

**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 РОБОЧИХ ОРГАНІВ ШИ-  
РОКОЗАХВАТНОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО КУЛЬТИВАТОРА  
POLARIS 10 PREMIUM КОМПАНІЇ ELVORTI”**

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

Кузів Михайло Романович  
(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

завдання

Дослідження параметрів робочих органів широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI. Кузів Михайло Романович. – Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича. –Дубляни, Львівський НУП, 2024.

57 с. текст. част., 17 рис., 3 табл., 32 джерела.

Проаналізовано сучасний стан способів та засобів для обробітку ґрунту. Обґрунтовано необхідність досліджень робочих органів культиватора, обладнаного стрілочастими лапами на пружній стійці для його використання в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Підтверджена гіпотеза щодо роботоздатності парового культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI стрілочасті лапи якого закріплені на рамі через пружну стійку. Отримано аналітичні залежності для розрахунку основних конструктивно-технологічних параметрів парового культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.

Наведено методики та результати експериментальних досліджень з визначення твердості ґрунту та опору опору стрілочасті лапи парового культиватора.

Розроблена карта умов праці для поверхневого обробітку ґрунту та логіко-імітаційну модель процесу виникнення травм під час технічного обслуговування культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.

Розраховано основні техніко-економічні показники роботи культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI, обладнаного стрілочастими лапами на пружній стійці.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	8
1.1 Умови проведення обробітку ґрунту під окремі сільськогосподарські культури.....	8
1.2 Аналіз конструкції культиватора POLARIS 10.....	10
1.3 Характеристика конструктивних елементів культиватора.....	11
1.4 Характеристика робочих органів культиватора.....	15
Висновки.....	17
<b>2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЗАКРІПЛЕНОЇ СТІЛЧАСТОЇ ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА POLARIS 10</b> .....	18
2.1 Взаємодія пружнозакріпленої лапи культиватора з ґрунтом.....	18
2.2 Дослідження взаємодії лапи з рослиною.....	22
2.3 Аналітичне дослідження пружного елемента стійки лапи культиватора.....	25
Висновки.....	28
<b>3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	29
3.1. Мета і програма експериментальних досліджень.....	29
3.2 Методика визначення твердості ґрунту.....	29
3.3 Методика визначення опору стрілкової пружно закріпленої лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM.....	32
<b>4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	36
4.1 Опір робочої стрілкової лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM .....	36
Висновки.....	40
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	41
5.1 Складання карти умов праці під час використання	

широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.....	41
5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	44
<b>6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОЗАХВАТНОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО КУЛЬТИВАТОРА POLARIS 10 PREMIUM КОМПАНІЇ ELVORTI.....</b>	<b>49</b>
Висновки.....	52
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>53</b>
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>55</b>

## ВСТУП

В аграрному виробництві чітко намітилися тенденції до переходу диференційованого механізованого обробітку ґрунту, акцентуючи увагу на його ролі та місці в загальній системі загальногосподарських сівозмін. При цьому загальна мета, яка ставиться першочергово – це заощадження матеріально-технічних, енергетичних та трудових ресурсів, зменшення негативного впливу усіх засобів механізації на довкілля, збереження родючості та відтворення ґрунтового середовища [2, 3, 4, 25].

Саме тому сучасна сільськогосподарська ґрунтообробна техніка повинна бути якомога повніше адаптована до підвищених вимог гнучкої диференціації різноглибинних технологій механізованого обробітку під різні, в тому числі зернові, культури. Особлива роль повинна бути відведена не тільки багатофункціональним високопродуктивним комбінованим агрегатам і комплексам, але й окремим сільськогосподарським машинам (знаряддям), які відповідатимуть усім агротехнічним вимогам щодо ефективності, точності та якості технологічного застосування.

Основні вимоги, які ставляться до суцільного (передпосівного) обробітку ґрунту – повне звільнення поля від бур'янів, якісне розпушення ґрунту на оптимальній для сівби глибині, вирівнювання поверхні поля й утворення насінневого ложе для укладання на нього насіння під час сівби.

**Актуальність теми.** Під час поверхневого обробітку ґрунту робочі органи парових культиваторів повинні повністю підрізувати бур'яни, не пересушувати верхній шар ґрунту, виносячи його вологий шар на поверхню поля, утворювати дрібногрудкувату структуру поверхневого шару та ущільнене насінневе ложе на глибину сівби насіння, забезпечувати задану глибину обробітку з мінімальними енергетичними затратами.

Культиватори POLARIS 10 PREMIUM та їх модифікації компанії ELVORTI обладнуються стрілчастими лапами з пружно-закріпленою стійкою. Для обґрунтування ефективності її роботи на різних за твердістю ґрунтах доцільно провести аналітичні та експериментальні дослідження.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності процесу поверхневого обробітку ґрунту через дослідження та обґрунтування конструктивних параметрів стрілочастих лап на пружній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.

**Задачі досліджень:**

- провести аналіз існуючих способів та засобів для механізованого поверхневого обробітку ґрунту;
- аналітично дослідити взаємодію пружно закріпленої лапи культиватора з ґрунтом;
- провести експериментальні дослідження стрілочастих лап на пружній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI;
- розробити карту умов праці під час поверхневого обробітку ґрунту культиватором POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI;
- виконати техніко-економічну оцінку застосування культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.

**Об’єкт дослідження** – стрілочасті лапи на пружній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI та технологічний процес поверхневого обробітку ґрунту.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни показників ефективності поверхневого обробітку ґрунту від параметрів стрілочастих лап на пружній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 2 статті у матеріалах і тезах наукових конференцій.

## 1 АНАЛІЗ ОБЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Умови проведення обробітку ґрунту під окремі сільськогосподарські культури

Сучасні технології та засоби механізації обробітку ґрунту в Україні останнім часом розвиваються у напрямку диференційованого механізованого обробітку ґрунту, який залежить від багатьох чинників. Особливу увагу слід звернути на те, що цей обробіток має мати чітко визначене місце у системі загальногосподарських сівозмін, а це дозволить заощадити матеріально-грошові та енергетичні та трудові ресурси, зменшити негативний вплив засобів механізації на навколишнє середовище та зберегти і відтворити ґрунт.

Сучасне аграрне виробництво з ставить нові вимоги до культури землеробства – поряд із обмеженням кількості технологічних операцій потрібно підвищувати вимоги до якості й термінів їх проведення, акцентуючи увагу на збереженні родючості ґрунтового середовища [2, 3, 4, 25].

Тому сільськогосподарська ґрунтообробна техніка має бути адаптована до вимог гнучкої диференціації різноглибинних технологій механізованого обробітку під різні культури. Надзвичайно важливу роль повинні відігравати не тільки багатофункціональні високопродуктивні комплекси, але й окремі агрегати та сільськогосподарські машини, які відповідатимуть агротехнічним вимогам щодо точності та якості технологічного застосування.

Основною передумовою запровадження диференціації технологічних процесів та засобів механізації є морфо-біологічні особливості кожної групи вирощуваних сільськогосподарських культур та широкий загальний умов виконання поверхневого обробітку ґрунту, які можна поділити на ґрунтово-кліматичні, агротехнічні й технічні (рисунок 1.1) [4].

Знаючи умови вирощування цих культур і вимоги щодо обробітку ґрунту стає очевидним, що це є вагомим впливовим чинником на вибір сучасних ґрунтообробних машин та їх робочих органів.





**Рисунок 1.1 Структурна схема умов виконання обробітку ґрунту**

Основою для оптимізації механічного та біологічного стану ґрунтового середовища є вимоги культурних рослин до умов проростання насіння, розвитку й формування їх кореневої системи, що відображено в таблиці 1.1 [ 4].

Таким чином, існуючі моделі ґрунтових середовищ стають першоосновою під час вибору способів та засобів для механізованого (основного та передпосівного) обробітків ґрунту, що забезпечують оптимальний водно-повітряний режим, який відповідає умовам найефективнішого використання природного потенціалу кожної групи сільськогосподарських культур щодо схожості, ефективного використання поживних речовин й істотного підвищення урожайності культурних рослин.

Таблиця 1.1– Основні вимоги окремих сільськогосподарських культур до ґрунтового середовища

Показник	Сільськогосподарська культура					
	Пшениця	Ячмінь	Кукурудза	Цукрові буряки	Соняшник	Картопля
Мінімальна потужність родючого шару ґрунту, см	22	20	30	35	35	25
Глибина обробітки ґрунту, см	20...22	18...20	25...30	28...35	25...32	24...25
Глибина висіву насіння, см	3...8	4...8	4...10	3...5	4...8	6...12
Щільність шарів ґрунту, г/см <sup>3</sup> :						
наднасіневого	1,19	1,19	1,15	1,00	1,08	0,90
насіневого	1,19...1,27	1,19...1,27	1,15...1,25	1,14...1,25	1,08...1,23	0,90
піднасіневого	1,19...1,27	1,19...1,27	1,15...1,25	1,14...1,25	1,08...1,23	1,10...1,20
Розмір, мм, та вміст, %, частинок ґрунту в шарах:						
наднасіневному	5,0...20,0	5,0...20,0	5,0...25,0	5,0...25,0	5,0...25,0	5,0...25,0
	> 75	> 75	> 80	> 75	> 75	> 80
насіневному	0,3...5,0	0,3...5,0	0,3...5,0	0,3...5,0	0,3...5,0	5,0...25,0
	> 80	> 80	> 90	> 90	> 80	> 80
піднасіневному	5,0...25,0	5,0...25,0	5,0...25,0	5,0...25,0	5,0...25,0	5,0...25,0
	> 75	> 75	> 75	> 75	> 75	> 75

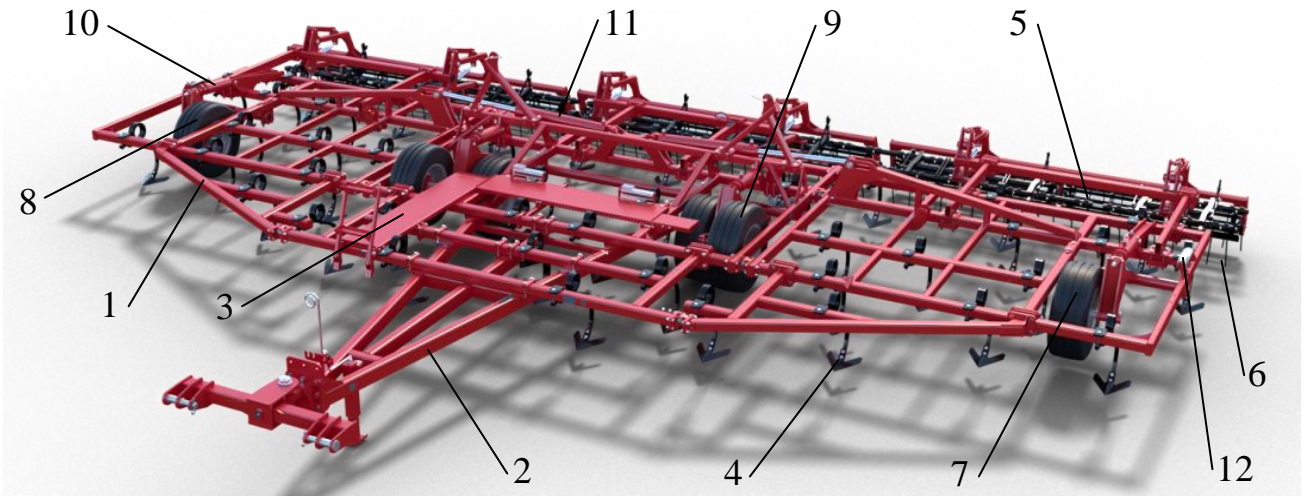
Як видно з таблиці 1.1 для зернових культур система обробітки ґрунту охоплює оранку на глибину до 0,22 м та поверхневий передпосівний обробіток на глибину 3-8 см задля створення ґрунтового середовища з розміром часточок ґрунту від 5 до 25 мм у межах 75-80%.

## 1.2 Аналіз конструкції культиватора POLARIS 10

Широкозахватний універсальний напівпричіпний гідрофікований культиватор POLARIS 10 і його модифікація POLARIS 10-01 призначені для ресурсозберігаючого передпосівного і парового обробіток ґрунту під зернові, зернобобові, технічні та кормові сільськогосподарські культури, підрізання й просапування бур'янів, вирівнювання та ущільнення поверхні ґрунту безпосередньо під посів. Культиватор може агрегатуватися з енергетичними засобами класу 1,4 або вище. Їх можна комплектувати у широкозахватні агрегати за допомогою зчіпки й агрегатувати тракторами класу 3,0 [15].

