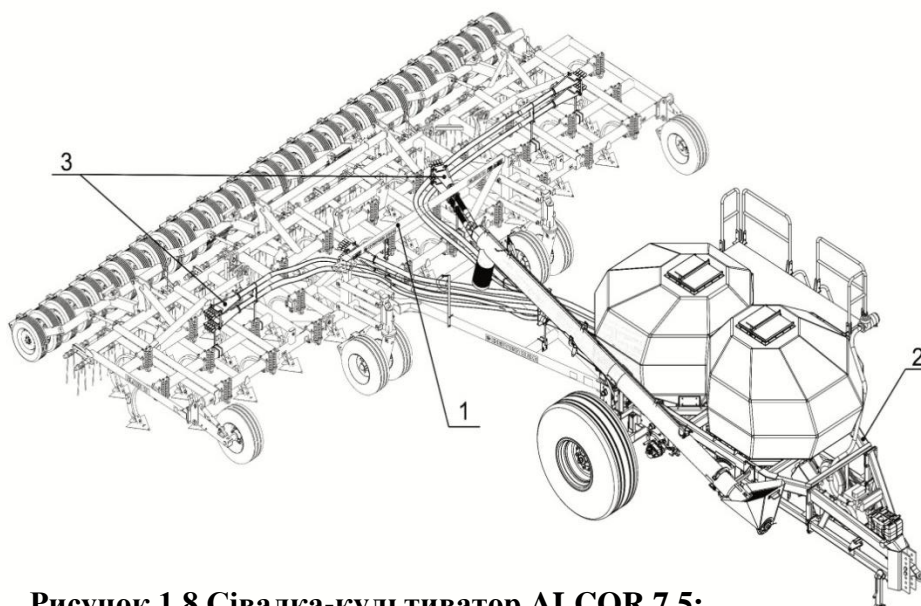


Рисунок 1.7 Варіатори безступінчасті сівалки ALFA-6.

Під час налагоджування сівалки ALFA-6 на задану норму висіву насіння слід користуватися відповідними номограмами, враховуючи вид с.-г. культури та масу 1000 її насінин.

Пневматична напівпричіпна сівалка-культиватор «ALCOR 7,5» призначена для сівби зернових та зернобобових культур, насіння яких близьке за розмірами. Сівалка ефективно висіває як дрібне, так і середнього розміру насіння смуговим способом з шириною смуг від 120 до 230 мм та глибиною його заготання в межах 40-120 мм. При цьому норма висіву може змінюватися в досить широких межах від 3 до 400 кг/га. Одночасно із сівбою в засіяні рядки вносяться гранульовані мінеральні добрива й одразу коткуються. Сівалка має досить широкий спектр застосування і може використовуватися по фоні з нульовим, мінімальним та традиційним передпосівним обробітком ґрунту, вологість якого не повинна перевищувати 25%, а висота післяжнивних решток не повинна бути більшою за 15 см [19].

До складу сівалки-культиватора ALCOR 7,5 входять посівна 1 (рисунок 1.8), культиваторна 2 та пневматична 3 частини.



**Рисунок 1.8 Сівалка-культиватор ALCOR 7,5:**

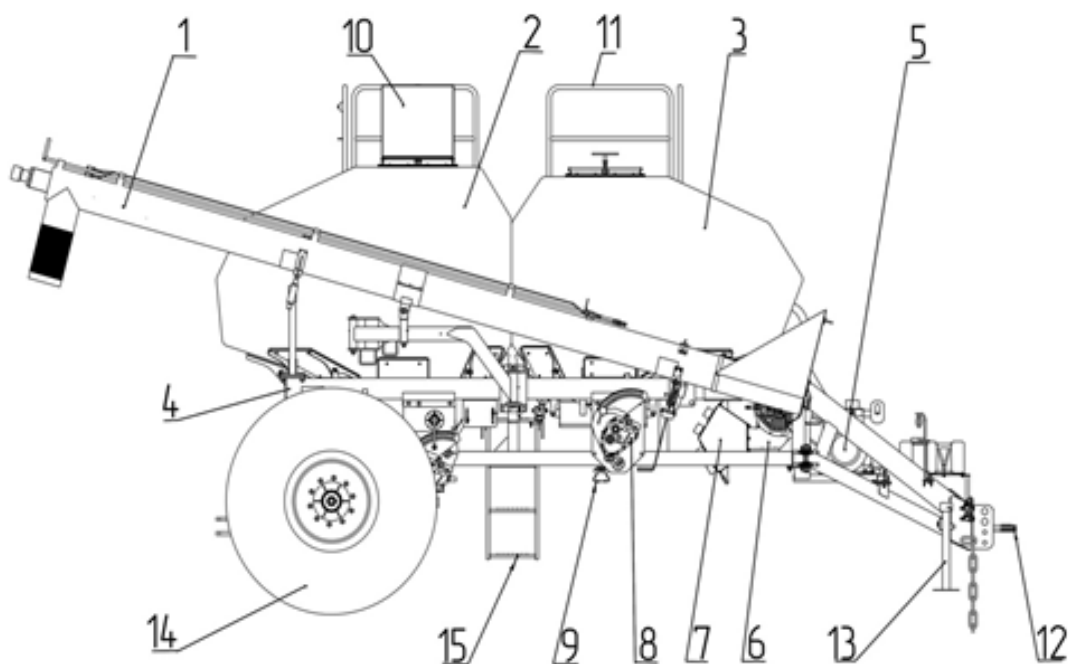
1 – культиваторна частина, 2 – посівна частина, 3 – пневматична частина.

Посівна частина призначена для безпосереднього дозування посівного матеріалу (насіння) від 3 до 400 кг/га (в залежності від с.-г. культури) котуш-



ковими висівними апаратами й безперебійного його транспортування двоконтурною пневмосистемою до лапових сошників.

За конструкцією посівна частина нагадує осьовий напівпричіп, на рамі 4 (рисунок 1.9) якого змонтовано двосекційний бункер. Він містить передній бункер 3 для міндобрив або дрібнонасінневих культур та задній бункер 2 для основного насіння або міндобрив. У нижній частині кожного бункера розміщені катушково-реборчасті висівні апарати 9 у вигляді шести або восьми катушок зі спіральними ребрами.



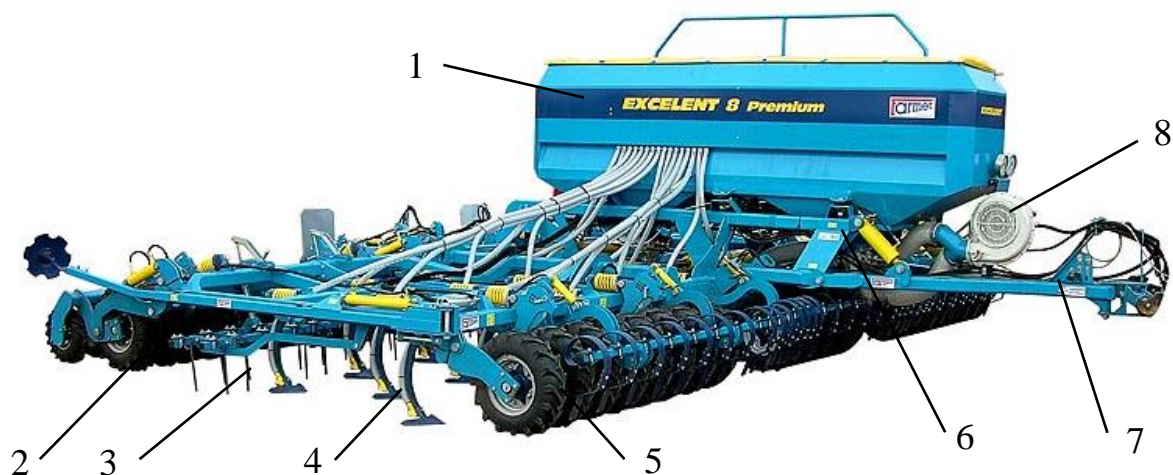
**Рисунок 1.9 Посівна частина сівалки-культиватора ALCOR 7,5:**

1 – завантажувальний пристрій; 2 – бункер задній; 3 – бункер передній; 4 – рама; 5 – привід від двигуна або привід від гідродвигуна або привід від ВВП трактора (залежно від модифікації); 6 – вентилятор; 7 – розподільник потоку; 8 – варіатори; 9 – висівні апарати; 10 – люк; 11 – майданчик; 12 – причіпна скоба; 13 – стійка опорна (домкрат); 14 – колесо; 15 – трап.

Усі катушки висівних апаратів 9 працюють одночасно і приводяться в дію від правого опорного колеса 14 через безступінчасті варіатори 8, подібні за конструкцією до сівалки ALFA-6. За їх допомогою регулюють норми висіву насіння (добрив), які захоплюються повітряним потоком надлишкового тиску, що створюється вентилятором 6, який приводиться в дію від ВВП трактора або

автономного двигуна внутрішнього згорання 5. В якості приводу вентилятора можуть використовуватися також електродвигуни.

Подібною за конструкцією до «ALCOR 7,5» є лемішна сівалка Excelent Premium 8 (рисунок 1.10), яка призначена для сівби після лушення, оранки або культивуації зернових колосових, бобових, масляничних культур, конюшини, кукурудзи на зелену масу, підсівання трав.



**Рисунок 1.10 Лемішна сівалка Excelent Premium 8:**

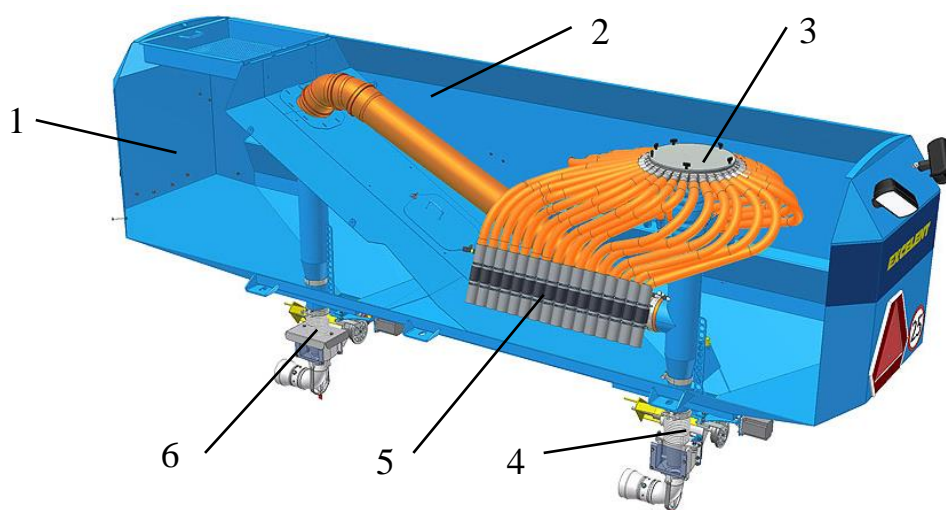
1 – бункер; 2 – задній коток; 3 – пружинна борона; 4 – лаповий сошник; 5 – передній коток; 6 – рама; 7 – сниця причіпна; 8 – вентилятор.

Сівалки Excelent Premium характеризується застосуванням системи передніх 5 та задніх 2 котків, які забезпечують не тільки точне проведення посівних лапових сошників 4, але й ефективний обробіток ґрунту, що дозволяє отримувати вирівняні сходи рослин навіть у сухі роки, коли сівба здійснюється в сухий грудкуватий ґрунт. Секції передніх котків з колесами в комбінації з пружинними боронами 3 подрібнюють, вирівнюють і трамбують ґрунт. Пружинна борона направляє грудки під колеса, що призводить до подрібнення більш ніж 90% грудок вже в передній частині машини. Тому сівалка може працювати на полях як з мінімальним попереднім обробітком ґрунту, так і для сівби насіння після глибокого розпушування. Секції задніх котків зі спареними колесами забезпечують ущільнення ґрунту по всій площі відразу після укладання насіння.

Таким чином сівалка Excelent Premium дозволяє за один прохід здійснювати декілька операцій:

- вирівнювання ґрунту та його повторне ущільнення по всій ширині захвату;
- обробіток ґрунту на глибину сівби;
- утворення посівного ложа для насіння;
- точне розміщення насіння за глибиною;
- суцільний або стрічковий посів;
- боронування та ущільнення ґрунту після укладання в нього насіння;
- одночасне із сівбою внесення рідких або гранульованих добрив.

Бункер (рисунок 1.11) сівалки Excelent Premium 8 розділений на два відділення, одне з яких призначене для насіння 3, друге – для добрив 1, у співвідношенні приблизно 3:1. Два окремі висівні апарати 4 та 6 котушкового типу дозують відповідно насіння та добрива, які повітряним потоком, створюваним вентилятором скеровуються до розподільної головки 3, де насіння з добривами змішується в аспіраційній системі і спільно по насіннепроводах 5 подається до лапових сошників.