Культиватор POLARIS 10 має раму 1 (рисунок 1.2) з центральною і боковими секціями, укомплектованими пружинними лапами 4 і які опираються на колеса 7, 8 та 9. Культиватор в задній частині обладнаний ущільнювальними котками 5 та секціями пружинних борін 6. Бокові секції переводяться у

робоче і транспортне положення за допомогою гідроциліндрів 10 та 11, величина переміщення яких регулюється обмежувачами 12 [15].



**Рисунок 1.2** Культиватор широкозахватний універсальний POLARIS 10:

1 – рама з секціями; 2 – сниця з транспортним пристроєм; 3 - дошка підніжна; 4 – лапа культиваторна; 5 – коток ущільнюючий; 6 - пружинна борона; 7 – колесо опорне ліве; 8 – колесо опорне праве; 9 - колеса центральні; 10, 11 – гідроциліндри; 12 - комплект обмежувачів.

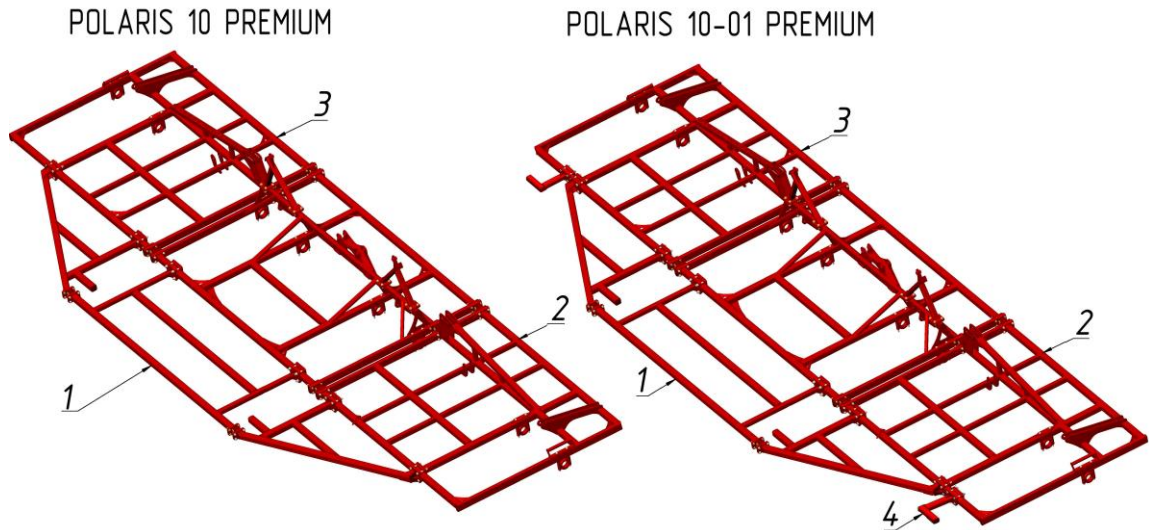
Для передпосівного обробітку ґрунту під зернові культури культиватор POLARIS 10 обладнують лапами на пружинних стійках 4, пружинними боронками 6 та планчастими ущільнювальними котками 5. Рівномірність глибини обробітку ґрунту робочими органами забезпечується регульовальними обмежувачами 12 на штоках усіх гідроциліндрів (10 і 11).

Ущільнюючі котки 5 та пружинні борони 6 забезпечують ефективне подрібнення ґрунту з суттєвим переважанням дрібних грудочок з розміром до 25 мм, вирівнюють поверхню обробленого поля, оптимальну щільність верхнього шару ґрунту на глибину обробітку (глибину залягання насіння).

### 1.3 Характеристика конструктивних елементів культиватора

Рама культиватора POLARIS 10 – це зварна конструкція, яка містить центральну раму 1 (рисунок 1.3), ліву 2 та праву 3 секції, які кріпляться шарнірно і можуть перебувати у робочому й транспортному положеннях. На рамі монтується опорні колеса, пружинні лапи, розміщені у декілька рядів в ша-

хматному порядку для забезпечення суцільного обробітку, борінки для вирівнювання поверхні ґрунту, ущільнювальні котки та підніжна дошка. До передньої частини центральної секції 1 приєднується транспортний пристрій.

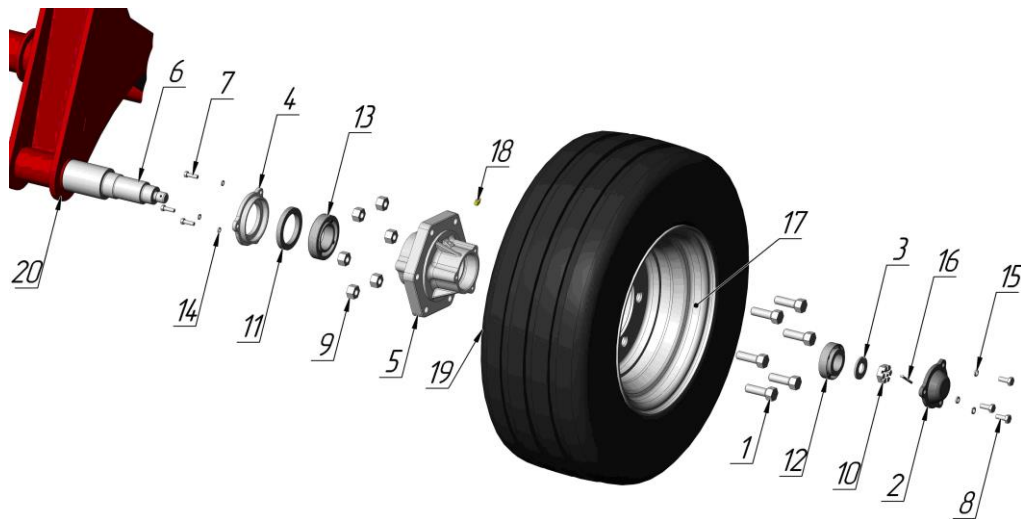


**Рисунок 1.3** Рами культиватора POLARIS 10 та його модифікацій:  
1 – рама центральна; 2 – ліва секція; 3 – права секція; 4 - кронштейн

У модифікації культиватора POLARIS 10-01 PREMIUM передбачено спеціальні кронштейни 4 для покращення стійкості культиватора під час його транспортування у складеному положенні.

Транспортні колеса культиватора POLARIS 10 призначені для транспортування культиватора під час далеких переїздів та утримання заданої глибини обробітку ґрунту безпосередньо під час роботи в загінці. Вони складаються з балки 20 (рисунок 1.4) й колеса, встановленого на осі 6 [15].

Саме колесо є збірним вузлом та складається з шини 19 й обода 17. Воно закріплене на маточині 5 й вільно обертається на однорядних конічних роликівих підшипниках 12 та 13. Під час монтування підшипники зовнішніми кільцями скеровуються у маточину, а внутрішніми – монтуються на вісі 6. Шайба 3 та корончаста гайка 10 служать для регулювання люфту в колесі під час його монтування й забезпечують надійність кріплення колеса на вісі 6. Для запобігання самовільного відкручування гайки 10, вона фіксується шплінтом 16.



**Рисунок 1.4 Транспортний вузол:**

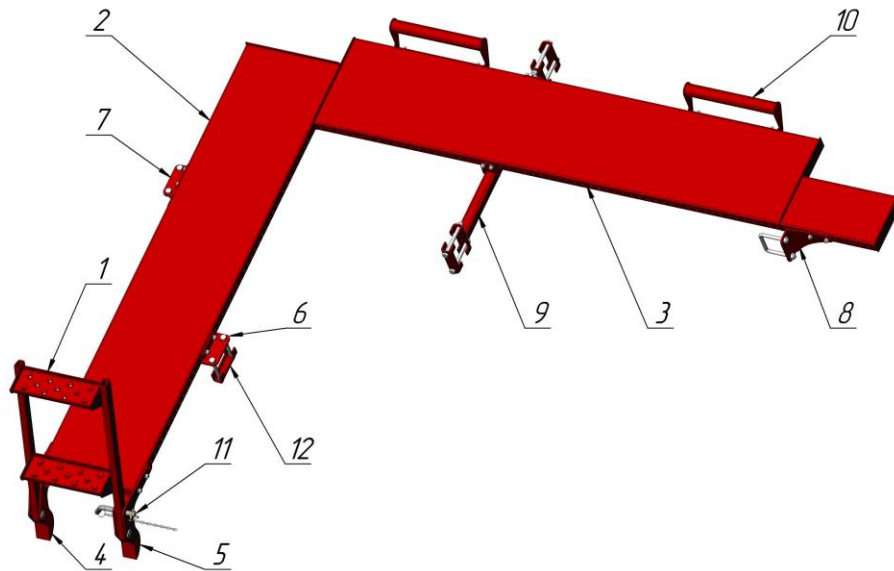
1, 7, 8 – болти; 2, 4 – кришки; 3, 14, 15 – шайби; 5 – маточина колеса; 6 – вісь; 9, 10 – гайки; 11 – манжета; 12, 13 – підшипники; 16 – шплінт; 17 – обод; 18 – мазничка з жовтим ковпачком; 19 – шина; 20 – балка.

Підшипниковий вузол від різного роду забруднень (пилуки, болота, рослинності) закритий ущільнювальною манжетою 11 й закривається кришкою 4 з одного боку і кришкою 2, закріпленою болтами 8 до стакана 5 – з іншого боку.

Підніжна дошка монтується на центральній рамі культиватора і забезпечує безперебійний доступ оператора до окремих важкодоступних місць, вузлів, робочих органів під час його технічного обслуговування або усунення несправностей чи регулювань.

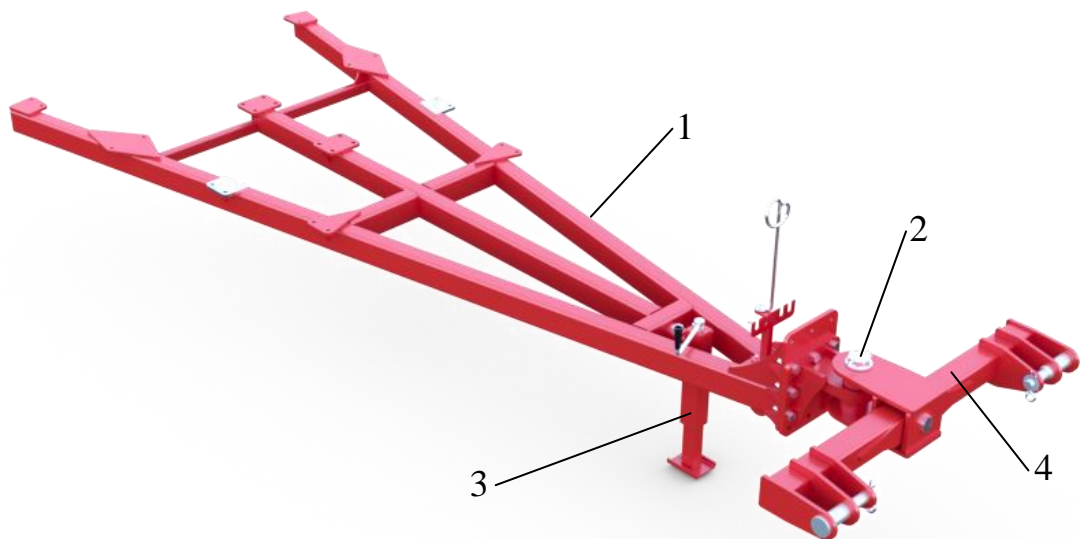
Підніжна дошка складається з двох окремих підніжних дощок 2 (рисунок 1.5) і 6, з'єднаних між собою за допомогою зварного шва під кутом 90 град. На дошках у відповідному місці приварено спеціальні кронштейни та ручку 10, а до бічної частини підніжної дошки, в передній частині культиватора, кріпиться сходи́нка 1, яка фіксується у відповідному положенні за допомогою фіксатора 11 [15].

Транспортний пристрій (рисунок 1.6) призначений для агрегування культиватора з енергетичним засобом. Він виготовлений у вигляді зварної конструкції (сниці 1), яка через палець 2 шарнірного з'єднується з планкою-зчіпом 4, призначеною для приєднання культиватора POLARIS 10 до енергетичного засобу з триточковим начіпним пристроєм.



**Рисунок 1.5 Підніжна дошка:**

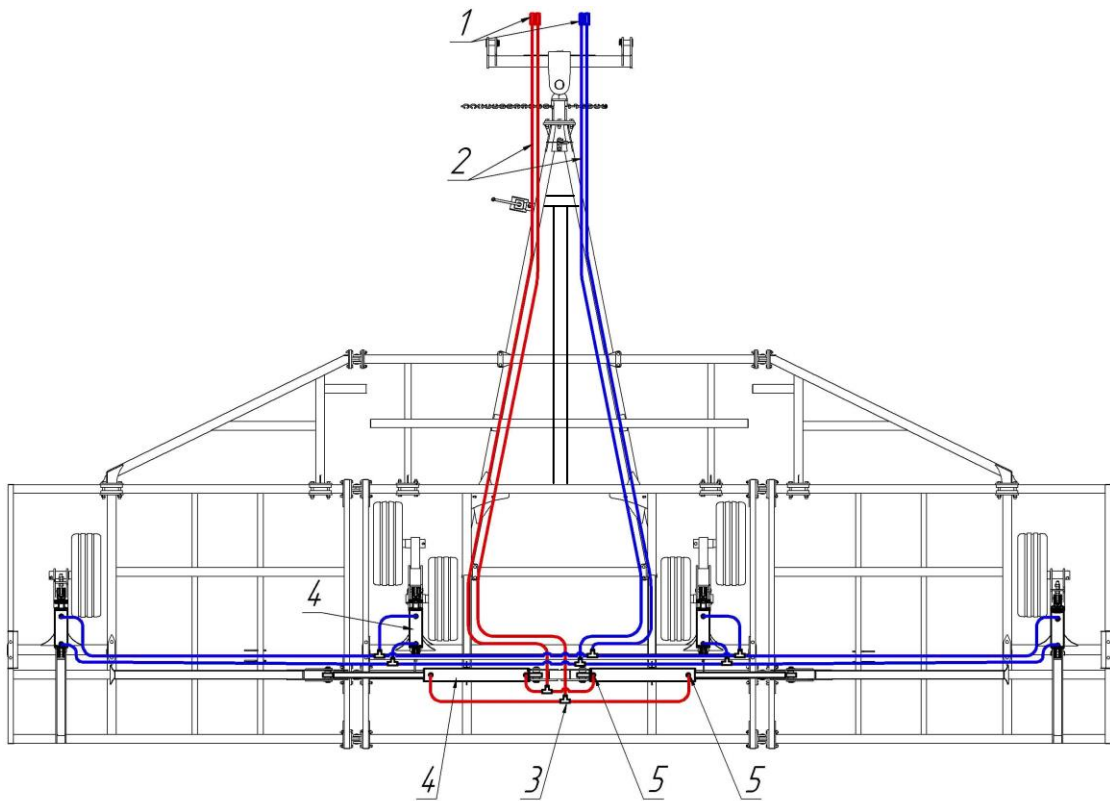
1 – драбинка; 2, 3 – підніжні дошки; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 – кронштейни;  
10 – ручка; 11 – фіксатор.



**Рисунок 1.6 Транспортний пристрій:**

1 – сниця; 2 – палець; 3 - домкрат; 4 – планка-зчіпка.

Гідравлічна система культиватора POLARIS 10 призначена для його переведення з робочого положення в транспортне і навпаки. Вона складається з ніпелів 1 (рисунок 1.7) у вигляді швидко знімних муфт, які з'єднують гідравлічну систему енергетичного засобу з гідросистемою культиватора, рукавів (шлангів) високого тиску 2, приєднаних через фітінги до виносних гідроциліндрів 4.



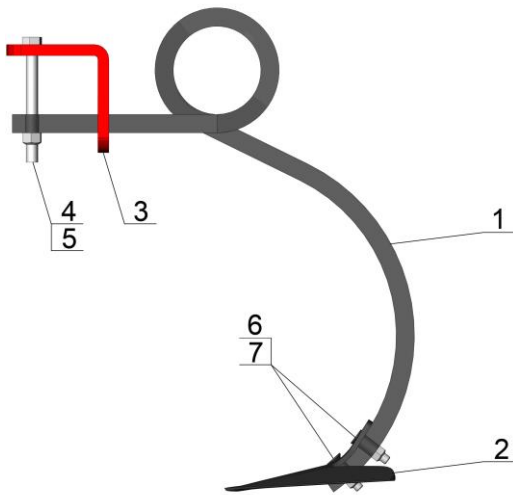
**Рисунок 1.7** Схема гідравлічної системи культиватора  
**POLARIS 10 PREMIUM:**

1 – швидкознімні півмуфти; 2 – рукав високого тиску; 3 - трійник; 4 - гідроциліндр;  
5 - перехідник металевий.

#### 1.4 Характеристика робочих органів культиватора

Основним робочим органом культиватора є стрілочаста лапа 2 (рисунок 1.8) з пружно-закріпленою стійкою 1. За допомогою кронштейна 3 лапа кріпиться до рами культиватора. Вона призначена для повного підрізання бур'янів, розпушення верхнього шару ґрунту на глибину загортання насіння (але не нижче 12 см) й утворення посівного ложе для нього під час проведення передпосівної культивації [15].

Культиваторна лапа завдяки своїм пружним властивостям і постійній вібрації під час переміщення в ґрунті забезпечує ефективний його обробіток практично без забивання ґрунтом і рослинними рештками. При цьому значно зменшуються енергетичні витрати на одиницю роботи агрегату. Під час набігання на невелику перешкоду лапа може самовільно виглиблюватися з ґрунту завдяки пружності стійки, а після подолання її – повертатися назад.

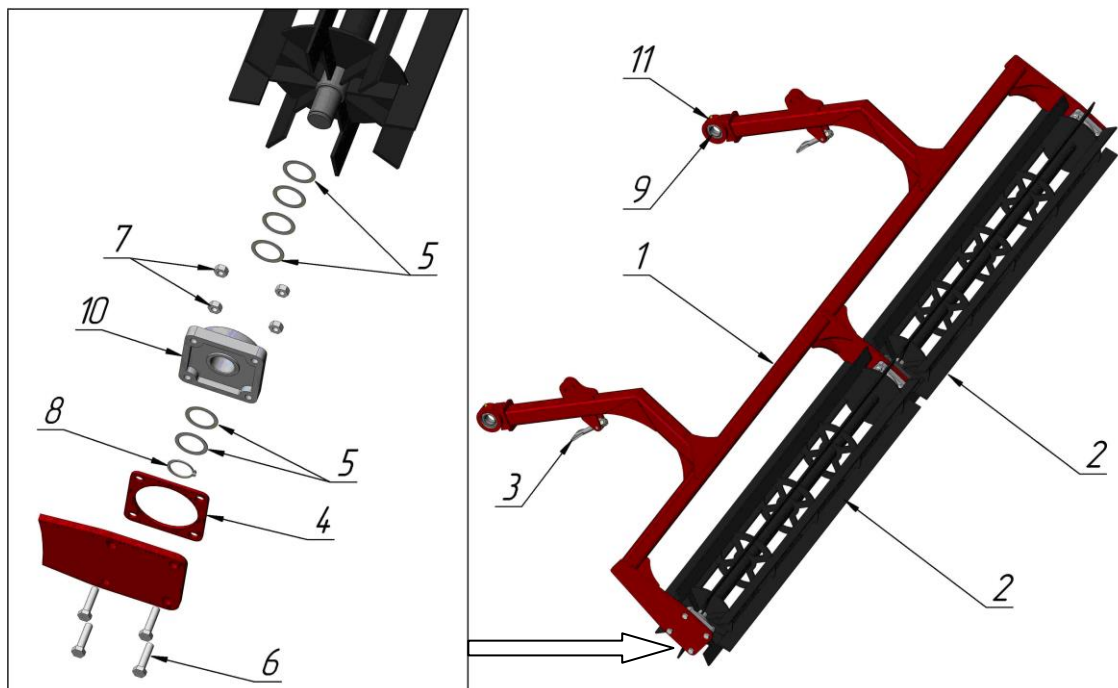


**Рисунок 1.8** Культиваторна лапа зі стійкою:

1 – пружна стійка; 2 – стрілочаста лапа; 3 – кронштейн кріплення стійки до рами; 4 – болт для кріплення стійки лапи до рами; 5 – гайка для кріплення стійки лапи до рами; 6 і 7 – болт та гайка кріплення лапи до стійки.

Котки ущільнюючі призначені для остаточного подрібнення великих і малих грудочок ґрунту, вирівнювання поверхні поля з ущільнення його верхнього шару. Вони монтуються до рами культиватора в його задній частині. Завдяки радіальній підвісці з підшипниками 9 (рисунок 1.9) котки досить ефективно копіюють усі нерівності поверхні поля.

Коток ущільнюючий складається з рами 1 котка та двох секцій 2 котків, з'єднаних між собою підшипниковими вузлами 10.

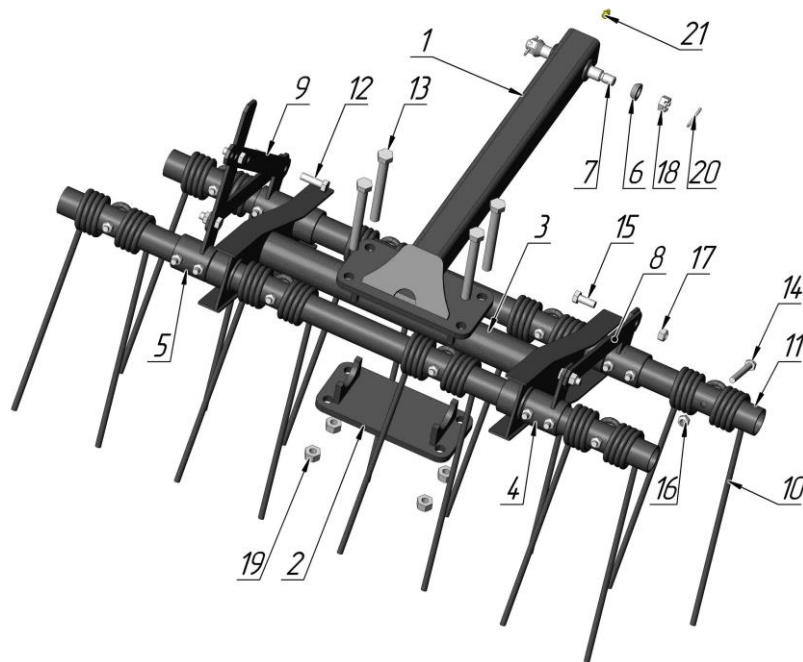


**Рисунок 1.9** Коток ущільнюючий:

1 – рама котка; 2 – секція котка; 3 - гвинт; 4 - прокладка; 5 – шайба; 6 – болт; 7 – гайка; 8 – кільце; 9 – підшипник; 10 – підшипниковий вузол; 11 - мазничка з жовтим ковпачком.



Пружинні борони (рисунок 1.10) кріпляться в задній частині рами культиватора одразу за стрілочастими лапами й технологічно передують ущільнювальним коткам.



**Рисунок 1.10 Пружинна борона:**

1 – тяга; 2 – скоба; 3 – кронштейн; 4 – кронштейн правий; 5 – кронштейн лівий; 6 – втулка; 7 – вісь; 8, 9 – тяги; 10 – зуб пружинний; 11 – труба; 12, 13, 14, 15 – болти; 16, 17, 18, 19 – гайки; 20 – шплінт; 21 – мазничка з жовтим ковпачком.

Вони призначені для обробітку ґрунту в середній його частині за глибиною, порівняно з лапами, вирівнюють ґрунт, просапують (вичісують) бур'яни, розподіляючи їх поверхнею поля. Пружинні зуби 10 забезпечують якісне подрібнення ґрунту з переважним утворенням дрібних грудок розміром до 25 мм.

## Висновки

1. На сучасному етапі розвитку техніки і технологій для обробітку ґрунту перспективним є пошаровий комбінований обробіток робочими органами у вигляді стрілочастих лап, пружинних борін та котків;

2. Для передпосівного обробітку ґрунту під зернові треба забезпечити не тільки якісне подрібнення посівного шару ґрунту, але й достатньо вирівняне посівне ложе для насіння.

3. Одним із шляхів підвищення ефективності застосування культиваторів для передпосівного обробітку ґрунту під зернові культури є обладнання їх стрілочастими лапами з пружним кріпленням стійки до рами.

## **2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЗАКРІПЛЕНОЇ СТІЛЧАСТОЇ ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА POLARIS 10**

### **2.1 Взаємодія пружнозакріпленої лапи культиватора з ґрунтом**

Для підвищення ефективності роботи культиватора під час передпосівного обробітку різних за механічним складом, вологістю і структурою ґрунтів під зернові культури його робочі органи (стрілчасті лапи) доцільно закріпити до рами на пружній стовбі. При цьому, щоб ефективно підготувати ґрунт до сівби потрібно забезпечити припосівне ложе для насіння, а також розпушити верхній шар ґрунту для проникнення в нього повітря і створення в ньому достатнього водного режиму, сприятливого для проростання рослин. Саме тому на культиваторі POLARIS 10 окрім стрілчастих лап монтують також ущільнювальні котки та борінки з пружними пальцями. Така комбінація робочих органів дозволить обробляти ґрунт пошарово, створюючи оптимальні умови для росту і розвитку рослин.