**Рисунок 1.11 Бункер сівалки Excelent Premium 8:**

1 – відділення для добрив; 2 – відділення для зерна; 3 – розподільна головка; 4 – висівний апарат для насіння; 5 – насіннепроводи; 6 – висівний апарат для добрив.

Агрегатуватися сівалка Excelent Premium 8 може з тракторами, потужність двигуна яких має становити не менше 200 кВт.

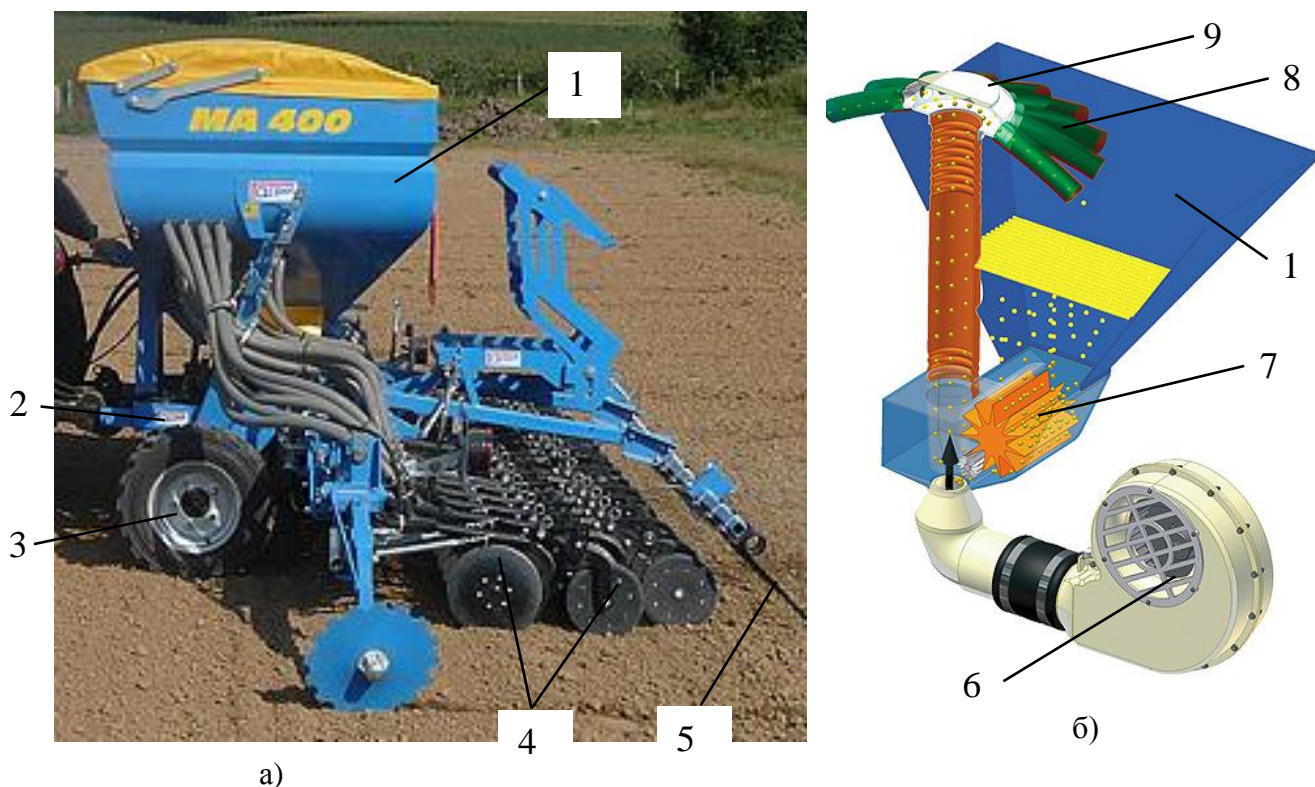
Пневматичні сівалки MONSUN призначені для сівби зернових колосових, бобових, масляничних культур, конюшини, кукурудзи на зелену масу, підсівання трав з розміром насіння від 1 до 10 мм. В залежності від умов і використовуваного виду сівалок (малогабаритні чи широкозахватні) сівбу можна проводити після оранки або в підготовлений ґрунт.

Пневматичні сівалки MONSUN випускаються у різноманітних серіях:

- серія МА – напівначіпна машина, обладнана власними опорними колесами і призначена для сівби у підготовлений ґрунт на малих та середніх за розмірами полях;
- серія MB – начіпна комбінована машина, обладнана активними і пасивними робочими органами для одночасної підготовки ґрунту і сівби;
- серія MC – начіпна комбінована машина, обладнана ротаційними боронами для одночасного інтенсивного розпушування ґрунту і сівби;
- серія MD – машини обладнані двома бункерами великого об'єму, мають ширину захвату 6-8 м. Під кожним бункером є висівний апарат, привод якого здійснюється від коліс;
- серія ME – універсальна машина з робочою шириною 5, 6 та 8 м, яка може висівати насіння у наперед підготовлений ґрунт або обладнуватися пристроями для безпосередньої підготовки ґрунту під час сівби
- серія MF – комбінована сівалка, що має бункер для насіння з висівним апаратом, розміщений на начіпці спереду трактора та сошники, змонтовані на рамі сівалки і розміщені в задній частині агрегату. Машину можна комплектувати різноманітним обладнанням (робочими органами) для підготовки ґрунту безпосередньо під час сівби. В передній частині може бути розміщене також обладнання для внесення в ґрунт мінеральних добрив.

За технологічним процесом сівалки подібні між собою. Вони відрізняються можливістю застосування. Більшість типів виконано як начіпні, а під час роботи на них використовуються власні ходові колеса. Виготовляється великий спектр машин MONSUN за шириною захвату. Сівалка MONSUN серії

МА має бункер 1 (рисунок 1.12, а) з висівними апаратами і насіннепроводами, раму 2 з опорними колесами 3, сошники 4 з ущільнювальними котками та пружинні загортачі 5. Машини укомплектовані оригінальним механізмом висіву ACCORD (рисунок 1.12, б) з пневмомеханічним висівним апаратом катушкового типу 7.



**Рисунок 1.12 Сівалка MONSUN серії МА:**

а) загальний вигляд; б) механізм висіву ACCORD; 1 – бункер; 2 – рама; 3 – колесо опорне; 4 – дводисковий сошник; 5 – пружинні загортачі; 6 – вентилятор; 7 – катушковий висівний апарат; 8 – насіннепроводи; 9 – головка розподільна.

Всі типи машин можуть бути обладнані трьома видами висівних сошників:

- ножеподібні сошники (рисунок 1.13, а) – рекомендуються для легких типів ґрунтів з невеликою кількістю рослинних решток. Наявність запірної заслінки запобігає їх забивання під час руху заднім ходом, а подовжений підпружинений гряділь дозволяє досить ефективно долати перешкоди у вигляді каміння, ґрунтових склепінь та грудок землі;

- дводискові сошники (рисунок 1.13, б) призначені для більш важких ґрунтів. Їх перевага – підвищена прохідність навіть за наявності на полі значної кількості рослинних решток, хоча існує імовірність порушення рівномірності глибини сівби окремими з них через переміщення різними ділянками поля за шириною руху сівалки;



а)



б)



в)

**Рисунок 1.13. Сошники сівалок  
MONSUN:**

а – ножеподібний; б – дводисковий; дво-  
дисковий Х-подібний

- дводискові Х-подібні сошники (див. рисунок 1.13, в) призначені для стандартної і мінімальної сівби насіння після лушення ґрунту з наявністю великої кількості рослинних решток. Взаємне зміщення і зміна кутів встановлення дисків дозволяє застосовувати їх в період сухих кліматичних умов і період підвищеної вологості ґрунту. Запропоноване кріплення дисків запобігає засмічуванню висівних механізмів, налипанню ґрунту на диски і їх наступне блокування.



Компанія Horsch для сівби зернових, зернобових культур, ріпаку, проса та ін. сільськогосподарських культур, насіння яких має приблизно однакову форму, але різняться масою пропонує ряд моделей широкозахватних посівних комплексів серій: Pronto SW (див. рисунок 1.14), Pronto NT s Pronto DS [20].

Сівалка має двосекційний бункер 1 (див. рисунок 1.14), змонтований на рамі 4, вентилятор 2 і висівні апарати катушкового типу. До рами за допомогою сніці 3 приєднано культиваторну частину, яка містить передні 5 та задні 8 ущільнювальні колеса, дискові робочі органи 6, сошники для добрив 7 та насіння 9, ущільнювальний коток 10, гребінку 11, маркери 12 та розподільні головки для насіння 13 і мінеральних добрив 14.

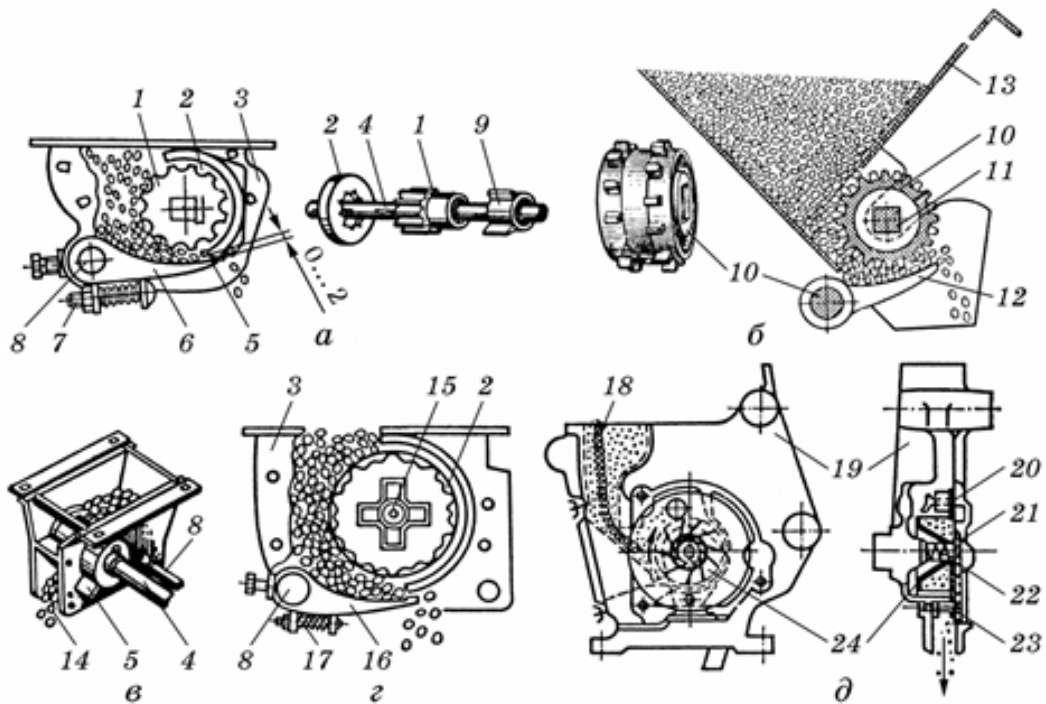
Усі сівалки Pronto обладнані автоматизованою системою дозування насіння й добрив та системою контролю за якістю виконання технологічного процесу.

#### 1.6 Огляд конструкцій висівних апаратів катушкового типу

Висівні апарати катушкового типу (рисунок 1.15) застосовуються для сівби дрібного, середнього та крупного насіння, близького за розмірами і формою та як ефективні дозатори гранульованих мінеральних добрив. Їх застосовують переважно на зернових, зерно-льонових, зерно-трав'яних та овочевих сівалках.

Основними виконавчим елементом вказаних висівних апаратів виступають: рифлена катушка 1 (див. рисунок 1.15, а), катушка зі штифтами 10 (див. рисунок 1.15, б) або катушка відцентрова 24 (див. рисунок 1.15, д). Кожна з них насаджена на привідні вали, які надають їм обертового руху під час переміщення дозованого насіння (добрив). Катушки висівних апаратів розміщені в індивідуальних корпусах (лита або штампована коробка для насіння) або кріпляться разом із валом до корпуса ящика (катушково-штифтові апарати для дозування і внесення мінеральних добрив) [1, 2, 3, 5, 15].





**Рисунок 1.15 Висівні апарати котушкового типу:**

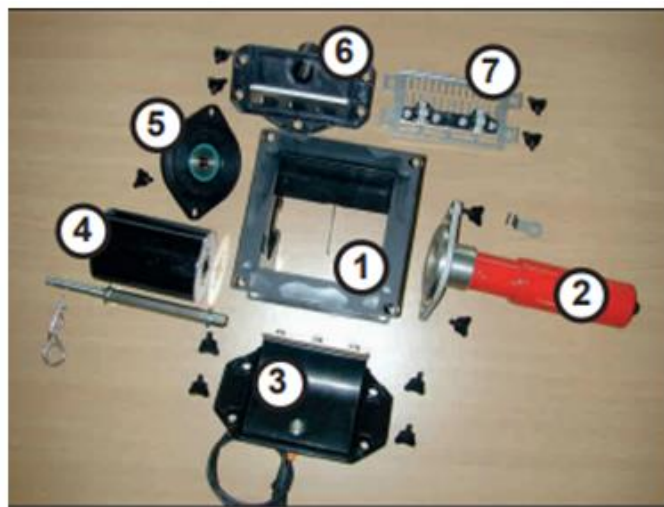
*а, б* — рядкових сівалок; *в* — трав'яних сівалок; *г і д* — овочевих сівалок; 1, 10 і 24 — котушки; 2 — розетка; 3 і 19 — корпуси; 4, 11 і 15 — вали; 5 — ребро муфти; 6, 12 і 16 — клапани; 7 — регульовальний болт; 8 — вісь; 9 — муфта; 13 — заслінка; 14 — нерухоме дно; 17 і 22 — пружини; 18 — зворушувач; 20 — диск; 21 — вікно; 23 — болт

У бічних стінках кожного корпусу зроблені два отвори для встановлення в них розетки 2 (див. рисунок 1.15, а) та муфти 9 холостого ходу. У розетці 2 є спеціальні вирізи в які входить котушка 1 для висівання насіння зернових, зернобобових культур, льону тощо, шарнірно закріплена на валу 4 квадратного профілю. Під час роботи котушка 1 обертається разом з валом 4 та розеткою 2. Сама муфта 4 холостого ходу фіксується у вирізах корпусу висівного апарату за допомогою двох ребер, які входять у них.

На осі нижньої частини корпусу висівного апарату змонтовано підпружинений криволінійний клапан 6, який забезпечує постійний висів насіння під час обертання котушки та служить для спорожнення насіннєвого ящика від посівного матеріалу по завершенню сівки. Він також запобігає вільному витіканню насіння з висівного апарату.

Працює катушковий апарат наступним чином. Під час обертання катушка захоплює порцію насіння, яке потрапило в її жолобки й переміщує його в нижню частину корпусу, де воно вивільняється через зазор (в межах 0...2 мм для зернових культур і 8...10 мм – для зернобобових) між ребрами катушки і спорожнювального клапана у насіннєтокопровід. Катушка взаємодіє тільки з активним шаром насіння, що знаходиться над нею і наближено складає товщину в 4–6 насінин. Оскільки робочу довжину катушки можна змінювати, то насіння висівається робочою частиною катушки, яка розміщується всередині корпусу висівного апарату.

На сівалках моделей ST M1 Pronto SW компанії Horsch застосовують катушковий висівний апарат, основним елементом якого є катушка (ротор) 4 (рисунок 1.16), закріплена на вісі у корпусі 1. Катушка приводиться в дію за допомогою електродвигуна 2, який дозволяє плавно і в досить широких межах змінювати її оберти [20].



**Рисунок 1.16 Катушковий висівний апарат сівалок ST M1 Pronto SW:**

1 – корпус; 2 – приводний електродвигун; 3 – зливний клапан з ущільнювальним елементом; 4 – ротор; 5 – бокова кришка з опорою ротора; 6 – бокова кришка для напірного бункера зі скребком; 7 – бокова кришка для звичайного бункера з щітками для ріпаку.

Корпус має зливний клапан 3 у нижній частині та бокові кришки 5 та 6, які використовуються для сівки різних за розмірами насіння сільськогосподарських культур.

Котушки висівних апаратів (рисунок 1.17) мають різні за об'ємом жолобки й можуть використовуватися для сівби певних груп сільськогосподарських культур.

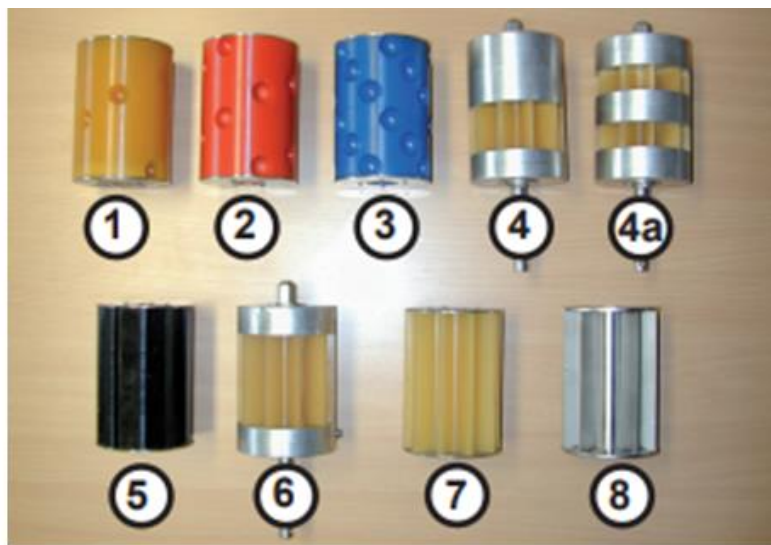


Рисунок 1.17 Котушки висівних апаратів сівалок ST M1 Pronto SW

Кожна із котушок має свій номер, об'єм жолобків та різний колір, що дозволяє швидко підібрати необхідний дозатор для певної культури, як відображено у таблиці 1.1 [20].

Таблиця 1.1 – Характеристики котушок висівних апаратів сівалок  
ST M1 Pronto SW

№ котушки	Розмір, см <sup>3</sup>	Колір	Характеристика
1	20	Жовтий	- використовують для сівби кукурудзи; - непридатний для сівби бобових культур і твердих мінералів
2	40	Червоний	
3	100	Синій	
4	170	Жовтий/алюміній	
4a	170	Жовтий/алюміній	2×85 см <sup>3</sup> для подвійних висівних доріжок
5	250	Чорний	
6	320	Жовтий/алюміній	
7	500	Жовтий	
8	800	Метал	

Як видно з таблиці для сівби кукурудзи можуть застосовуватися дозатори з номерами від 1 до 3. Дозаторами 4 та 4а можна сіяти різноманітні сільськогосподарські культури, які мають доволі дрібне насіння – льон, ріпак, олійну редьку тощо.

Для сівби зернових культур можуть використовуватися дозатори з об'ємом понад 250 см<sup>3</sup>.

### Висновки

1. Зернові культури сіють переважно рядковим способом, за якого ширина міжряддя становить 15 см (широкорядна сівба) та 7,5 см (вузькорядна сівба).

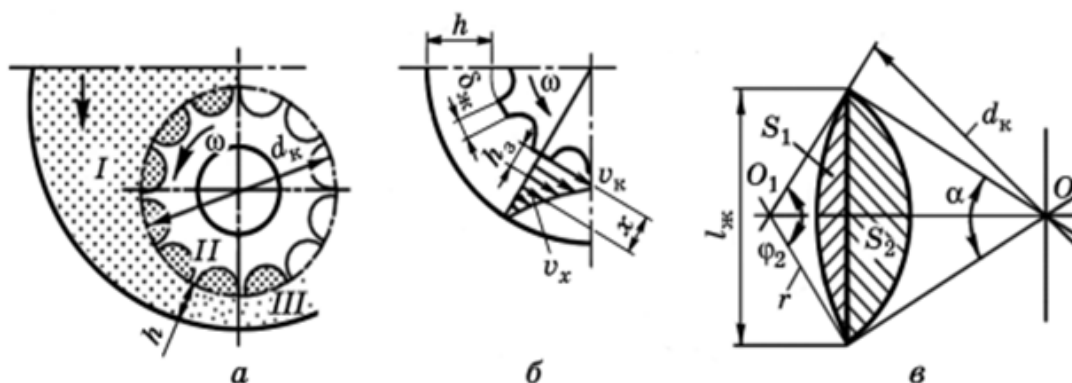
2. Серед відомих конструкцій висівних апаратів на вітчизняних зернових сівалках застосовують переважно реберчасті або гвинтові катушкові висівні апарати з механічним або пневматичним дозуванням.

3. На сівалках моделей ST M1 Pronto SW компанії Horsch застосовують катушкові висівні апарати, якими можна сіяти різноманітні сільськогосподарські культури, що мають доволі дрібне насіння – льон, ріпак, олійну редьку тощо та крупнонасінневий матеріал – зерно-бобові та кукурудзу.

## 2 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОТУШКОВОГО ВИСІВНОГО АПАРАТУ

### 2.1 Обґрунтування параметрів катушки

Під час обертання катушки висівного апарату в зоні її дії утворюється активний шар насіння, який умовно можна розділити на три зони (рисунк 2.1, а). До зони I відноситься насіння, яке може вільно переміщуватися між катушкою і корпусом висівного апарату, а також те, яке потрапило в жолобки катушки; до зони II відноситься насіння, яке піддається примусовому переміщенню обертотним рухом катушки; зону III складає насіння, яке розміщене в жолобках катушки і активному шарі, який обмежується клапаном у нижній частині корпусу висівного апарату [2, 5, 14].



**Рисунок 2.1** Схема роботи катушкового висівного апарата:

а – зони руху насіння; б – характер розподілу швидкості руху в активному прошарку; в – профіль комірки; I – вільний рух; II – примусовий рух; III – рух в активному прошарку

В зоні I насіння рухається вільно, під дією сили ваги. Потрапивши у зону II насіння рухається примусово, оскільки звужується горловина корпусу і воно переміщується з ковзанням завдяки обертотному руху катушки. У зоні III насіння рухається завдяки силам внутрішнього тертя, які обмежуються ребрами катушки та переноситься з одної зони в іншу. Насіння кожної культурної рослини має індивідуальну, притаманну їй товщину активного шару  $h$  (див. рисунок 2.2, б), яка не перевищує шестикратної товщини зернового матеріалу [2].

Закономірність зміни швидкості руху насіння в активному шарі катушкового висівного апарату підпорядковується степеневій функції і має такий вигляд:

$$u_x = f(x) = u_k \left(1 - \frac{x}{h}\right)^{m_1}, \quad (2.1)$$

де:  $u_k$  – лінійна швидкість катушки висівного апарату,

$m_1$  – показник степеня, який можна визначити експериментально.

Зведена товщина активного шару  $h_3$ , в якому насіння рухається з постійною швидкістю, яка відповідає лінійній швидкості катушки, пов'язана з товщиною активного шару насіння  $h$  наступною залежністю [2, 5, 14]:

$$h_3 = \frac{h}{m_1 + 1}. \quad (2.2)$$

З врахуванням (2.2) формула (2.1) набуде наступного вигляду:

$$u_x = \int_0^h [1 - (x/h)]^{m_1} dx = h_3 u_k. \quad (2.3)$$

Фактичне значення зведеної товщини активного шару  $h_3$  змінюється в невеликих межах з врахуванням робочої довжини активної частини катушки та швидкості її обертання.

Об'єм зерна, який здатна висівати катушка за один оберт (робочий обсяг катушки)  $V_k$ , складається з об'єму зерна, яке потрапило у жолобки  $V_{ж}$  та посівного матеріалу, висіяного з активного її шару  $V_{ак}$ , тобто:

$$V_k = V_{ж} + V_{ак}. \quad (2.4)$$

Якщо прийняти до уваги, що усе зерно, яке потрапило у жолобки  $V_{ж}$  має такий самий об'єм як жолобки катушки, то в результаті отримаємо таку залежність [2, 5, 14]:

$$V_{ж} = k_3 S_{ж} Z_{ж} l_k \quad (2.5)$$

де  $k_3 = 0,7 \dots 0,9$  – коефіцієнт заповнення жолобків,

$S_{ж}$  – площа поперечного перерізу одного жолобка,  $\text{мм}^2$ ,

$Z_{ж}$  – кількість жолобків (як правило,  $Z_{ж} = 12$ ),

$l_k$  – активна (робоча) довжина катушки,  $\text{мм}$ .

За відомого діаметра котушки  $d_k$  поверхня поперечного перерізу жолобка котушки буде характеризуватися його профілем. Для найбільш поширеного профілю жолобка котушки, утвореного радіусом котушки  $d_k/2$  і радіусом жолобка  $r$  (див. рисунок 2.2, в) площа його поперечного перерізу становить:

$$S_{\text{ж}} = S_1 + S_2 = \frac{d_k^2 (\alpha' - \sin \alpha')}{8} = \frac{r^2 (\varphi_2 - \sin \varphi_2)}{2}, \quad (2.6)$$

з врахуванням, що

$$\alpha' = \arcsin \frac{l_{\text{ж}}}{d_k}; \quad \varphi_2 = \arcsin \frac{l_{\text{ж}}}{2r}; \quad l_{\text{ж}} = d_{\text{ж}} \sin \frac{\pi}{Z_{\text{ж}} - \delta_{\text{ж}}},$$

де  $\delta_{\text{ж}}$  – товщина перемички між жолобками котушки,

$l_{\text{ж}}$  – ширина жолобка котушки.