Стрілчасті лапи кріпляться через пружну стійку і вони здійснюють періодичні коливання в часі взаємодії з ґрунтом, викликані нерівномірністю його опору на різних ділянках поля. Очевидно, що пружність стійки стрілчастої лапи повинна враховувати весь спектр змін опору ґрунтового середовища для різних ґрунтово-кліматичних зон. Великого значення тут набуває енергетика процесу обробітку ґрунту і вибір трактора для агрегування культиватора. Тому для встановлення параметрів пружної стійки лапи культиватора POLARIS 10 для певних умов роботи доцільно провести теоретичні й експериментальні дослідження.

Під час вибору оптимальних конструктивно-технологічних параметрів пружної стійки культиваторної лапи потрібно враховувати безліч різноманітних факторів: питомий опір, вологість та твердість ґрунту, наявність рослинності (бур'янів) на полі, швидкість руху, глибина обробітку тощо. Тому вибрати й оптимізувати раціональні режими роботи культиватора POLARIS 10 для перед посівного обробітку пізньої зернові культури з врахуванням усіх ви-

щенаведених факторів досить складно, а тому теоретичні дослідження для пружних підвісок кріплення лапи просапних і парових культиваторів ведуться здебільшого на основі математичних моделювань коливних систем «лапа на пружній підвісці – ґрунт» або «лапа на пружній підвісці – рослина» [1, 5, 10, 29].

Слід відмітити, що такі дослідження вимагають досить великого масиву вхідних змінних параметрів й базуються переважно на методі імітаційного моделювання. На сьогоднішній висновки та рекомендації щодо адекватності вищенаведених досліджуваних моделей переважно стосуються глибин обробітку на рівні 8-15 см, за твердості ґрунтів в межах 3,0-5,5 МПа і швидкості руху агрегату до 2,5 м/с., що для культиватора POLARIS 10 і його модифікацій, які здатні працювати на більших швидкостях, не завжди є актуальним.

Під час передпосівної культивації пружно закріплена лапа у точці  $K$  (рисунок 2.1), підрізає шар ґрунту на глибину  $s$  під кутом  $\alpha$  до горизонту, сколюючи його перед лапою під кутом  $\psi$ , який теоретично визначаємо з умови [8, 29]:

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2} \quad (2.1)$$

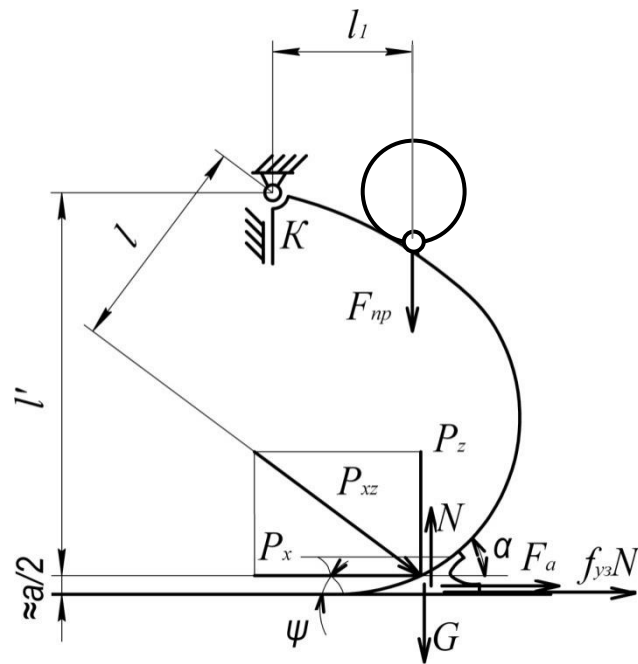
де  $\varphi$  – кут тертя металу об ґрунт, град; для матеріалу лапи  $\varphi \approx 26$  град. [8, 29],

$\varphi'$  – кут внутрішнього тертя ґрунтового середовища.

Якщо точку  $K$  вважати центром прикладання сил, то на пружну стійку діє сила, адекватна зусиллю  $P_{xz}$  від опору ґрунту. Точка прикладання цього зусилля знаходиться орієнтовно на відстані половини заданої глибини культивації  $a$  від опорної поверхні стрілкової лапи культиватора. Зусилля  $P_{xz}$  можна визначити з врахуванням зусилля  $P_x$ , за напрямком руху культиваторної лапи та зусилля  $P_z$ , що діє у вертикальній площині, скориставшись формулою

$$P_{xz} = \sqrt{P_z^2 + P_x^2}, \quad (2.2)$$

Внаслідок дії сил опору стійка лапи деформується й відхиляється назад від свого попереднього вертикального положення.



**Рисунок 2.1** Схема взаємодії пружно закріпленої лапи культиватора з ґрунтом

Оскільки реакція  $N=0$  і вона направлена вертикально вгору, то в стійці лапи виникає сила пружності  $F_{np}$ .

Під дією вертикальної складової  $P_{xz}$  виникає момент, який визначається з умови

$$M = P_{xz}l, \quad (2.3)$$

де  $l$  – плече дії сили  $P_{xz}$ .

Максимальне зусилля ( $P_{xz}$ ), що виникає під час взаємодії пружнозакріпленої лапи культиватора з ґрунтом визначаємо з умови:

$$P_{xz} = (G + P_z)f_{yz} + F_a k_a + F_\delta k_\delta + Jk_i, \quad (2.4)$$

де  $G$ ,  $J$  – відповідно сумарна сила ваги стійки й лапи культиватора та сумарна сила інерції підрізаного шару ґрунту в площині  $xz$ ;

$$J = \sqrt{J_z^2 + J_x^2}; \quad (2.5)$$

$F_a$  – сумарна сила адгезії (налипання) ґрунту в площині  $xz$ , яку можна визначити з умови

$$F_a = \sqrt{F_{az}^2 + F_{ax}^2}; \quad (2.6)$$

$F_\delta$  – сумарна сила деформації шару ґрунту пружно закріпленою стрілочастою лапою культиватора в площині  $xz$ :

$$F_{\partial} = \sqrt{F_{\partial z}^2 + F_{\partial x}^2}; \quad (2.7)$$

$f_{yz}$  – узагальнений коефіцієнт тертя, який враховує тертя між окремими частинками недеформованого і деформованого шарів ґрунту,

$k_a$  – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує вплив тертя ґрунту по робочій поверхні стрілкової лапи,

$k_{\partial}$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив геометричних параметрів пружнозакріпленої стрілкової культиваторної лапи на інтенсивність деформації ґрунту,

$k_i$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість руху культиватора.

Сумарну силу адгезії, яка виникає під час взаємодії пружно закріпленої культиваторної лапи з ґрунтом можна наближено визначити з умови:

$$F_a = C_a S_a, \quad (2.8)$$

де  $C_a$  – питома сила адгезії,

$S_a$  – площа контакту робочої поверхні стрілкової лапи з ґрунтом.

Не враховуючи швидкості руху агрегату, сумарну силу деформації ґрунту можна наближено визначити, скориставшись формулою [1, 8, 21]:

$$F_{\partial} = kab, \quad (2.9)$$

де  $k$  – питомий опір ґрунту,

$a, b$  – відповідно, глибина культивації й ширина захвату стрілкової лапи.

Сумарну силу інерції оброблюваного пружнозакріпленою лапою шару ґрунту можна визначити за формулою:

$$J = \frac{10^{-4} jabV^2 \sin \varphi}{g \sin(\varphi + \alpha)}, \quad (2.10)$$

де  $j$  – щільність ґрунту,

$V$  – робоча швидкість руху агрегату.

У робочому стані стрілкової пружнозакріпленої лапи культиватора умова рівноваги має бути забезпечена рівністю моментів, тобто:

$$M = F_{np} \cdot l_1, \quad (2.11)$$

де  $F_{np}$  – сила деформації пружної стійки лапи культиватора.

В цьому випадку розрахункове зусилля, яке діє в пружинному механізмі кріплення культиваторної лапи, становить:

$$F_{np} = c\lambda \quad , \quad (2.12)$$

де  $c$  – жорсткість пружної стійки,

$\lambda$  – переміщення пружної стійки лапи культиватора.

Згідно з рисунком 2.1 пружна стійка почне деформуватися, якщо виконуватиметься умова:

$$P_{xz}l \geq F_{np} \cdot l_1. \quad (2.13)$$

Аналітичне значення сили пружності  $F_{np}$  стійки лапи культиватора в момент її спрацювання становитиме:

$$F_{np} = \frac{P_{xz}l}{l_1}. \quad (2.14)$$

Тоді, згідно формули (2.4) отримаємо остаточне значення сили пружності стійки лапи, необхідне для роботи культиватора в певних ґрунтово-кліматичних умовах, тобто:

$$F_{np} = c\lambda = ((G + P_z)f_{yz} + (C_a S_a)k_a + k_\delta(kab) + \left( \frac{10^{-4}jabV \sin \varphi}{g \sin(\varphi + \alpha)} \right) k_i l / l_1. \quad (2.15)$$

Якщо відомі значення коефіцієнтів  $k_a$ ,  $k_\delta$  та  $k_i$  за залежністю (2.15) можна підібрати розмірно-жорсткісні параметри пружної стійки стрілкової лапи, якою вона кріпиться до рами культиватора POLARIS 10 і його модифікацій для конкретних умов його застосування.

## 2.2 Дослідження взаємодії лапи з рослиною

Під час передпосівного обробітку ґрунту стрілковими лапами вона також взаємодіє з рослинністю, наявною на поверхні поля. Тому важливим є також підрізання кореневищ і стебел рослин. Для зменшення енергоємності процесу доцільно забезпечити роботу лапи в режимі різання із ковзанням.

Під час визначення кута  $2\gamma$  розхилу леза стрілочастих лап необхідно дотримуватись умови, щоб різання кореневищ та стебел бур'янів здійснювалося із ковзанням їх по поверхні леза, що полегшує перерізання кореневищ та стебел або сходження (самоочищення) їх з леза, якщо вини залишилися не перерізними.

Під час аналітичного визначення кута  $2\gamma$  доцільно розглянути роботу леза стрілочасті лапи в момент її зрізання бур'янів. Як видно із рисунку 2.2, на лезо лапи діє силу опору бур'яну  $R$ , яку можна розкласти на дві складові –  $R_1$ , яка намагається пересувати кореневище (стебло) бур'яну по лезу і  $R_2$  яка діє перпендикулярно до площини леза.

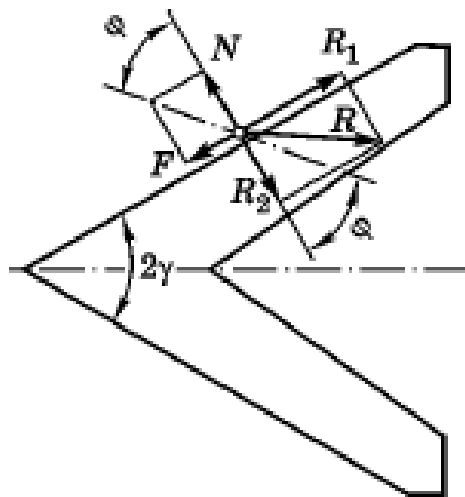


Рисунок 2.2 Схема дії сил на лезо стрілочасті лапи у часі підрізування бур'янів

Очевидно, що кореневище (стебло) зможе ковзатися по лезу, якщо складова  $R_1$  буде вищою за силу тертя, тобто виконуватиметься умова

$$R_1 > F. \quad (2.16)$$

При цьому  $R_1 = R \cos \gamma, \quad (2.17)$

а  $F = R \sin \gamma \tan \varphi_{\kappa}, \quad (2.18)$

де  $\varphi_{\kappa}$  – кут тертя кореневищ бур'янів по лезу лапи.

Виразивши складову  $R_2$  через  $R$ , отримаємо:

$$F = R \sin \gamma \tan \varphi_{\kappa}. \quad (2.19)$$

Підставивши в умову (2.16) отримані значення  $R_1$  і  $F$ , будемо мати

$$R \cos \gamma > R \sin \gamma \tan \varphi_{\kappa}. \quad (2.20)$$

Звідси  $ctg\gamma > tg\varphi_k$ ,

а після незначних перетворень, отримаємо

$$tg(90^\circ - \gamma) > tg\varphi_k. \quad (2.21)$$

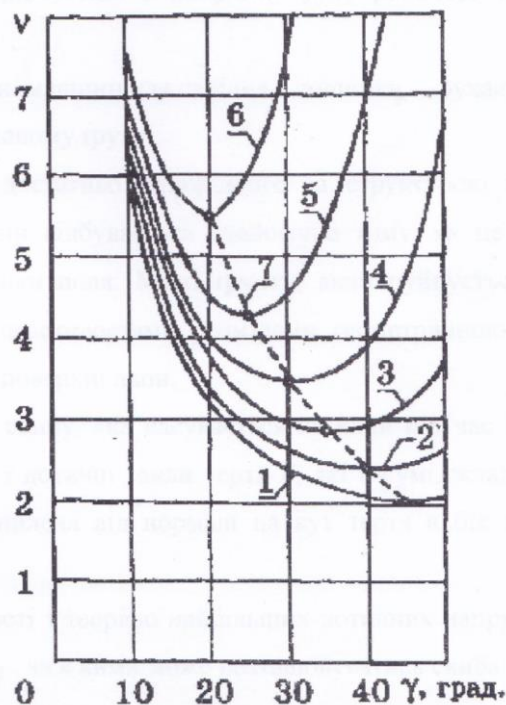
З нерівності (2.21) випливає, що

$$90^\circ - \gamma > \varphi_k,$$

$$\text{або } \gamma < 90^\circ - tg\varphi_k \quad (2.22)$$

Таким чином, коли кут тертя кореневищ (стебел) бур'янів об лезо стріччастої лапи орієнтовно складає 45 град., то кут  $\gamma < 45$  град., а  $2\gamma < 90$  град.

За різних кутів  $\gamma$  на лезу лапи може знаходитися й різна кількість бур'янів, оскільки буде різне самоочищення лапи (рисунок 2.3).



**Рисунок 2.3** Залежність кількості бур'янів  $v$ , що знаходяться на лезі лапи від кута її розхилу  $\gamma$  за кутів тертя  $\varphi$ :

1 – 0 град; 2 – 10 град; 3 – 20 град.; 4 – 30 град.; 5 – 40 град.; 6 – 50 град.; 7 – теоретична крива мінімальних значень кількості бур'янів.

Аналітичними дослідженнями встановлено, що для обробітку чорноземних глинистих ґрунтів можна рекомендувати стріччасті лапи з кутом  $2\gamma = 50\dots58$  град., для середньозв'язних –  $60\dots78$  град., а для піщаних –  $70\dots80$  град. [1, 8].



### 2.3 Аналітичне дослідження пружного елемента стійки лапи культиватора

В чинній конструкції культиватора POLARIS 10 стрілчасті лапи кріпляться до його рами жорстко через пружні стійки, які мають прямокутний переріз, близький до квадрату. Матеріал стійки – пружинна сталь. Тому ця стійка за великих прогинів має виражену пружну характеристику, параметри якої наближено можна вважати подібними до ресори змінної жорсткості.

Розглянемо стійку лапи культиватора в якості защемленої в точці 0 (рисунок 2.4) консольної балки, яка має однаково-постійне за усією довжиною поперечне січення з навантаженням згинальною силою  $F$  кінцем.

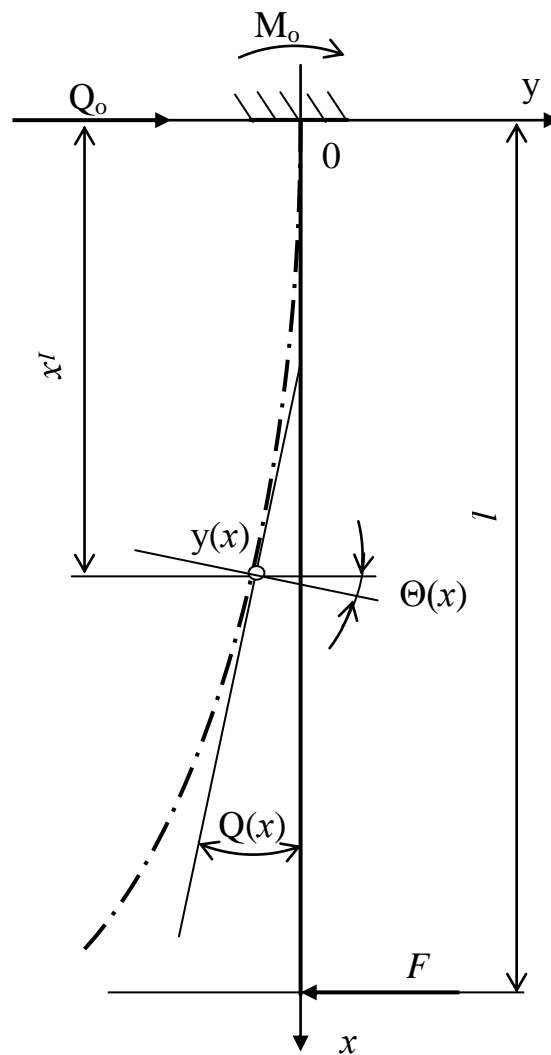


Рисунок 2.4 Схема до визначення пружної лінії прогинів консольної балки (стійки лапи культиватора)

Під дією поперечних навантажень стійка лапи культиватора прогинається, деформуючи поздовжню вісь, внаслідок чого стійка лапи (балка) перетворюється на криву (на рисунку 2.4 відображено пунктиром).

Кривина  $K$  й згинальний момент  $M$  пов'язані між собою залежністю, яку в наближеній формі можна відобразити диференціальним рівнянням лінії (пружної лінії) прогинів балки. Замінивши кривину пружної лінії похідною другого порядку  $y''(x)$  від прогинів защемленої балки, будемо мати [32]:

$$K(x) \approx y''(x). \quad (2.23)$$

З врахуванням похибки прогину на величину  $(y')^2$  диференціальне рівняння зігнутої осі балки (стійки стрілкової культиваторної лапи) набере такого вигляду:

$$EIy''(x) = M(x), \quad (2.24)$$

де  $EI$  – жорсткість балки (стійки лапи);

$M(x)$  – згинальний момент.

Інтегруванням диференціального рівняння (2.24) отримаємо рівняння зігнутої осі балки, котре можна записати наступним чином:

$$EIy(x) = EIy(0) + EIy'(0)x + \Phi(x), \quad (2.25)$$

де  $\Phi(x) = \int_0^x M(t)(x-t)dt$ ;  $EI = const$ .

Продиференціювавши рівняння (2.25) за змінною  $x$  отримаємо рівняння кутів повороту поперечних перерізів зігнутої осі балки (стійки стрілкової лапи культиватора) у наступному вигляді:

$$EIy'(x) = EIy'(0) + \Phi(x). \quad (2.26)$$

Закономірність зміни  $\Phi(x)$  для зігнутої осі стійки лапи залежить від прикладеного до її вільного кінця зусилля й може описуватися таким рівнянням

$$\begin{aligned} \Phi(x) = & M_0 \frac{x^2}{2!} + Q_0 \frac{x^3}{3!} + \sum \frac{M_i (x - a_i)^2}{2!} + \sum \frac{F_i (x - b_i)^3}{3!} + \\ & + \sum \frac{q_i}{4!} [(x - c_i)^4 - (x - d_i)^4] \end{aligned} \quad (2.27)$$

де  $a_i, b_i$  – відповідно, відстані до точок прикладання зосереджених моментів  $M_i$  та сил  $F_i$ ,

$c_i, d_i$  – відповідно, відстані до початкової й кінцевої точок прикладання розподіленого навантаження  $q_i$ .

У відповідності з рисунком 2.4 початкові параметри деформації балки (стійки лапи) наступні:  $y(0) = 0$ ;  $y'(0) = 0$ ;  $Q_0 = F$ ,  $M_0 = -Pl$ . Тому рівняння прогинів стійки лапи культиватора набере такого вигляду:

$$EIy(x) = -Fl \frac{x^2}{2} + F \frac{x^3}{6}. \quad (2.28)$$

Диференціюючи (2.28) отримаємо рівняння кутів повороту поперечних перерізів пружної стійки лапи культиватора, а саме

$$EIy'(x) = -Flx + F \frac{x^2}{2}. \quad (2.29)$$

На вільному кінці консолі (за  $x = l$ ) будемо мати:

$$EIy(l) = EI f_A = \frac{1}{3} Fl^3; \quad f_A = \frac{Fl^3}{3EI}; \quad (2.30)$$

$$EIy'(l) = EI \Theta_A = \frac{1}{2} Fl^2; \quad \Theta_A = \frac{Fl^2}{3EI}. \quad (2.31)$$

Тоді повне переміщення вільного кінця пружно закріпленої стійки стрілкової лапи культиватора запишеться у такому вигляді:

$$f_A = \frac{Fl^3}{3EI} k, \quad (2.32)$$

де  $k = \frac{\alpha E h^2}{4GI^2}$  – коефіцієнт, що враховує вплив поперечного зсуву й залежить

від матеріалу, з якого виготовлена стійка лапи культиватора.

Таким чином, за отриманою залежністю (2.15) можна підібрати розмірно-жорсткісні параметри пружної стійки стрілкової лапи, якою вона кріпиться до рами культиватора POLARIS 10 і його модифікацій для конкретних

умов його застосування. Визначальним при цьому є площа поперечного перерізу стійки та матеріал, з якого вона виготовлена.

Аналітичними дослідженнями встановлено, що жорсткість пружної стійки культиваторної лапи залежить від конструктивних параметрів самого культиватора та особливостей кріплення лап на його рамі. Саме тому слід враховувати відстань від носка лапи до кільці пружини стійки та точки кріплення пружної стійки до рами. Ще однією умовою забезпечення коливань стрілкової лапи на пружній стійці культиватора POLARIS 10 і його модифікацій є відповідна твердість ґрунту. При цьому інтенсивність коливань лапи залежатиме від сумарного її переміщення в ґрунті та пружної жорсткості стійки.

### Висновки

1. Теоретичними дослідженнями встановлено, що коли кут тертя кореневищ (стебел) бур'янів об лезо стрілкової лапи орієнтовно складає 45 град., то кут  $\gamma < 45$  град., а  $2\gamma < 90$  град.

2. Аналітичними дослідженнями встановлено, що для обробітку чорноземних глинистих ґрунтів можна рекомендувати стрілкові лапи з кутом  $2\gamma = 50...58$  град., для середньозв'язних – 60...78 град., а для піщаних – 70...80 град.

3. Виконані аналітичні дослідження й отримана залежність (2.4) дозволяє встановити максимальне зусилля (опір агрегату), що виникає під час взаємодії його пружнозакріпленої стрілкової лапи з ґрунтом для конкретних умов роботи, що враховує щільність, липкість і питомий опір ґрунту, швидкість руху та конструктивні параметри культиватора.

4. Виконані аналітичні дослідження й отримана залежність (2.15) дозволяє підібрати розмірно-жорсткісні параметри пружної стійки стрілкової лапи, якою вона кріпиться до рами культиватора POLARIS 10 і його модифікацій для конкретних умов його застосування; визначальним при цьому є площа поперечного перерізу стійки та матеріал, з якого вона виготовлена.

## **3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Мета і програма експериментальних досліджень**

Метою проведення експериментальних досліджень ставилося завдання визначити опір закріпленої на пружній стійці стрільчастої лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI з врахуванням твердості ґрунту з використанням лабораторної установки на базі ґрунтового каналу, підтвердження й доповнення окремих теоретичних досліджень.

Програма експериментальних досліджень передбачала виконання таких завдань:

1. Визначення твердості ґрунту в зоні дії стрільчастої пружнозакріпленої лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM;
2. Визначення опору стрільчастої пружнозакріпленої лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM.

### **3.2 Методика визначення твердості ґрунту**

Під час технологічного процесу суцільного обробітку ґрунту під різні сільськогосподарські культури культиватором POLARIS 10 PREMIUM ґрунт піддається деформуванню і при цьому чинить опір його робочим органам. Умови роботи пружнозакріплених стрільчастих лап вказаного культиватора залежатимуть, в першу чергу, від твердості ґрунту. Саме тому необхідно дослідити твердість ґрунту в ґрунтовому каналі, тобто на ділянці, де проходить робочий орган під час експериментів.

Вказані дослідження проводяться для отримання вихідних умов, за яких можна буде обґрунтувати опір стрільчастої лапи та умови роботи пружної стійки, через яку вона кріпиться до рами культиватора POLARIS 10 PREMIUM.