Якщо відомі товщина активного шару  $h_3$ , робоча (активна) довжина котушки  $l_k$  та колова швидкість  $V_k$  котушки, то можна визначити об'єм зерна (насіння)  $V_{\text{ак}}$ , який буде висіватися з активного шару за певний проміжок часу, тобто [2, 5, 14]:

$$V_{\text{ак}} = h_3 u_k l_k \quad (2.7)$$

Час, за який котушка зробить один оберт можна позначити через  $60/n_k$ , а тому лінійна швидкість котушки становитиме:

$$u_k = \pi d_k n_k / 60. \quad (2.8)$$

Тоді об'єм посівного матеріалу  $V_{\text{ак}}$ , який буде висіватися з активного шару котушки за один оберт становитиме:

$$V_{\text{ак}} = \pi d_k h_3 l_k. \quad (2.9)$$

З врахуванням формул (2.5) та (2.9) остаточно знайдемо робочий об'єм ( $V_k$ , см<sup>3</sup>) даної котушки:

$$V_k = (k_3 S_{\text{ж}} Z_{\text{ж}} + \pi d_k h_3) l_k. \quad (2.10)$$

З іншого боку, активний об'єм котушки можна визначити, знаючи задану норму висіву насіння ( $Q$ , кг/га), ширину міжряддя ( $b$ , м) та передаточне число  $i$  приводу вала висівного апарата котушок від осі опорно-привідного колеса сівалки. Якщо сівалку прокручувати за колесо, то за один повний його оберт сівалка має висіяти таку кількість насіння ( $Q_1'$ , кг):

$$Q'_1 = \frac{\pi d Q b z}{10^4}, \quad (2.11)$$

де  $d$  – діаметр опорно-привідного колеса сівалки, м,

$z$  – кількість висівних апаратів сівалки (шт.), кожен з яких повинен висіяти таку кількість зерна:

$$Q'_{1a} = \frac{\pi d Q b}{10^4}. \quad (2.12)$$

За відомої щільності  $\rho$  посівного матеріалу за один оберт опорно-привідного колеса кожен висівний апарат повинен висіяти наступний його об'єм:

$$V_{1a} = \frac{\pi d Q b}{10^4 \rho}, \quad (2.13)$$

а враховуючи ковзання колеса:

$$V_{1a} = \frac{\pi d Q b}{10^4 \rho (1-\eta)}, \quad (2.14)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт ковзання по ґрунту.

За один оберт опорно-привідного колеса сівалки катушка за один оберт висіє наступну кількість зерна (насіння):

$$V_k = \frac{V_{1a}}{i} = \frac{10^2 \pi d Q b}{\rho (1-\eta) i}. \quad (2.15)$$

Прирівнявши праві частини формул (2.10) та (2.16), отримаємо рівність, яка дозволяє визначити основні конструктивні та кінематичні параметри й режими роботи катушкового апарату й сівалки в цілому [2, 5, 14]:

$$(k_z S_{ж} Z_{ж} + \pi d_k h_z) l_k = \frac{10^2 \pi d Q b}{\rho (1-\eta) i}, \quad (2.16)$$

де  $i$  – передаточне число приводу вала катушкових висівних апаратів від осі опорно-привідного колеса сівалки.

Слід мати на увазі, що усі аналітичні розрахунки потрібно проводити за максимально досяжною нормою посіву для даної сільськогосподарської культури. Це необхідна умова для визначання максимального значення робочого об'єму кожної катушки висівного апарату, маючи на увазі їх розміщення під днищем насінневого бункера й врахування оптимальної ширини міжряддя для заданої сільськогосподарської культури.



## 2.2 Аналітичне дослідження режиму роботи катушкового висівного апарату

З формули (2.16) випливає, здійснюючи за один оберт катушки суцільну сівбу насіння, можна забезпечивши задану норму висіву тобто [2, 5, 14]:

$$Q_{\text{заг}} = \frac{10^2 \pi d Q b}{i(1-\eta)}. \quad (2.17)$$

З врахуванням значень передатного числа ( $i = n_a/n$ ), швидкості руху сівалки ( $v_M = \pi d n / 60$ ), кутової швидкості катушки ( $\omega = \pi n_a / 30$ ) витрати посівного матеріалу ( $\text{м}^3$ ), становитимуть:

$$Q_{\text{заг}} = \frac{2\pi Q v_M b}{10^4 \omega (1-\eta)}. \quad (2.18)$$

З формули (2.18) визначимо мінімальну кутову швидкість катушки  $\omega_{\text{мін}}$  ( $\text{с}^{-1}$ ) для забезпечення технологічного процесу сівби з врахуванням швидкості руху посівного агрегату  $v_M$  ( $\text{м/с}$ ):

$$\omega_{\text{мін}} = \frac{2\pi Q v_{Mb}}{10^4 Q_{\text{заг}} (1-\eta)}. \quad (2.19)$$

Кутова швидкість катушки повинна забезпечувати якісний посів заданої норми насіння. Тому важливим є встановлення максимально-можливої кутової швидкості катушки  $\omega_{\text{max}}$  за якої існує велика імовірність вільного випадання насіння з жолобка.

Розглянемо умову за якої насіння розташовуватиметься на кінці жолобка катушки. На нього діятиме відштовхувальна сила – сила катушки  $m\omega^2 r_K$ . На противагу їй між насінинами і катушкою діють також сили тертя  $fmg$ . Насіння випадатиме з катушки тільки тоді, коли ці дві сили, принаймі, будуть рівними, тобто виконуватиметься умова рівності сил, а саме:

$$fmg = m\omega^2 r_K, \quad (2.20)$$

де:  $f$  – коефіцієнт тертя насіння по металу,

$m$  – маса насіння,

$r_K$  – радіус катушки висівного апарату.

З умови рівності (2.20) максимально ймовірна кутова швидкість котушки висівного апарату становить [2, 5, 14]:

$$\omega_{max} = \sqrt{fg/r_k}. \quad (2.21)$$

Враховуючи (2.19) та (2.21) можна зробити висновок, що кутова швидкість котушки висівного апарату має бути у наведених вище межах, тобто:

$$\frac{2\pi Q v_m b}{10^4 Q_{зар}(1-\eta)} < \omega < \sqrt{\frac{fg}{r_k}}. \quad (2.22)$$

Як відомо, з бункера сівалки насіння (зерновий матеріал) потрапляє через отвори в нижній їх частині до корпусів котушкових апаратів за декілька, орієнтовно п'ять, етапів. На першому етапі першочергово висипаються з бункера насінини з нижнього шару, що призводить до поступового зниження їх рівня. Крім того насінини намагаються повертатися боковою віссю за напрямком пересування, скеровуючись таким чином від отвору витікання до верхніх шарів зернового матеріалу.

Подача насіння на першій стадії підпорядковується закономірності витікання робочої рідини з отвору, тобто [2, 5, 14]:

$$Q_1 = \mu S \sqrt{2gh}, \quad (2.23)$$

де:  $Q_1$  — подача зернового матеріалу, м<sup>3</sup>/с,

$\mu$  — коефіцієнт опору переміщенню (коефіцієнт витрати),

$S$  — площа поперечного перерізу горловини бункера (отвору), м<sup>2</sup>,

$g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>,

$h$  — висота стовпа насіння в бункері, м.

В певний момент, коли рівень насіння в бункері (зерновому ящику) опиниться на умовній висоті  $h_1$  над отвором (горловиною), під час висипання зернового матеріалу буде формуватися рухливе розвантажувальне склепіння у вигляді параболоїда. Перший етап поступово переходить у другий під час якого зерновий матеріал вільно падає з певної висоти, яку можна вирахувати за допомогою співвідношення:

$$h_1 = \frac{r_3}{f'}, \quad (2.24)$$

де:  $h_1$  — висота склепіння, м,

$r_3$  — зведений радіус отвору, який відповідає гідравлічному подвійному радіусу, м,

$f'$  — коефіцієнт внутрішнього тертя зернового матеріалу.

Витрата (потік) насіння  $Q_2$  (м<sup>3</sup>/с) на цьому етапі буде становити:

$$Q_2 = 1,47\lambda\lambda_1 S \left(\frac{r_3}{f'}\right)^{0,5}, \quad (2.25)$$

де:  $\lambda, \lambda_1$  — коефіцієнти витрат, що залежать від питомої маси, розмірів насінневого матеріалу та радіуса (розміру) вихідного отвору.

Після цього насіння почне висипатися з верхнього рівня, що супроводжуватиметься утворенням воронки. Так розпочнеться третя стадія висипання посівного матеріалу. Якщо насіння розміщене за межами центрального стовпа, то воно буде спливати в утворену воронку, кут якої відповідатиме куту природного відкосу. В цьому випадку потік посівного матеріалу збільшується. Внаслідок нерівномірності руху окремих шарів насіння в межах воронки вона поглиблюється і також зростають її розміри (діаметр) через постійне завалювання бокових шарів насіння на межі з центральним стовпом.

На третьому етапі витрата (потік) посівного матеріалу  $Q_3$  (м<sup>3</sup>/с) становить:

$$Q_3 = (1,47k_{пл} S r_3^{0,25}) / f'^{0,5}. \quad (2.26)$$

В той час, коли верхній рівень посівного матеріалу, який поступово й безперервно зменшується, досягне висоти рухливого розвантажувального склепіння, спричиненого примусовим обертанням котушки висівного апарату, дане склепіння почне руйнуватися й подача (витік) зернового матеріалу з бункера сповільниться – розпочнеться четверта стадія, витрати зернового матеріалу на якій можна розраховувати за формулою (2.26). Оскільки висота склепіння з часом поступово знижуватиметься і дійти до нуля, то потоку зернового матеріалу не буде, а він висипатиметься з дна і стінок бункера похилою площиною – таким буде завершальний, п'ятий етап.

У випадку, якщо площа поперечного перерізу вихідного отвору (горловини) буде зменшуватися, то потік посівного матеріалу через нього може повністю припинитися. Таке можливе, якщо не буде виконуватися умова [2]:

$$r_{кр} \leq 4\sqrt{ab}, \quad (2.27)$$

де  $r_{кр}$  – критичний радіус отвору горловини, мм,

$ab$  – середній поперечний розмір насінини, мм.

Ширину днища бункера сівалки  $b_{дн}$  можна визначити, скориставшись виразом:

$$b_{дн} = d_0 + 2b_1, \quad (2.28)$$

де  $d_0$  – задовільний діаметр вихідного отвору, мм,

$b_1$  – припуск на кожную сторону вихідного отвору бункера, мм;

$$b_1 = 20 \dots 40 \text{ мм.}$$

Передні та задні стінки бункерів сівалок виготовляють під кутом до основи. Цей кут повинен дорівнювати подвоєному куту тертя зернового матеріалу (насіння) по пофарбованій металевій поверхні.

Довжину бункера сівалки  $l_m$  (м) визначають за формулою

$$l_m = b(Z - 1) \quad (2.29)$$

де  $b$  – ширина міжряддя, м,

$Z$  – кількість сошників, шт.

Робочий обсяг насіннєвого бункера  $V_m$  (м<sup>3</sup>) визначаємо з врахуванням довжини ділянки, яку пройде сівалка до наступного його заповнення посівним матеріалом, а саме:

$$V_m = \frac{l_{\Gamma} b_p Q_{max}}{10^4 \rho \eta_m} \quad (2.30)$$

де  $l_{\Gamma}$  – довжина гону між двома заправками сівалки посівним матеріалом, м,

$b_p$  – ширина захвату сівалки, м,

$Q_{max}$  – максимальна норма висіву насіння, кг/га,

$\rho$  – щільність посівного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>,

$\eta_m$  – коефіцієнт заповнення бункера сівалки,  $\eta_m = 0,85 \dots 0,90$ .

Таким чином, отримані формули (2.28) – (2.30) дозволяють визначити основні конструктивні параметри бункерів посівних машин.

### Висновки

1. Теоретичними дослідженнями підтверджено закономірність висіву насіння з бункера, яка не залежить від висоти його шару над отвором (горловиною), а зменшуються у випадку прогинання зовнішніми силами еластичного розвантажувального склепіння.

2. Аналітичними дослідженнями отримано рівність (2.16), яка дозволяє визначити основні конструктивні та кінематичні параметри й режими роботи катушкового висівного апарату й сівалки в цілому:

3. Аналітичними дослідженнями отримано умову (2.22) для визначення кутової швидкості катушки висівного апарату, яка враховує конструктивні параметри катушки та технологічні параметри сівалки.

### 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження висівних апаратів катушкового типу проводились з метою визначення дійсного значення вказаної норми висіву й можливого відхилення від заданого параметру під час встановлення сівалок на норму висіву з врахуванням ваги 1000 насінин окремо для насіння озимої пшениці та вівса.