Відомо [1, 6, 7, 8, 11, 21], що під час обробітку ґрунту ґрунтообробними машинами (знаряддями) його твердість та коефіцієнт об'ємного зминання мають кореляційну залежність з опором, що виникає під час переміщення їх робочих органів. Серед відомих методів визначення вказаних показників на сьогоднішній день застосовують безліч способів, кожен з яких різниться точністю отриманих даних та складністю проведення. Це пов'язано з тим, які подальші дослідження будуть проведені, в основі яких лежить твердість та коефіцієнт об'ємного зминання. Для навчальних цілей скористаємося одним із найпростіших методів, котрий базується на примусовому переміщенні (вдавлюванню в ґрунт) деформатора твердоміра Желіговського [21].

Суть відомої методики базується на визначенні твердості ґрунту через примусове вдавлювання в нього з певним зусиллям, через пружину відомої жорсткості, деформатора з наперед відомим об'ємом. Прилад (твердомір) має нерухому рамку 1 (рисунок 3.1, а) з опорною поверхнею й пристосуванням для кріплення міліметрового паперу, шток 2, на кінці якого закріплено накопичувач (деформатор) 3.

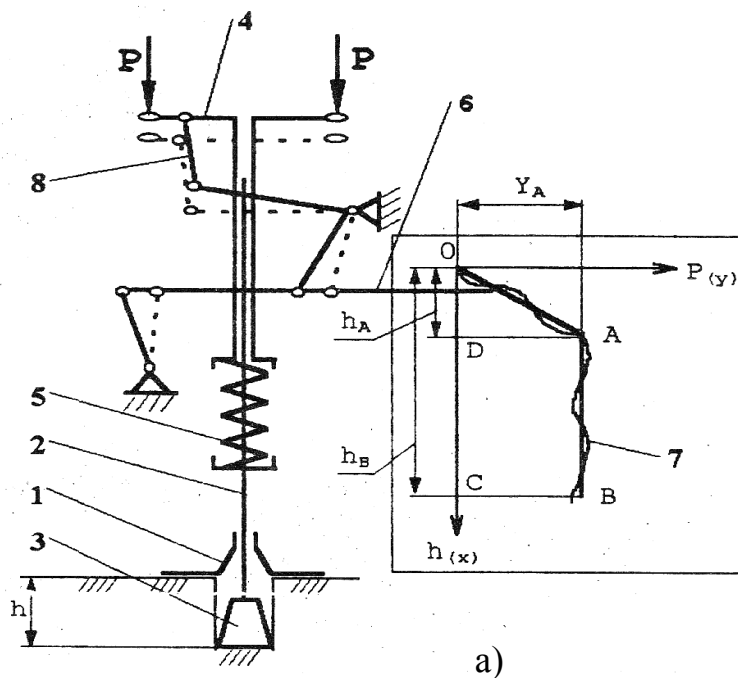


Рисунок 3.1 Схема твердоміра: а) схема, б) загальний вигляд

Шток 2 з'єднується з важелем 4 через наперед таровану пружину 5. В свою чергу кінець пружини 5 через передавальний механізм 8 з'єднаний з самописцем 6. Під час переміщення штока 2 самописець 6 фіксує деформацію пружини 5 горизонтальним відрізком  $Y$ , а поступове заглиблення наконечника (деформатора) 3 – вертикальним відрізком  $h$ , що відображено на діаграмі 7 (див. рисунок 3.1).

Під час проведення експериментів у ґрунтовому каналі спочатку ґрунт піддавався ущільненню (трамбуванню) по всій довжині жолоба лабораторної установки. Потім на певних ділянках прилад Желіговського із закріпленим у пристосуванні міліметровим папером і самописцем 6 підводився до поверхні ґрунту. Під час плавного натискання руками на важелі 4 приладу наконечник 3 заглиблювався в ґрунт. Одночасно з цим олівець самописця 6 викреслював діаграму 7, на якій відображалась закономірність зміни прикладеного до важелів 4 зусилля  $P$  від деформації ґрунту  $h$ , яку можна описати залежністю:

$$P = k \cdot Y, \quad (3.1)$$

де  $k$  – жорсткість пружини, Н/мм.

Олівець самописця залишив на міліметровому папері лінії, які апроксимовані на діаграмі прямими  $OA$  та  $AB$ , що наближено відображають характер та закономірність процесу деформації ґрунту на цих ділянках. Як видно з діаграми на ділянці  $OA$ , що відповідає першій фазі деформації, сила опору зануренню деформатора 3 зростає пропорційно до лінійної деформації ґрунту  $h$ . На ділянці  $AB$  (друга фаза деформування) ґрунт деформується за постійного тиску на нього, тобто відбувається зростання деформації ґрунту, а прикладене зусилля  $P$  залишається на тій самій величині, що відповідає ординаті  $Y_A$  діаграми.

Твердість ґрунту на межі прямої пропорційності можна визначити за відомою залежністю [21, 30]

$$p = \frac{kY}{S}, \quad (3.2)$$

де  $Y$  – середня ордината діаграми, мм,

$S$  – площа основи наконечника (деформатора), мм<sup>2</sup>.

Експериментальні дослідження проводились у ґрунтовому каналі кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича. Вибирались п'ять точок на глибині 60 мм, які розміщувалися на однаковій відстані одна від одної за довжиною каналу. Під час експериментів використовувався плунжер, площа основи якого  $S=1\text{см}^2$ .

Під час експериментів за допомогою приладу проводились необхідні заміри, а отримані діаграми оброблялись графічно й аналітично з остаточним встановленням середньої твердості ґрунту в ґрунтовому каналі, після чого одразу проводились експерименти з визначення опору стрілкової лапи культиватора.

### 3.3 Методика визначення опору стрілкової пружнозакріпленої лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM

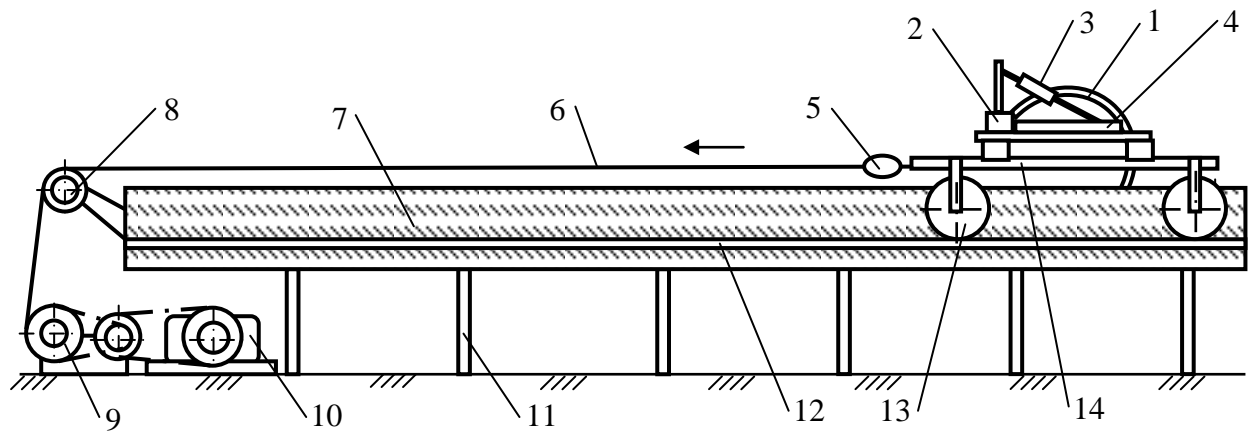
Відомо, що твердість ґрунту має досить суттєвий вплив на якість обробітку ґрунту стрілковою лапою, яка кріпиться до рами культиватора через пружну стійку. Першочергово це впливає на опір культиваторної лапи, величина якого змінюється в залежності від ґрунтово-кліматичних умов [1, 8, 21].

Після досліджень твердості ґрунту в ґрунтовому каналі проводились експерименти із визначення тягового опору стрілкової лапи з пружною стійкою культиватора POLARIS 10 PREMIUM, закріпленої в тримачах кронштейна рухомої каретки, які є елементами лабораторної установки на базі вище згаданого ґрунтового каналу.

Сама лабораторна установка – це ґрунтовий канал 7 (рисунок 3.2), виконаний у вигляді жолоба, заповненого ґрунтом на глибину 0,30 м. зверху ґрунтового каналу змонтовано рейси 12, по яких примусово переміщується візок 14, виготовлений у вигляді прямокутної рами зварної конструкції, яка опирається на чотири колеса 13. У передній частині рами передбачено кріплення для приєднання електричного динамографа 5. На бокових лонжеронах рами візка 14 змонтовано два кронштейни 4 з валом квадратного перерізу, у



середній частині якого змонтовано тримач 2, у якому, в свою чергу, закріплено стрілкову лапу 1 на пружній стійці. Тягами 3 кронштейн 4 можна регулювати кут входження стійки лапи культиватора безпосередньо в ґрунт каналу 7.



а)



б)

**Рисунок 3.2** Лабораторна установка для дослідження опору стрілкової лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM:

а) схема; б) загальний вигляд; 1 – робочий орган (стрілкова лапа на пружній стійці); 2 – тримач; 3 – тяга регульовальна; 4 – кронштейн; 5 – динамограф електричний; 6 – трос; 7 – ґрунтовий канал; 8 – шків; 9 – варіатор швидкостей; 10 – електродвигун; 11 – опора; 12 – рейси; 13 – колесо візка; 14 – візок; 15 – кабель.

В часі проведення кожного експерименту візок 14 на колесах 13 примусово переміщувався по рейсах 12 завдяки електродвигуну 10, технологічно й конструктивно з'єднаного через варіатор швидкостей 9 та шків 8 з тросом 6, до якого через відтарований у лабораторних умовах тяговий електричний динамограф 5, приєднувався візок 14. Тяговий електричний динамограф 6 з'єднувався з реєструвальною апаратурою персонального комп'ютера через кабель 15.

Під час експериментальних досліджень візок 14 з робочим органом у вигляді стрілкової лапи 1 з пружною стійкою встановлювався на початку ґрунтового каналу 7 на задану глибину обробітку. Тягами 3 кронштейнів 4 встановлювався необхідний кут входження досліджуваної лапи в ґрунт. Одразу із включенням живлення електродвигуна 10, він через трос 6 переміщував візок 14, тобто здійснювався робочий хід культиваторної лапи 1.

На всьому шляху робочого ходу на осцилограф персонального комп'ютера записувалися осцилограми, які відображали опір стрілкової лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM. Одночасно з цим за допомогою секундоміра фіксувався час проходження ґрунтового каналу 7 між двома крайніми точками відліку і таким чином визначалась робоча швидкість  $V_p$  руху культиватора під час кожного окремого експерименту.

Після кожного дослідження візок 14 повертався у вихідне положення, змінювалися вихідні умови й експерименти продовжувались за налагодженою схемою. Для зміни швидкості руху візка із робочим органом використовувався варіатор 9.

Стрілчасті лапи культиватора можуть мати різні кути  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$ . Від їх співвідношення також залежить опір культиваторної лапи, а тому для ґрунтів з різною твердістю слід підбирати стрілчасті лапи з так званою «м'якою» геометрією, щоб мінімізувати енергетичні затрати на виконання технологічного процесу обробітку ґрунту в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Тому дослідження проводились для стрілчастих лап з кутами  $\beta$  межах 8, 12 та 16 град. й кутами  $\gamma$  в межах 70, 80 та 90 град. Глибина обробітку ґру-

нту була незмінною і становила 60 мм, а швидкість переміщення візка змінювалась в діапазоні 1,5 – 2,5 м/с.

Після обробки отриманих під час дослідів осцилограм визначався тяговий опір стрілкової лапи культиватора за відомою залежністю:

$$R_{ct} = Y \cdot \delta, \quad (3.1)$$

де  $Y$  – середнє значення ординати осцилограми, мм,

$\delta$  – масштаб динамографа.

Перед кожною серією експериментів ґрунт вздовж усього жолоба каналу вирівнювався та піддавався ущільненню. Вологість ґрунту під час проведення експериментів становила 22-23 %, а його твердість змінювалась від 2,0 до 5,0 кПа.

Експериментальні дослідження проводились для стрілкових лап на пружній стійці, якими комплектують культиватори POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Опір робочої стрілкової лапи культиватора POLARIS 10 PREMIUM

Проведеними експериментальними дослідженнями та на основі виконаної обробки даних було встановлено, що опір стрілкової лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM змінюється в залежності від твердості ґрунту та швидкості переміщення робочого органу в ґрунтовому каналі. Впливовими на величину опору лапи є також глибина обробітку (в проведених дослідках вона була незмінною), а також співвідношення між кутами перекидання  $\beta$  і повного розхилу  $\gamma$  лапи.