Дослідження проводились у два етапи. На першому з них визначалась вага 1000 насінин кожної сільськогосподарської культури, а на другому – встановлювалася норма висіву насіння різними типами катушкових висівних апаратів для окремих порцій посівного матеріалу з різною вагою 1000 насінин.

Для визначання ваги 1000 насінин кожної культури їх відбирали по крупності зерна, відраховували необхідну кількість, поміщали у тару 1 (рисунок 3.1) та зважували електронними вагами 2.



**Рисунок 3.1** Обладнання для зважування 1000 насінин посівного матеріалу:

1 – тара; 2 електронні ваги.

Відібраний таким чином посівний матеріал ділився на окремі порції (фракції), в які потрапляли різні за розмірами насінини (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1– Розподіл насіння на фракції за вагою 1000 насінин

№ за/п	С.-г. культура	Фракції насіння за вагою 1000 насінин, г		
		I	II	III
1	Пшениця озима	30-38	39-47	48-55
2	Овес	30-35	36-40	41-45

На другому етапі проводилась серія експериментів з налаштування висівних апаратів котушкового типу на задану норму внесення технологічного матеріалу окремо для кожної із фракцій (див. таблицю 3.1).

Для сівалок з гвинтовим котушковим апаратом (сівалки ASTRA-5,4 ASTRA-6 компанії ELVORTI) суть методики з налаштування висівного апарату полягає у визначенні кількості висіяного зерна за 28 обертів приводного колеса й порівнянні з теоретично визначеним його значенням за формулою

$$g_m = 18,5 \cdot n_k \cdot m \cdot n \cdot \pi \cdot D, \quad (3.1)$$

де  $D$  – діаметр опорно-приводного колеса сівалки;

$n$  – кількість обертів опорно-приводного колеса;

$m$  – маса висіяного насіння під час експерименту, кг;

$n_k$  – загальна кількість висівних апаратів, шт.

Під час проведення експериментальних досліджень використовувалась лабораторна установка (рисунок 3.2) на базі діючих гвинтових котушкових висівних апаратів зернової сівалки ASTRA-5,4.

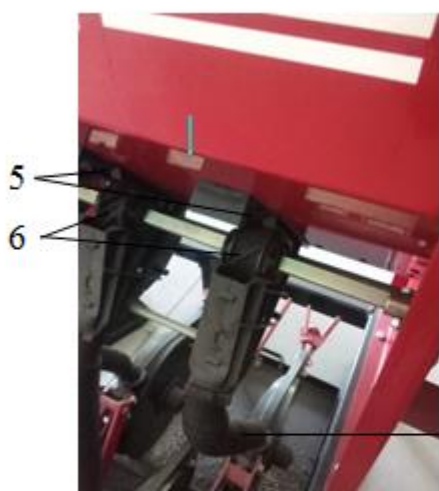
Лабораторна установка має раму 7 з бункером 1 для досліджуваного насіння 10, на задній стінці якого є висівний апарат 6 (див. рисунок 3.2, б) із заслінкою 5 та клапаном для встановлення відповідного об'єму котушки. Привод вала котушкових апаратів здійснюється через безступінчастий варіатор 3, який плавно змінює її оберти, зафіксовані на шкалі показчика 2. Приводиться в дію лабораторна установка за допомогою важеля 4, який імітує оберти приводного колеса сівалки.

На початку серії дослідів насіння кожної фракції окремої с.-г. культури засипалось у бункер 1, для кожної норми висіву встановлювалось передатне число редуктора 3, положення клапана висівного апарату та положення заслінки 5 на відповідному фіксаторі.

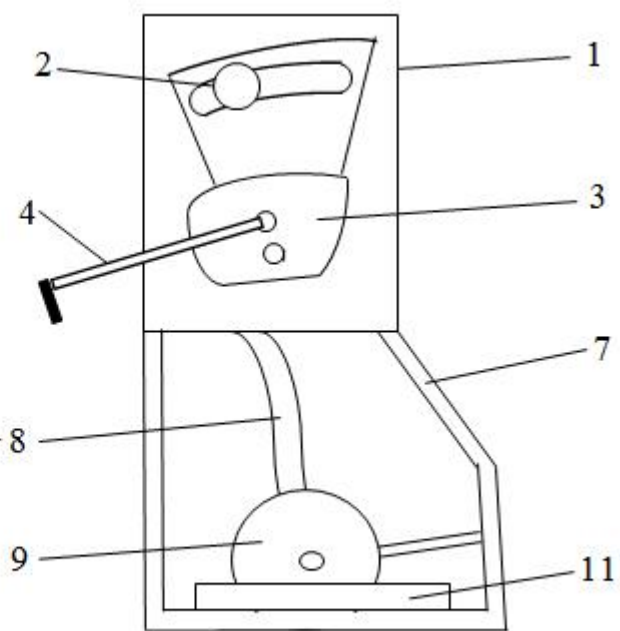
Під час експериментів важіль 4 прокручували вручну 28 повних обертів, збирали висіяне через насіннепровід 8 і сошник 9 зерно з ємності 11 і зважували.



а)



б)



в)

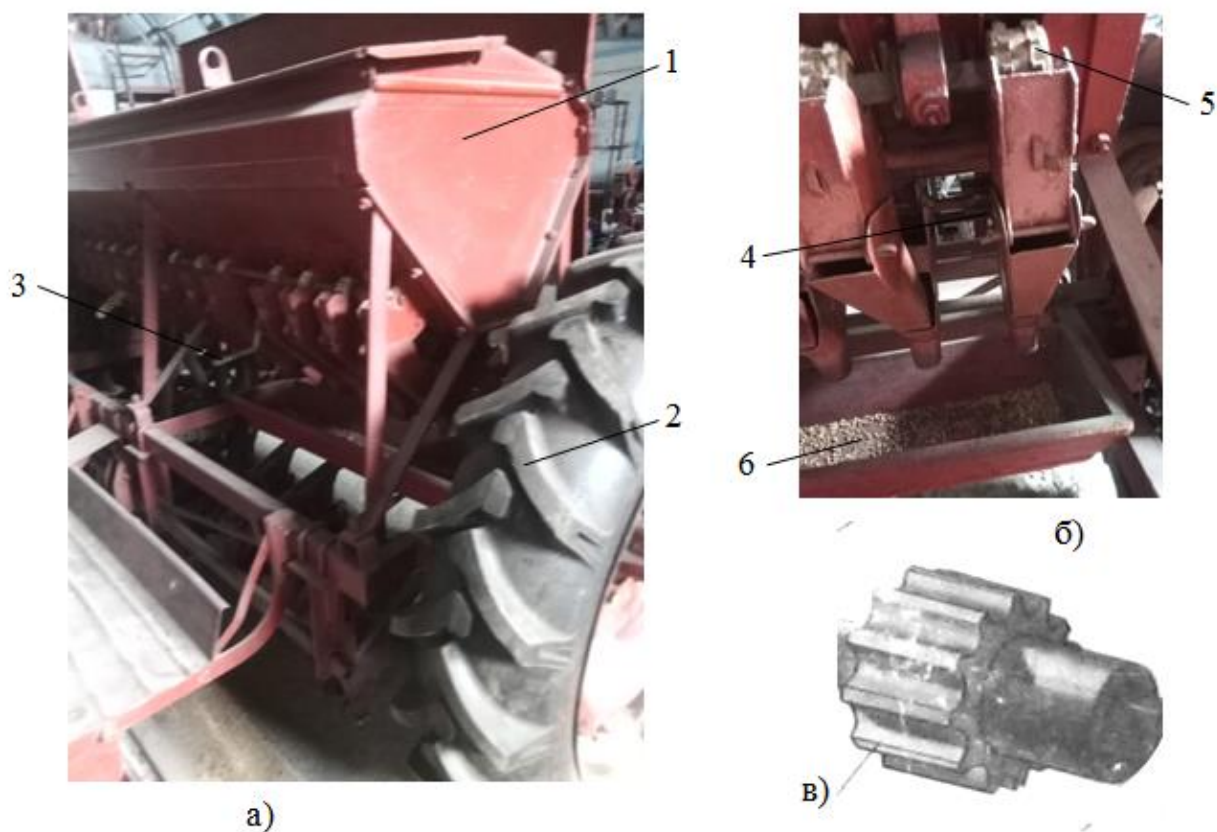
**Рисунок 3.2 Лабораторна установка на базі сівалки ASTRA-5,4:**

а) загальний вигляд; б) задня стінка бункера для насіння; в) схема; 1 – бункер для насіння; 2 – шкала показчика; 3 – безступінчастий редуктор (варіатор); 4 – важіль привідний; 5 – регульовальна заслінка; 6 – висівний апарат (гвинтова котушка); 7 – рама; 8 – насіннепровід; 9 – сошник; 10 – досліджуваний зерновий матеріал, 11 – ємність для збирання висіяного насіння.



Експерименти проводились у трикратній повторюваності для кожної фракції окремо для пшениці і окремо для вівса та порівнювали їх з табличними даними.

Аналогічні дослідження проводились для встановлення норми висіву цих же фракцій досліджуваних сільськогосподарських культур для реберчастого котушкового апарату з використання лабораторної установки на базі сівалки СЗУ-3,6 (рисунок. 3.3). Установка має бункер для насіння 1, опорно-приводне колесо 2, висівний апарат для насіння 4 з важелем керування 3, туковисівний апарат 5 та ємність для збирання висіяного під час дослідів насіння.



**Рисунок 3.3** Схема лабораторної установки на базі сівалки СЗУ-3,6:

а) загальний вигляд; б) задня стінка бункера сівалки; в) котушка для сівби насіння; 1 – бункер; 2 – опорно-приводне колесо; 3 – важіль керування положенням котушки; 4 – котушково-реберчастий висівний апарат; 5 – котушково-штифтовий туковисівний апарат; 6 – ємність для збирання висіяного насіння.

Експерименти проводились за загальноприйнятою методикою, що передбачає послідовне виконання таких етапів:

- для заданої норми висіву вівса та озимої пшениці визначали передаточне число редуктора приводу вала катушкових апаратів та робочу довжину катушки 4 та встановлювали його на лабораторній установці;
- за допомогою важеля регулятора 3 встановлювали необхідну робочу довжину катушок 4;
- під висівні апарати 4 встановити ємність 6 для збирання висіяного насіння;
- засипали в зерновий ящик 1 лабораторної установки відповідну фракцію насіння окремої культури, робили 15 обертів привідного колеса 2 й збирали в ємність 6 висіяне зерно й зважували його;
- розраховували масу (кг) теоретично висіяного насіння кожної фракції за формулою [2, 5, 14, 15]

$$g = \frac{Q \cdot \pi \cdot D \cdot B \cdot n}{10000 \cdot (1 - \varepsilon)}, \quad (3.2)$$

де  $Q$  – норма висіву насіння, кг/га;

$\pi$  – відношення довжини колеса до діаметра;

$B$  – ширина захвату сівалки, м;

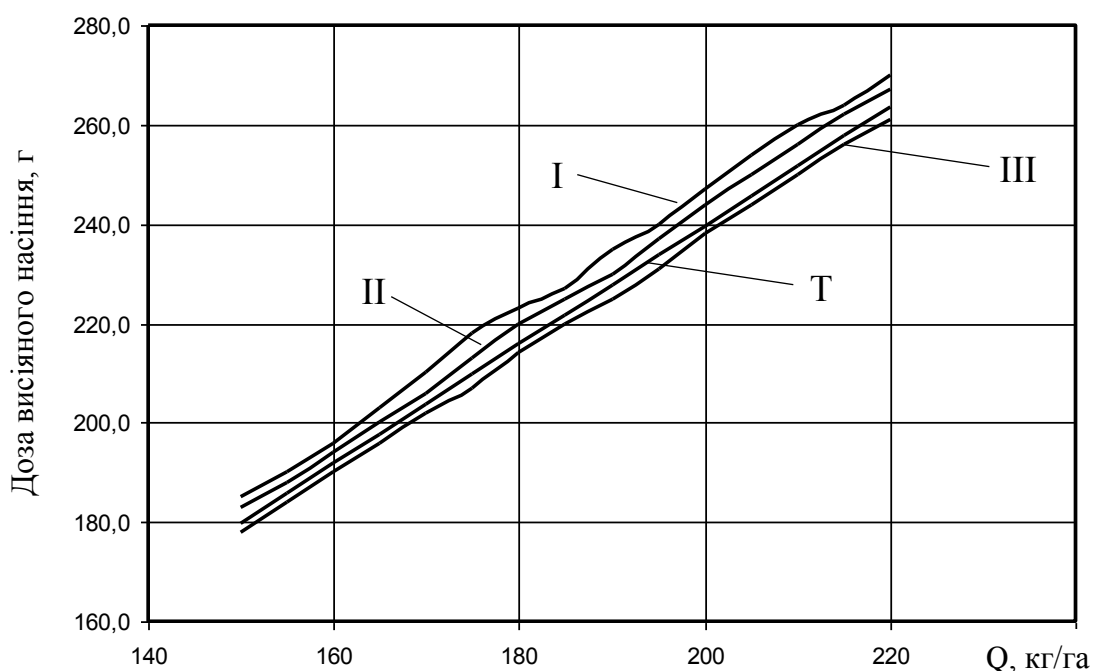
$\varepsilon$  – ковзання ведучого колеса,  $\varepsilon = 0,05 - 0,1$ .