Для стрілкової лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM за швидкості руху 2,5м/с закономірність зміни середніх значень опору  $R_{cl(I)}$  в залежності від кута перекидання ґрунту наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$R_{cl(I)} = -27,506\beta^4 + 57,29\beta^3 - 39,967\beta^2 + 10,86\beta + 0,6418. \quad (4.1)$$

Для стрілкової лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM за швидкості руху 2,0м/с закономірність зміни середніх значень опору  $R_{cl(II)}$  в залежності від кута перекидання ґрунту наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

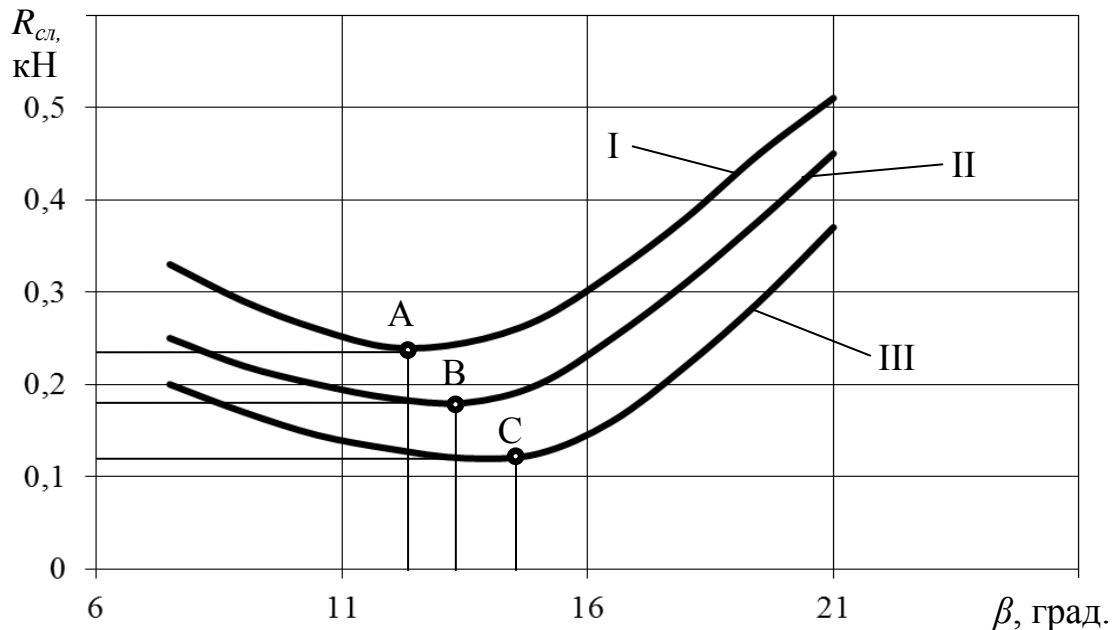
$$R_{cl(II)} = -25,198\beta^4 + 55,061\beta^3 - 40,704\beta^2 + 12,06\beta - 0,9825. \quad (4.2)$$

Для стрілкової лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM за швидкості руху 1,5м/с закономірність зміни середніх значень опору  $R_{cl(III)}$  в залежності від кута перекидання ґрунту наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$R_{cl(III)} = -19,464\beta^4 + 44,179\beta^3 - 33,42\beta^2 + 9,9538\beta - 0,8078. \quad (4.3)$$

Графічна інтерпретація виконаних експериментальних досліджень (рисунк 4.1) відображається кривими, які показують зниження опору стрілкової лапи на пружинній підвісці за кутів  $\beta$  в діапазоні від 7 до 15 град., а потім

його поступове зростання майже за лінійною залежністю не залежно від швидкості руху робочого органу в ґрунті та його твердості. Це пояснюється особливістю роботи стрілкової лапи на пружній стійці, яка під час входження в ґрунт чинить опір спочатку без коливань, потім коливається в ґрунті, а якщо швидкість зростає, то її вібраційні коливання лапи стають меншими, що супроводжується зростанням її опору.



**Рисунок 4.1** Залежність опору стрілкової лапи культиватора  $R_k$  (кН) від кута перекидання  $\beta$  (град.) для твердості ґрунту 3,0 кПа і швидкостей руху 2,5 (I), 2,0 (II) та 1,5 (III) м/с.

Експериментальними дослідженнями вдалося встановити мінімальні значення опорів стрілкової лапи та відповідні їх кути  $\beta$ , позначені на рисунку 4.1 точками А, В та С. Так, для швидкості 1,5 м/с і твердості ґрунту 3,0 кПа оптимальне значення кута  $\beta$  (точка С на рисунку 4.1) для якої опір стрілкової лапи буде мінімальним ( $R_{кл(III)} = 0,11$  кН), становить 15 град. Із зростанням швидкості переміщення лапи в ґрунті до 2,5 м/с оптимальне значення кута  $\beta$  (точка А на рисунку 4.1) зменшується до 12 град., а мінімальне значення опору  $R_{кл(I)}$  стрілкової лапи становитиме 0,24 кН.

Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення стрілкової лапи на пружній стійці в

грунті оптимальне значення кута перекидання  $\beta$  зменшується. Так, для ґрунтів з твердістю до 2,0кПа потрібно вибирати стрілочасті лапи з кутом  $\beta$ , що змінюється в межах 10-12град.; для ґрунтів з твердістю 2,0-3,0кПа потрібно вибирати стрілочасті лапи з кутом  $\beta$ , що змінюється в межах 12-14град.; для ґрунтів з твердістю 3,0-5,0кПа потрібно вибирати стрілочасті лапи з кутом  $\beta$ , що змінюється в межах 14-18град.

Експериментальні дослідження з впливу повного кута  $\gamma$  розхилу на технологічний процес стрілочастої лапи на пружній стійці дозволили отримати такі результати.

Для стрілочастої лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM за швидкості руху 2,5м/с закономірність зміни середніх значень опору  $R_{cl(I)}$  в залежності від повного кута  $2\gamma$  розхилу лапи наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$R_{cl(I)} = -0,5 \cdot 10^{-6} (2\gamma)^4 + 0,0032 (2\gamma)^3 - 0,3916 (2\gamma)^2 + 21,185 (2\gamma) - 426,43. \quad (4.4)$$

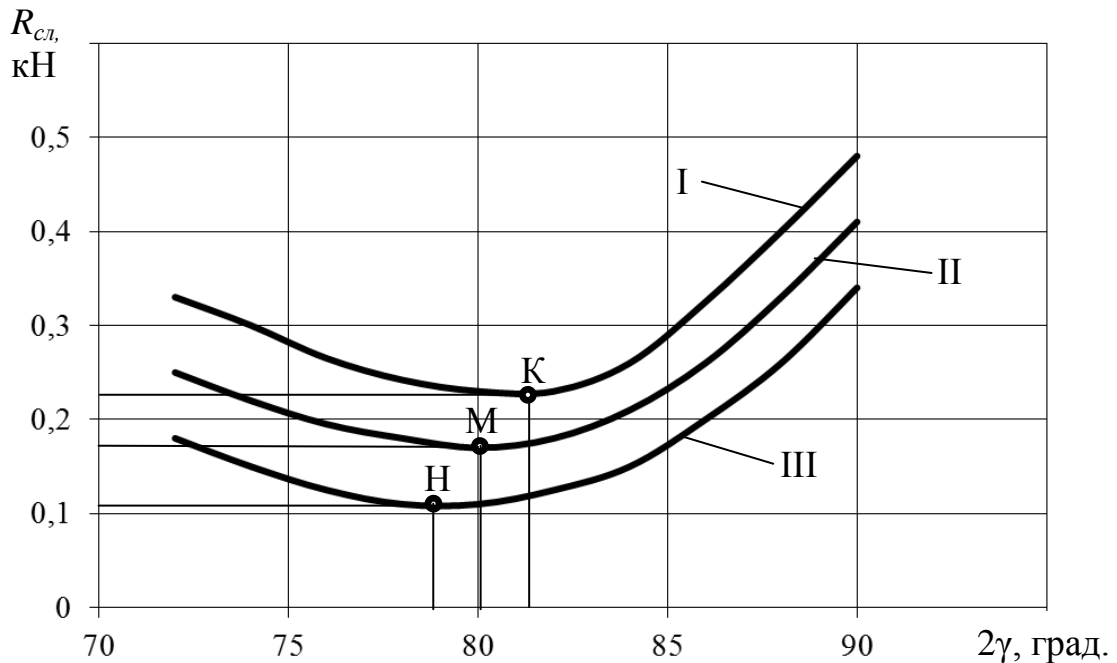
Для стрілочастої лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM за швидкості руху 2,0м/с закономірність зміни середніх значень опору  $R_{cl(II)}$  в залежності від повного кута  $2\gamma$  розхилу лапи наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$R_{cl(II)} = -0,6 \cdot 10^{-6} (2\gamma)^4 + 0,0015 (2\gamma)^3 - 0,1825 (2\gamma)^2 + 9,9088 (2\gamma) - 199,28. \quad (4.5)$$

Для стрілочастої лапи на пружинній стійці культиватора POLARIS 10 PREMIUM за швидкості руху 1,5м/с закономірність зміни середніх значень опору  $R_{cl(III)}$  в залежності від повного кута  $2\gamma$  розхилу лапи наближено описується поліноміальним рівнянням четвертого порядку і становить:

$$R_{cl(III)} = -0,6 \cdot 10^{-6} (2\gamma)^4 + 0,0005 (2\gamma)^3 - 0,0675 (2\gamma)^2 + 3,6245 (2\gamma) - 71,031. \quad (4.6)$$

Графічна інтерпретація виконаних експериментальних досліджень (рисунк 4.2) відображається кривими, які показують зниження опору стрілочастої лапи на пружній підвісці за кутів  $2\gamma$  в діапазоні 72 до 82 град., а потім його поступове зростання не залежно від швидкості руху робочого органу в ґрунті та його твердості.



**Рисунок 4.2** Залежність опору стрілкової лапи культиватора  $R_{кл}$  (кН) від кута повного її розхилу  $2\gamma$  (град.) для твердості ґрунту 3,0кПа і швидкостей руху 2,5 (I), 2,0 (II) та 1,5 (III) м/с.

Експериментальними дослідженнями вдалося встановити мінімальні значення опорів стрілкової лапи та відповідні їх кути  $\gamma$ , позначені на рисунку 4.2 точками К, М та Н. Так, для швидкості 1,5м/с і твердості ґрунту 3,0кПа оптимальне значення кута  $2\gamma$  (точка Н на рисунку 4.2) для якої опір стрілкової лапи буде мінімальним ( $R_{кл(III)} = 0,105$ кН), становить 78град. Із зростанням швидкості переміщення лапи в ґрунті до 2,5м/с оптимальне значення кута  $2\gamma$  (точка К на рисунку 4.2) збільшується до 82град., а мінімальне значення опору  $R_{кл(I)}$  стрілкової лапи в цьому випадку становитиме 0,23кН.

Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення стрілкової лапи на пружній стійці в ґрунті оптимальне значення кута повного розхилу лап  $\gamma$  збільшується. Так, для ґрунтів з твердістю до 2,0кПа потрібно вибирати стрілкові лапи з кутом  $2\gamma$ , що змінюється в межах 85-87град.; для ґрунтів з твердістю 2,0-3,0кПа потрібно вибирати стрілкові лапи з кутом  $\gamma$ , що змінюється в межах 80-85град.; для ґрунтів з твердістю 3,0-5,0кПа потрібно вибирати стрілкові лапи з кутом  $2\gamma$ , що змінюється в межах 78-80град.

## Висновки

1. Експериментальними дослідженнями встановлено мінімальні значення опорів стрілкової лапи та відповідні їх кути  $\beta$  перекидання ґрунту: для швидкості 1,5 м/с і твердості ґрунту 3,0кПа оптимальне значення кута  $\beta$ , для якого опір стрілкової лапи буде мінімальним ( $R_{сл(III)} = 0,11$  кН), становить 15 град; із зростанням швидкості переміщення лапи в ґрунті до 2,5м/с оптимальне значення кута  $\beta$  зменшується до 12град., за мінімального значення опору  $R_{сл(I)} = 0,24$ кН.

2. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення стрілкової лапи на пружній стійці в ґрунті оптимальне значення кута перекидання  $\beta$  зменшується: для ґрунтів з твердістю до 2,0кПа потрібно вибирати стрілкові лапи з кутом  $\beta$ , що змінюється в межах 10-12град.; для ґрунтів з твердістю 2,0-3,0кПа кут  $\beta$  повинен змінюватися в межах 12-14град.; для ґрунтів з твердістю 3,0-5,0кПа кут  $\beta$  має становити 14-18град.