Після проведення експериментів проводилась порівняльна оцінка роботи висівних апаратів для кожної фракції досліджуваної сільськогосподарської культури.

#### 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

По завершенню експериментів на двох типах висівних катушкових апаратів було проведено їх обробку з метою визначення отриманих даних теоретично розрахованим за відповідними формулами (див розділ 3) та рекомендованим у відповідних інструкціях. Основною метою при цьому було встановити, чи впливає вага 1000 насінин на роботу висівного апарату стосовно забезпечення заданої норми висіву.

На підставі отриманих даних експериментів та теоретичних досліджень було побудовано криві залежностей доз висіяного насіння вівса (рисунок 4.1) та пшениці озимої (рисунок 4.2) гвинтовою катушкою від заданої норми  $Q$  (кг/га) для фракцій насіння з різною вагою 1000 зерен (г).



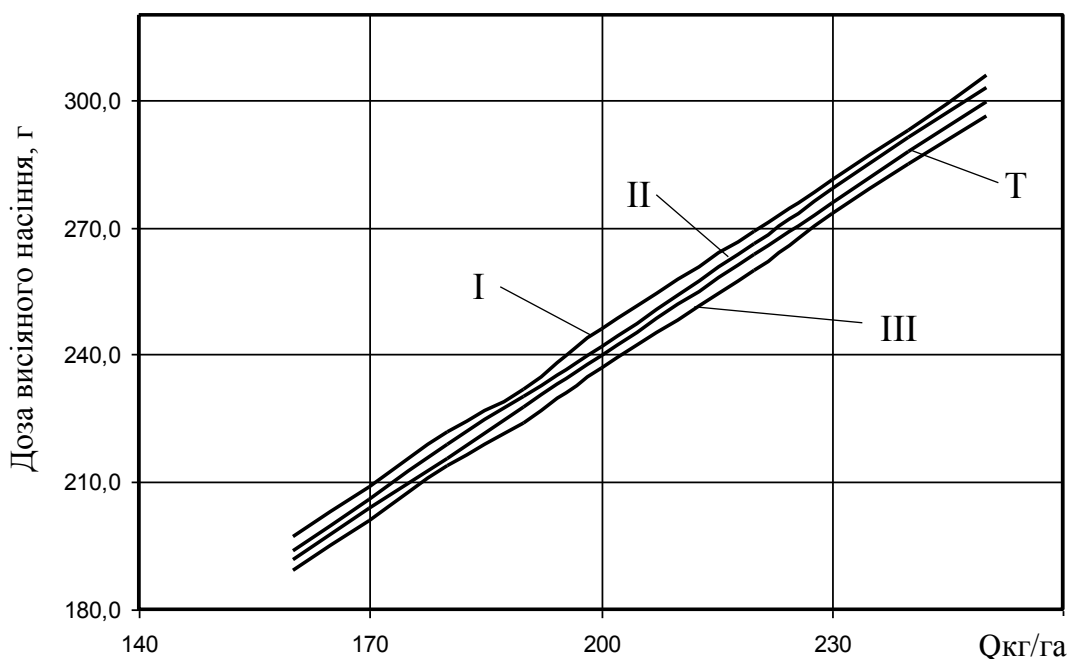
**Рисунок 4.1** Залежність дози висіяного насіння вівса гвинтовою катушкою від заданої норми  $Q$  (кг/га) для фракцій насіння з вагою 1000 зерен (г): 30-35 (I); 36-40 (II) та 41-45 (III); T – теоретична крива.

Встановлено, що висівний апарат у вигляді гвинтової катушки в цілому забезпечує теоретично розраховану норму висіву як вівса, так і пшениці озимої, але з певними відхиленнями. Так фракція III крупнішого насіння (41-45 г/1000 насінин) висівається менше теоретичної норми, що пов'язано з конструктивними особливостями самої гвинтової катушки, у якій наявні жолобки

для захоплення крупнішого й дрібнішого насіння. Саме більш крупне насіння стало причиною не повного заповнення висівного апарату і як наслідок незначного зменшення норми висіву. Натомість, насіння найдрібнішої фракції (I) висівається понад норму.

Слід відмітити, що під час експериментів насіння збиралося і зважувалося тільки з трьох висівних апаратів. При цьому важіль клапана висівного апарату фіксувався в положенні, що відповідає цифровому позначенню 4. Окрім того, необхідно відмітити певну відмінність отриманих кривих від тих, які наведені в інструкції до сівалок з вагою 1000 насінин 39,8 г.

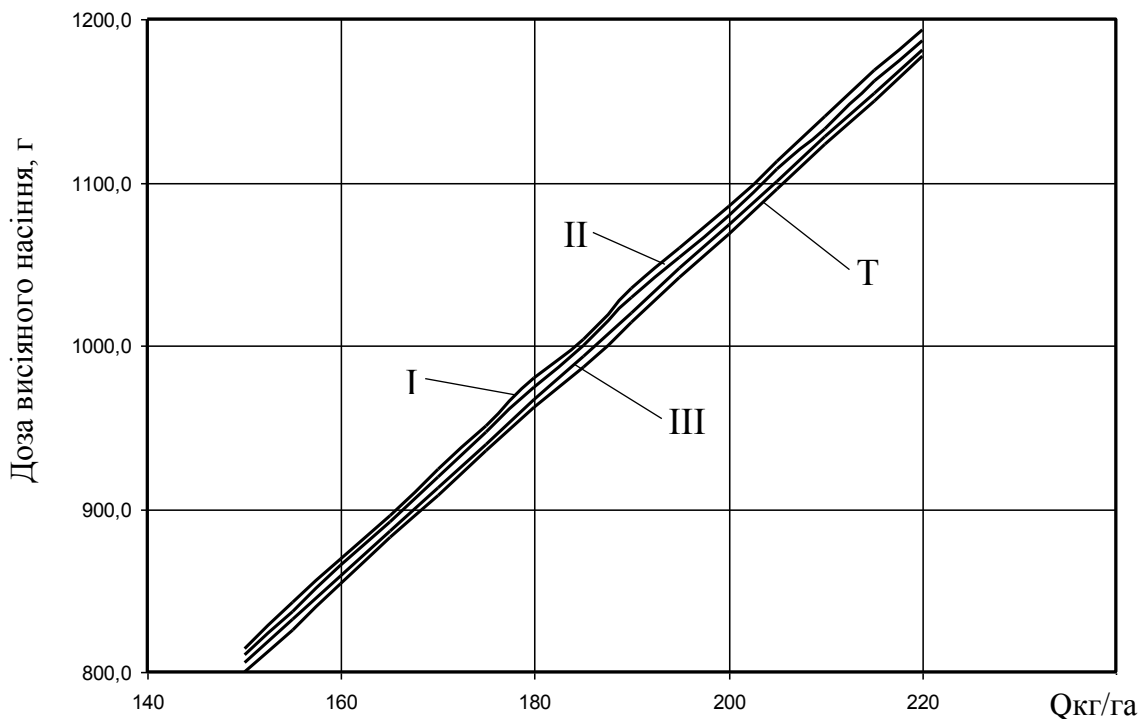
Аналогічні криві притаманні й пшениці озимій. Усі криві мають однако-ву закономірність, що і під час сівби вівса.



**Рисунок 4.2** Залежність дози висіяного насіння пшениці озимій гвинтовою катушкою від заданої норми  $Q$  (кг/га) для фракцій насіння з вагою 1000 зерен (г): 30-38 (I); 39-47 (II) та 48-55 (III); T – теоретична крива.

Як і в попередніх дослідях насіння збиралося і зважувалося тільки з трьох висівних апаратів, але важіль клапана висівного апарату фіксувався в положенні, що відповідає цифровому позначенню 3. Також слід відмітити певну відмінність отриманих кривих від тих, які наведені в інструкції до сівалок з вагою 1000 насінин 39 г.

Подібні закономірності спостерігаються під час сівби вівса (рисунок 4.3) та пшениці озимої (рисунок 4.4) під час роботи реберчастого катушкового висівного апарату.

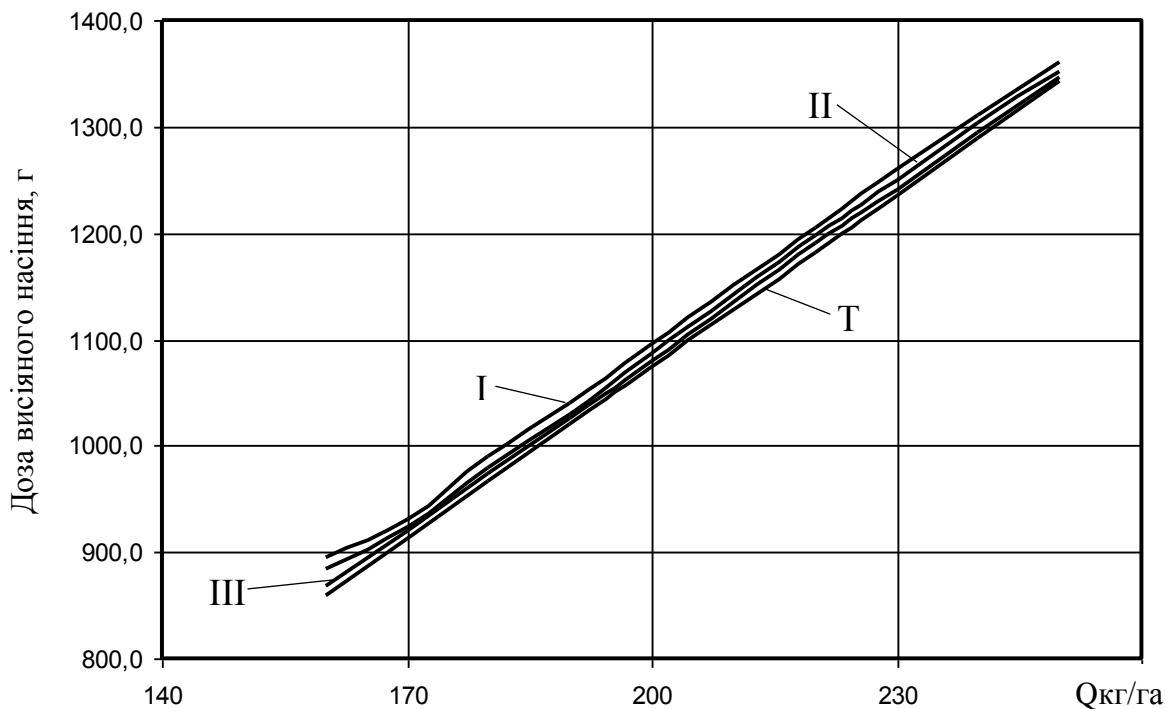


**Рисунок 4.3** Залежність дози висіяного насіння вівса реберчастою катушкою від заданої норми  $Q$  (кг/га) для фракцій насіння з вагою 1000 зерен (г): 30-35 (I); 36-40 (II) та 41-45 (III); T – теоретична крива.

Як видно з графіків в цілому реберчасті катушки забезпечують задану норму висіву не залежно від ваги 1000 насінин. Проте вони висівають збільшені норми в порівнянні з теоретично розрахованими, причому насіння найменшої за розмірами фракції висівається більше ніж крупної. Це пояснюється коефіцієнтом заповнення катушок, а також певною відмінністю між швидкістю обертання приводного колеса (проводилося вручну), що не дозволяло вибрати однакові оберти для усіх дослідів.

Більша доза висіяного насіння під час експериментів пояснюється тим, що збиралося і зважувалося насіння з шести одночасно працюючих висівних апаратів.

Під час досліджень вівса робоча довжина катушки вибиралась за номограмою з передаточним числом 1,33.



**Рисунок 4.4** Залежність дози висіяного насіння пшениці озимої реберчастою котушкою від заданої норми  $Q$  (кг/га) для фракцій насіння з вагою 1000 зерен (г): 30-38 (I); 39-47 (II) та 48-55 (III); Т – теоретична крива.

Під час досліджень пшениці озимої робоча довжина котушки вибиралась за номограмою з передаточним числом 0,428.

В цілому проведеними експериментами було з достатньою імовірністю підтверджено достовірність чинних методик та інструкцій з налаштування зернових сівалок, обладнаних реберчастим та гвинтовим котушковим висівними апаратами на задану норму висіву насіння.

Разом з цим, необхідно відмітити, що посівний матеріал має мати певні межі стосовно ваги 1000 насінин для кожної сільськогосподарської культури, щоб не тільки висіяти наперед задану норму висіву, але й забезпечити рівномірність розподілу насіння на полі.

Експериментами також підтверджено необхідність налаштування кожного висівного апарату сівалок перед виїзди у поле не залежно від виду сільськогосподарської культури та біологічних особливостей їх насіння.

## Висновки

1. Експериментами встановлено, що незалежно від досліджуваної с.-г. культури (пшениці озимої та вівса) спостерігається однакова закономірність між заданими і теоретичними нормами висіву насіння катушковими апаратами гвинтового та реберчастого типів в процесі сівби насіння окремих фракцій, що різняться вагою 1000 зерен.

2. Експериментальними дослідженнями встановлено, що висівний апарат у вигляді гвинтової катушки в цілому забезпечує теоретично розраховану норму висіву як вівса, так і пшениці озимої, але з певними відхиленнями – фракція III крупнішого насіння за вагою 1000 насінин висівається менше теоретичної норми, а фракції I дрібного та фракції II середнього насіння, навпаки, вище норми.

3. Експериментами встановлено, що в цілому реберчасті катушки забезпечують задану норму висіву не залежно від ваги 1000 насінин. Проте вони висівають збільшені норми в порівнянні з теоретично розрахованими, причому насіння найменшої за розмірами фракції (I) висівається більше ніж середньої (II) та крупної (III).

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Складання карти умов праці під час сівби зернових культур

Для сучасного с.-г виробництва характерним є вплив на організм людини різних технічних, біологічних та інших факторів. З метою прогнозування цих факторів необхідно провести паспортизацію робочого місця механізатора.

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення усіх виробничих небезпек для розробки проектів та прийняття інженерно-технічних і організаційних рішень, спрямованих на створення безпечних і нешкідливих умов праці. Відповідно до типової ієрархічної структури сільськогосподарського виробництва (цех, ділянка, робоча зона бригади, робоче місце) одиничним елементом виробництва є робоче місце. На ньому проявляються всі небезпечні і шкідливі фактори, які діють на працюючого і визначають ефективність його виробничої діяльності. Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, в якій представлені фактори безпеки по трьох напрямках факторів безпеки: трудовому, санітарно-гігієнічному та технічному [4, 6, 7, 13].

Карта умов праці передбачає виявлення на робочому місці шкідливих і небезпечних виробничих факторів та причин їх виникнення; дослідження санітарно-гігієнічних факторів виробничого середовища, важкості й напруженості трудового процесу, комплексну оцінку факторів виробничого середовища і характеру праці на відповідність їх вимогам стандартів, норм і правил; обґрунтування віднесення робочого місця до відповідної категорії з шкідливими умовами праці, підтвердження (встановлення) права працівників на пільгове пенсійне забезпечення та інші пільги залежно від умов праці.

Карта умов праці на робочому місці становить основу санітарно-технічного паспорту виробничої ділянки (бригади, майстерні, ферми тощо).

Паспорт господарства складається з паспортів ділянок і містить додаткову характеристику засобів загальногосподарського користування, об'єкти



колективного захисту. Кожний головний спеціаліст господарства організовує обстеження умов праці і стан технічної безпеки і підпорядковані їй йому галузі. Значно зменшити об'єми робіт при паспортизації можна шляхом групування типових робочих місць.

За гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік факторів умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустиму концентрацію (ГДР, ГДК), які заносять в графи 1, 2 та 3 (таблиця 5.1).

Складаємо карту умов праці робочого місця механізатора під час механізованого посіву зернових, виконавши розрахунки окремих коефіцієнтів за наступними формулами.

Коефіцієнт нормозабезпеченості визначаємо за формулою [4, 7]

$$K_n = 1 \pm \frac{A_e - A_n}{A_n}, \quad (5.1)$$

де  $A_e$  – фактичне значення умов праці;

$A_n$  – гранично допустимий рівень або концентрація.

Коефіцієнт небезпечності від дії фактора можна визначити з виразу:

$$K_{\text{дф}} = K_n \cdot T_{\text{дф}}, \quad (5.2)$$

де  $T_{\text{дф}}$  – час дії фактора у частках тривалості зміни.

Коефіцієнт небезпечності від усіх факторів становить:

$$K = \frac{K_{\text{дф}}}{n}, \quad (5.3)$$

де  $n$  – кількість факторів умов праці.

Під час складання умов праці на робочому місці механізатора використовуємо дані нормативних документів:

- ДСТУ 12.1.003-83 – Шум. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 12.1.005-86 – Повітря робочої зони. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 23.00-93 – Вібрація, терміни та визначення;



На підставі аналізу даних таблиці 5.1 можна зробити висновок, що фактичне значення умов праці механізатора під час безпосереднього посіву дещо перевищують граничні показники, регламентовані відповідними нормативними документами. Особливо шкідливими є вібраційні фактори, пов'язані з технологічним процесом садіння зернових, під час якого на остов трактора передаються віброударні коливання від активних конструктивних елементів сівалки.

Шкідливими є також пари нафтопродуктів (дизельного палива, оливи гідросистеми та гідроприводу). Для запобігання шкідливої дії вказаних небезпек механізатору необхідно щогодини робити технологічні перерви на 5–10 хв., вимкнувши при цьому двигун та покинувши кабіну енергетичного засобу

## 5.2 Оцінка рівня безпеки виникнення аварій і травм

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, робочих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварій, травм або катастроф залежно від досліджуваного явища.

Для того щоб оцінку рівня небезпек певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-кого випадкового явища. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварії або травмонезбезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головними.

Після вибору головної події розпочинають побудову моделі. Використовуючи оператори „і” та „або”, виконують набір ситуації, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна.

Після визначення відповідних аварійних, травмонезбезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із використанням операторів „і”, „або”. Про-

цес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі [4].

Повністю побудована модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначають за даними виробництва. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність становить 1, якщо контроль ідеальний, відповідна ймовірність дорівнює 0.

1. Нехай дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора „і” входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події  $P_3$  можна визначити за формулою

$$P_3 = P_1 \cdot P_2.$$

2. За допомогою оператора „і” три події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$  формують четверту подію  $P_4$ , яку обчислюють

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

3. Оператор „і” об’єднує  $n$  подій з ймовірностями  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ . Тоді ймовірність вихідної події  $P$  буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n.$$

4. Дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора „або” входять до третьої події. Тоді ймовірність  $P_3$  буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2.$$

5. Оператор „або” об’єднує три базові події з ймовірностями  $P_1, P_2$  і  $P_3$ , які за допомогою цього оператора входять у наступну подію з ймовірністю  $P_4$ . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

б. Якщо в оператора „або” входять чотири і більше випадкових базових подій з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення аж поки не залишиться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції.

Так, поступово обчислюють ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Значення ймовірності головних подій, що досліджуються, нажаль, не можна порівняти з нормативними значеннями певного ступеня ризику для певної людини – машинної системи, бо таких даних просто не існує. Але значення ймовірностей тієї чи іншої події, обчислені при дослідженні конкретної моделі, дає уяву про високу, середню і незначну небезпеку.

Для проведення обчислень ймовірності травми використаємо логіко – імітаційну модель процесу її формування (рис. 5.1):

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2.$$

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2.$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 + P_3 \cdot P_6 = 0,32.$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2.$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2.$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} + P_{10} \cdot P_{13} = 0,32.$$

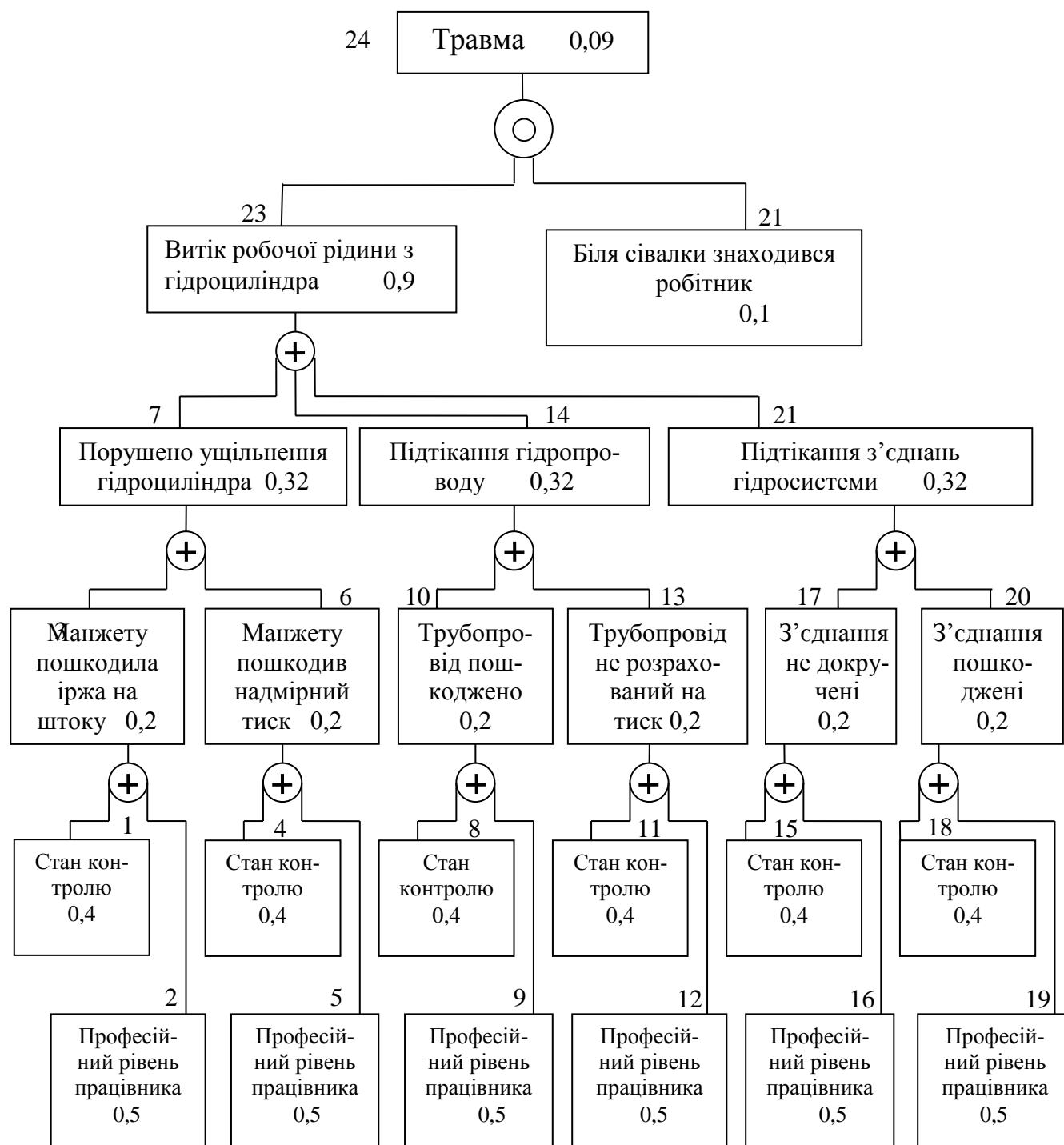
$$P_{17} = P_{15} + P_{16} - P_{15} \cdot P_{16} = 0,2.$$

$$P_{20} = P_{18} + P_{19} - P_{18} \cdot P_{19} = 0,2.$$

$$P_{21} = P_{17} + P_{20} - P_{17} \cdot P_{20} + P_{17} \cdot P_{20} = 0,32.$$

$$P_{23} = P_7 + P_{14} + P_{21} - P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{21} = 0,9.$$

$$P_{24} = P_{23} \cdot P_{22} = 0,09.$$



Оператори:



**Рисунок 5.1** Схема логіко-імітаційної моделі процесу виникнення травм при технічному обслуговуванні зернової сівалки:

**1, 2, 3** – номери подій; **0,3; 0,4** – ймовірність подій.

Таким чином, на робочому місці під час технічного обслуговування сівалки, начепленого на гідравлічну систему начіпки енергетичного засобу за наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 9,0 травм. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень робітників, поліпшити контроль та замінити пошкоджені елементи гідроприводу), то можна побачити на моделі, шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки до 1.

Слід мати на увазі, що на даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, зокрема обслуговування сівалки без вимкнення працюючого двигуна, які призведуть до травми з інших причин.

Використання логіко-імітаційних моделей для дослідження аварій і травм та обґрунтування заходів з охорони праці, дають можливість знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які враховують усі стани обладнання та самого робочого місця, а також поведінку механізатора і розрахувати ймовірність виникнення можливих травм [ 4, 6, 7, 13].

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК

Для порівняльної оцінки економічної ефективності роботи зернових сівалок вибирались модель зернової сівалки ASTRA-6 компанії ELVORTI, агрегатованої з трактором BELARUS 892 та посівний комплекс Horsch Pronto 6 DC, агрегатований з енергетичним засобом John Deere 7310 R [23, 24].

Основним критерієм економічної ефективності від покращання технічних і технологічних параметрів машини є економічний ефект. Його визначають як різницю між отриманими показниками використання запропонованого посівного агрегату та їх чинними значеннями на даний момент для базової моделі [17, 18].

Дослідження економічної ефективності використання зернових сівалок ASTRA-6 компанії ELVORTI та Horsch Pronto 6 DC проводимо на основі методики розрахунку ефективності спеціалізованої сільськогосподарської техніки.

Прямі питомі експлуатаційні затрати визначаються за формулою

$$I = Z_n + A + R + П + Z_{зб}, \quad (6.1)$$

де  $Z_n$  – сума заробітної плати механізаторів і допоміжних працівників, грн./га;

$A$  – амортизаційні відрахування, грн./га;

$R$  – відрахування на ремонт і технічне обслуговування, грн./га;

$П$  – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн./га;

$Z_{зб}$  – відрахування на зберігання, грн./га.

Відрахування на зарплату визначаються з виразу

$$Z_n = \Sigma (n_i \tau_i k_i) / W_{зм}, \quad (6.2)$$

де  $n_i$  – чисельність  $i$ -го виробничого персоналу, чол.;

$\tau_i$  – годинна тарифна ставка працівників, грн./год;

$k_i$  – коефіцієнт, що враховує всі види доплат і нарахувань;



$W_{зм}$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Амортизаційні відрахування всіх складових агрегату визначаються з виразу:

$$A = \Sigma (B_i a_i / (W_{зм} T_{ф.р.i})), \quad (6.3)$$

де  $B_i$  – балансова вартість  $i$ -ої складової агрегату та допоміжного обладнання, грн.;

$a_i$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію;

$T_{ф.р.i}$  – тривалість фактичного річного використання складових МТА, год.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою

$$R = \Sigma (B_i (p_i + \kappa_i) / (W_{зм} T_{н.р.i})), \quad (6.4)$$

де  $p_i$  – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування  $i$ -ої складової агрегату;

$\kappa_i$  – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт трактора або складних самохідних машин;

$T_{н.р.i}$  – нормативне річне завантаження  $i$ -ої складової агрегату, год.

Вартість паливно-мастильних матеріалів визначається з виразу

$$П = GЦ / W_{зм}, \quad (6.5)$$

де  $G$  – витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/год;

$Ц$  – комплексна вартість нафтопродуктів, грн./кг.

Витрати на зберігання машин визначаються виходячи із затрат на їх консервацію та підготовку до використання й приймаються в межах 6,5 % від витрат на ремонти і технічне обслуговування, тобто

$$З_{зб} = 0,065 R. \quad (6.6)$$

Капітальні вкладення на одиницю напрацювання становлять:

$$K = \Sigma (B_i / (W_{зм} T_{н.р.i})). \quad (6.7)$$

Затрати праці на виконання виробничого процесу

$$Z_{зб} = P_o / W_{зм}, \quad (6.8)$$

де  $P_o$  – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.

Зведені затрати знаходяться за формулою:

$$Z = I + E \Sigma (B_i / (W_{зм} T_{н.р.і})), \quad (6.9)$$

де  $E$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини  $E_m$  визначається за формулою:

$$E_m = (Z_{б} - Z_n) B_p, \quad (6.10)$$

де  $Z_{б}$ ,  $Z_n$  – зведені затрати на одиницю напрацювань для базової та модернізованої машини, грн./га.;

$B_p$  – річне напрацювання модернізованої машини, га.

Річну економію (перевитрату) прямих і зведених затрат, робочої сили та капіталовкладень виражають через ступінь зміни  $C$  у відсотках:

$$C = 100(Z_{рб} - Z_{рн})/Z_{рб}, \quad (6.11)$$

де  $Z_{рб}$ ,  $Z_{рн}$  – річні затрати (праці, капітальних вкладень, прямих та зведених витрат) відповідно для базової та модернізованої машин.

Вихідні дані для проведення досліджень економічних показників вибирались на основі найсприятливіших умов використання сівалок, на підставі яких була визначена його продуктивність. Посівний агрегат обслуговували по одному допоміжному працівнику.

Ціна техніки вибиралась на основі рекламної інформації заводів-виготовлювачів станом на 1.09.2023 р.; годинні тарифні ставки обслуговуючого персоналу визначались з умови отримання середньої заробітної плати в межах 16500 грн.

Таблиця 6.1 – Економічна ефективність використання сівалок

Показники	John Deere 7310R+ Horsch Pronto 6DC	BELARUS- 892+ ASTRA-6
1	2	3
Річне напрацювання, га	444,34	118,63
Прямі затрати, грн./га на:		
- оплату праці	21,18	36,24
- паливно-мастильні матеріали	347,70	266,14
- ТО, поточний і капітальний ремонт	309,78	128,33
- реновацію	197,62	89,09
- інші прямі затрати	20,14	9,57
- всього прямих затрат	896,42	529,37
Капітальні вкладення, грн.	1580,99	693,51
Зведені затрати, грн.	1133,57	628,37
Річний економічний ефект від експлуатації модернізованої машини, грн.	-	52168,30
Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби модернізованої машини, грн.	-	204385,34
Затрати праці, люд. год/га	0,52	0,93
Річна економія праці, люд. год	-	-13,69
Зменшення (%):		
- затрат праці	-	-65,5
- прямих затрат	-	40,8
- зведених затрат	-	41,6
- капітальних вкладень	-	53,0
Термін окупності, років	-	3,6

Отримані результати експериментальних досліджень і проведених за формулами (6.1)–(6.11) розрахунків (див. таблицю 6.1) свідчать про доцільність використання сівалки ASTRA-6, агрегатованої з трактором BELARUS-

892 в порівнянні з МТА в складі трактора John Deere 7310R та сівалки Horsch Pronto 6DC, оскільки річний економічний ефект в цьому випадку становитиме 52168,30, а у випадку використання його за весь термін експлуатації – 204385,34 грн.

Завдяки збільшенню змінної продуктивності зменшуються на одиницю напрацювання: прямих затрат – на 40,8%; зведених затрат – на 41,6%; капітальних вкладень – на 53,0%, а термін їх окупності становить 3,6 року. При цьому затрати праці зростають на 32,3%.

### Висновки

1. Проведені розрахунки підтверджують ефективність використання сівалки ASTRA-6, агрегатованої з трактором BELARUS-892 в порівнянні з МТА в складі трактора John Deere 7310R та сівалки Horsch Pronto 6DC.

2. Виконані розрахунки показують те, що річний економічний ефект від використання посівного агрегату BELARUS-892 + ASTRA-6 становить 52168,30, а у випадку використання його за весь термін експлуатації – 204385,34 грн.

3. Використання посівного комплексу у складі трактора BELARUS-892 та сівалки ASTRA-6 дозволить зменшити на одиницю напрацювання прямих затрат – на 40,8%; зведених затрат – на 41,6%; капітальних вкладень – на 53,0%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Зернові культури сіють переважно рядковим способом, за якого ширина міжряддя становить 15 см (широкорядна сівба) та 7,5 см (вузькорядна сівба).
2. Серед відомих конструкцій висівних апаратів на вітчизняних зернових сівалках застосовують переважно реберчасті або гвинтові катушкові висівні апарати з механічним або пневматичним дозуванням.
3. На сівалках моделей ST M1 Pronto SW компанії Horsch застосовують катушкові висівні апарати, якими можна сіяти різноманітні сільськогосподарські культури, що мають доволі дрібне насіння – льон, ріпак, олійну редьку тощо та крупнонасіненний матеріал – зерно-бобові та кукурудзу.
4. Теоретичними дослідженнями підтверджено закономірність висіву насіння з бункера, яка не залежить від висоти його шару над отвором (горловиною), а зменшується у випадку прогинання зовнішніми силами еластичного розвантажувального склепіння.
5. Аналітичними дослідженнями отримано рівність (2.16), яка дозволяє визначити основні конструктивні та кінематичні параметри й режими роботи катушкового висівного апарату й сівалки в цілому:
6. Аналітичними дослідженнями отримано умову (2.22) для визначення кутової швидкості катушки висівного апарату, яка враховує конструктивні параметри катушки та технологічні параметри сівалки.
7. Експериментами встановлено, що незалежно від досліджуваної с.-г. культури (пшениці озимої та вівса) спостерігається однакова закономірність між заданими і теоретичними нормами висіву насіння катушковими апаратами гвинтового та реберчастого типів в процесі сівби насіння окремих фракцій, що різняться вагою 1000 зерен.
8. Експериментальними дослідженнями встановлено, що висівний апарат у вигляді гвинтової катушки в цілому забезпечує теоретично розраховану норму висіву як вівса, так і пшениці озимої, але з певними відхиленнями –

фракція III крупнішого насіння за вагою 1000 насінин висівається менше теоретичної норми, а фракції I дрібного та фракції II середнього насіння, навпаки, вище норми.

9. Експериментами встановлено, що в цілому реберчасті котушки забезпечують задану норму висіву не залежно від ваги 1000 насінин. Проте вони висівають збільшені норми в порівнянні з теоретично розрахованими, причому насіння найменшої за розмірами фракції (I) висівається більше ніж середньої (II) та крупної (III).
10. На робочому місці під час технічного обслуговування посівному агрегату за наявності проаналізованих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 місць, можна очікувати 9,0 травм.
11. Проведені розрахунки підтверджують ефективність використання сівалки ASTRA-6, агрегатованої з трактором BELARUS-892 в порівнянні з МТА в складі трактора John Deere 7310R та сівалки Horsch Pronto 6DC.
12. Виконані розрахунки показують те, що річний економічний ефект від використання посівного агрегату BELARUS-892 + ASTRA-6 становить 52168,30, а у випадку використання його за весь термін експлуатації – 204385,34 грн.
13. Використання посівного комплексу у складі трактора BELARUS-892 та сівалки ASTRA-6 дозволить зменшити на одиницю напрацювання прямих затрат – на 40,8%; зведених затрат – на 41,6%; капітальних вкладень – на 53,0%.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
2. Войтюк Д.Г., В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
3. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. Київ. Вища освіта, 2004. 544 с.
4. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум з охорони праці: навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 352 с.
5. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин (у трьох томах). Харків: ОКО, 2001 (4).
6. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та ін. Основи охорони праці. Київ. Основа, 2000. 416 с.
7. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ. Урожай, 1993. 268 с.
8. Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д. Технологія виробництва продукції рослинництва : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, Ч.1. 2010. 282 с.
9. Озима пшениця: завчасно готуємо насіння до сівби URL: <https://agronomy.com.ua/statti/ozymi-kultury/610-ozyma-pshenytsia-zavchasno-hotuiemo-nasinnia-do-sivby.html>.
10. Павловський В.М., Нагірний Ю.П., Мельник І.І. Проектування технологічних систем рослинництва. Навчальний посібник. Тернопіль. «Збруч», 2003. 256с.
11. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. -2-ге вид., стереотип. Київ. Техніка, 2004. 512 с: іл.
12. Петриченко В., Лихочвор В.В. Рослинництво. Львів; НВФ Українські технології» 2014. С. 326.

13. Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П. Охорона праці (гігієна та виробнича санітарія). Львів: Тріада плюс, 2015. 224 с.
14. Рибарук В.Я., Ріпка І.І. Сільськогосподарські машини: Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: ЛДАУ. 1998. 264 с.
15. Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т1. Київ. Агроосвіта, 2012. 584 с.; іл.
16. Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т2. Київ. Агроосвіта, 2012. 432 с.; іл.
17. Сидорчук О.В. Інженерний менеджмент в АПК. Львів: Львів. держ. агр. ун-т, 2005. - 87с.
18. Сосновська О.О., Ярошенко П.П., Іванюта М.В. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень у рослинництві. Навчальний посібник. Київ. Центр навчальної літератури. 2006. 384 с.
19. Сівалка ASTRA-6 URL: <https://elvorti.com/catalog/seyalka/astra-5-4-standart.html>.
20. Сівалка PRONTO DC URL: <https://www.horsch.com/ua/produkty/posivna-tekhnika/diskovi-posivni-kompleksi/pronto-dc>.
21. Сівалки зернові модернізовані URL: <https://harvest.ua/product/sivalky-zernovi/sivalky-zernovi-new/atlant-360/>
22. Сівалка Amazone D9 4000 Super URL: <https://as.pl.ua/amazone-d9>.
23. Трактор John Deere 7310R URL: <https://www.deere.com/en/tractors>.
24. Трактор BELARUS-892. URL: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/belarus-80-1/belarus-892-2/>.
25. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. Київ: НМК ВО, 1992. 320с.
26. Царенко О.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. посібник. К.: Аграрна освіта, 2000.