3. Експериментальними дослідженнями встановлено мінімальні значення опорів стрілкової лапи та відповідні їх кути  $2\gamma$ : для швидкості 1,5м/с і твердості ґрунту 3,0кПа оптимальне значення кута  $2\gamma$ , для якого опір стрілкової лапи буде мінімальним ( $R_{сл(III)} = 0,105$  кН), становить 78град.; із зростанням швидкості переміщення лапи в ґрунті до 2,5м/с оптимальне значення кута  $2\gamma$  більшується до 82град., за мінімального значення опору  $R_{сл(I)} = 0,23$ кН.

4. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення стрілкової лапи на пружній стійці в ґрунті оптимальне значення кута повного розхилу лап  $2\gamma$  збільшується: для ґрунтів з твердістю до 2,0кПа потрібно вибирати стрілкові лапи з кутом  $2\gamma$ , що змінюється в межах 85-87град.; для ґрунтів з твердістю 2,0-3,0кПа кут  $2\gamma$  має змінюватися в межах 80-85град.; для ґрунтів з твердістю 3,0-5,0кПа кут  $2\gamma$  має змінюватися в межах 78-80град.



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Складання карти умов праці під час використання широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI

Для сучасного сільськогосподарського виробництва характерним є вплив на організм людини різних технічних, біологічних та інших факторів [9, 12, 23]. 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 [12, 23]. 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.

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.

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 у підпорядкованій 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 обробтку ґрунту (культивуації), виконавши розрахунки окремих коефіцієнтів за наступними формулами.

Коефіцієнт нормозабезпеченості визначаємо за формулою

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

де  $A_B$  - фактичне значення фактора умов праці;

$A_n$  – гранично допустимий рівень або концентрація.

Коефіцієнт небезпечності від дії фактора можна визначити з виразу:

$$K_{\partial\phi} = K_n \cdot T_{\partial\phi}. \quad (5.2)$$

де  $T_{\partial\phi}$  – час дії фактора у частках тривалості зміни.

Коефіцієнт небезпечності від усіх факторів становить:

$$K = \frac{K_{\partial\phi}}{n} \quad (5.3)$$

де  $n$  – кількість факторів умов праці.

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

- ДСТУ 12.1.005-93 – Повітря робочої зони. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 23.00-93 – Вібрація, терміни та визначення;
- ДНАОП 0.00-1\* – Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.



На підставі аналізу даних таблиці 5.1 можна зробити висновок, що фактичне значення умов праці механізатора під час обробітку ґрунту (культивуації) дещо перевищують граничні показники, регламентовані відповідними нормативними документами. Особливо шкідливими є вібраційні фактори, пов'язані з технологічним процесом взаємодії робочих органів культиватора POLARIS 10 PREMIUM на пружній підвісці з ґрунтовим середовищем, під час якого на остов енергетичного засобу, а відповідно і механізаторам можуть передаватися вібраційні коливання.

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 небезпеки виникнення аварій і травм

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, робочих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки 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-якого випадкового явища [12, 23]. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварії або травмо-небезпечні 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, травмонебезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із використанням операторів „і”, „або”. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

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

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

6. 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

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

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

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

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

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

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

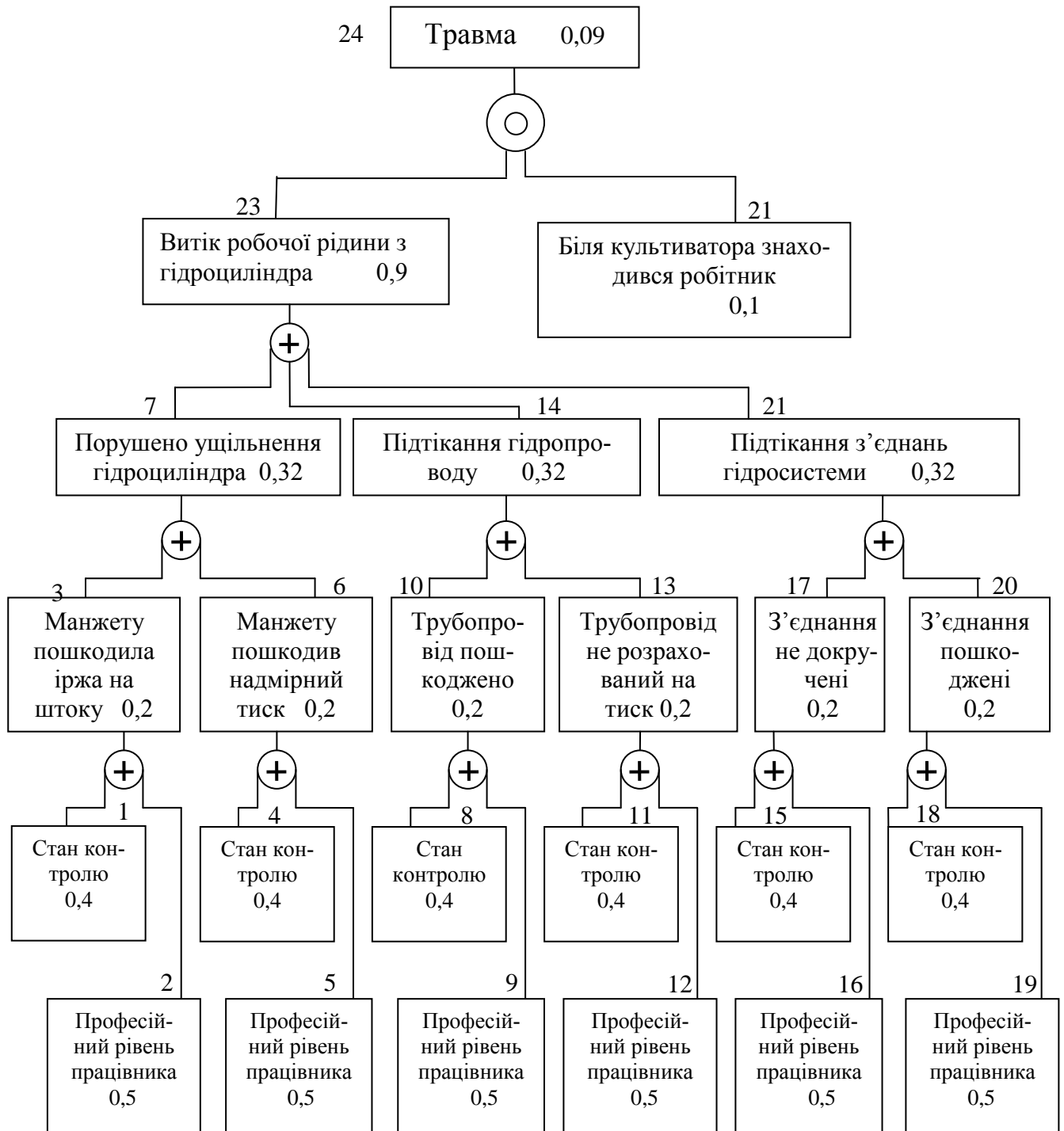
$$P_{17} = P_{15} + P_{16} - P_{15} \cdot P_{16} = 0,2.$$

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

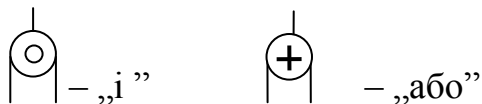
$$P_{21} = P_{17} + P_{20} - P_{17} \cdot P_{20} + P_{17} \cdot P_{20} = 0,32.$$

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

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



Оператори:



**Рисунок 5.1** Схема логіко-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час технічного обслуговування культиватора POLARIS 10 PREMIUM для обробітку ґрунту:

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

Таким чином, проведення технічного обслуговування культиватора POLARIS 10 PREMIUM, начепленого на гідравлічну систему начіпки енергетичного засобу і піднятого в транспортне положення вимагає дотримання вимог безпеки, через можливе виникнення травм та аварій. Перш за все, проводячи технічне обслуговування слід, користуватися надійним підставками, які необхідно підкладати під раму культиватора для фіксації його в транспортному положенні. Якщо культиватор обслуговувати без підставок, а тільки використовувати елементи роздільно-агрегатної гідравлічної системи трактора, то на робочому місці під час технічного обслуговування культиватора 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, 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, 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 травмонезбезпечних 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.



## 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОЗАХВАТНОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО КУЛЬТИВАТОРА POLARIS 10 PREMIUM КОМПАНІЇ ELVORTI

Основними техніко-економічними показниками роботи широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI є прямі питомі експлуатаційні затрати, витрата палива, продуктивність та затрати праці [22, 20, 27, 28].

Прямі питомі експлуатаційні затрати визначаються за формулою

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

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;

$P$  – 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.

Визначаємо годинну продуктивність агрегату за формулою:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (6.3)$$

де  $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни, що визначається за формулою:

$$\tau = T_p / T_{зм}, \quad (6.4)$$

Чистий робочий час в загінці:

$$T_p = \varphi (T_{зм} - T_{зуп}), \quad (6.5)$$

де  $T_{зм}$ ,  $T_{зуп}$  – відповідно тривалість зміни та зупинок з працюючим двигуном, год.;

Амортизаційні відрахування всіх складових агрегату визначаються з виразу:

$$A = \Sigma (B_i a_i / (W_{зм} T_{ф.р.і})), \quad (6.6)$$

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

$a_i$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію усіх складових агрегату;

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

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою

$$R = \Sigma (B_i (p_i + \kappa_i) / (W_{зм} T_{н.р.і})), \quad (6.7)$$

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;

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

Вартість паливно-мастильних матеріалів можна визначити з виразу

$$П = QЦ / W_{зм}, \quad (6.8)$$

де  $Q$  – витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/год:

$$Q = \frac{G_{зм}}{W_{зм}} = \frac{G_p T_p + G_x T_x + G_3 T_3}{0,1 B_p V_p T_{зм} \tau}, \quad (6.9)$$

де  $G_p, G_x, G_3$  – годинна витрата палива двигуном відповідно при роботі з навантаженням, на холостому ходу агрегату та роботі двигуна на зупинках, кг/год;

$T_p, T_x, T_3$  – час роботи агрегату, який визначають залежно від умов роботи, 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

$$Z_{зб} = 0,065 R. \quad (6.10)$$

Затрати праці на виконання операції:

$$Z_{зб} = \Pi_o / W_{зм}, \quad (6.11)$$

де  $\Pi_o$  – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.

Вихідні дані для проведення досліджень техніко-економічних показників використання широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI вибирались на основі найсприятливіших умов його застосування.

Ціна техніки вибиралась на основі рекламної інформації заводів-виготовлювачів станом на 1.09.2023 р. [15, 31]; годинні тарифні ставки обслуговуючого персоналу визначались з умови отримання середньої заробітної плати в межах 16500 грн.

Результати розрахунків техніко-економічних показників використання широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI зводимо в таблицю 6.1 для остаточного аналізу.

Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники використання широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI

Показники	ХТЗ-150К-09.172.00+ POLARIS 10 PREMIUM
1	2
Продуктивність годинна, га/год.	6,4
Витрата палива, кг/га	8,40
Прямі затрати, грн./га на:	
- оплату праці	17,19
- паливно-мастильні матеріали	504,0
- ТО, поточний і капітальний ремонт	171,08
- реновацію	104,45
- затрати на зберігання	11,12
- всього прямих затрат	807,84
Затрати праці, люд. год/га	0,02

Як видно з проведених розрахунків годинна продуктивність ґрунтообробного агрегату в складі трактора ХТЗ-150К-09.172.00 та широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI становить 6,4 га/год. При цьому сума прямих питомих експлуатаційних затрат сягає 807,84 грн/га, а затрат праці – 0,02 люд. год./га.

### Висновки

1. Під час збирання обробітку ґрунту широкозахватним універсальним культиватором POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI його годинна продуктивність становить 6,4 га/год.
2. Прямі питомі експлуатаційні затрати під час використання вказаного культиватора становлять 807,84грн./га.
3. Затрати праці під час використання широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI становлять 0,02 люд.год/га.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На сучасному етапі розвитку техніки і технологій для обробітку ґрунту перспективним є пошаровий комбінований обробіток робочими органами у вигляді стрілочастих лап, пружинних борін та котків;
2. Для передпосівного обробітку ґрунту під зернові треба забезпечити не тільки якісне подрібнення посівного шару ґрунту, але й достатньо вирівняне посівне ложе для насіння.
3. Одним із шляхів підвищення ефективності застосування культиваторів для передпосівного обробітку ґрунту під зернові культури є обладнання їх стрілочастими лапами з пружним кріплення стійки до рами.
4. Теоретичними дослідженнями встановлено, що коли кут тертя кореневищ (стебел) бур'янів об лезо стрілочастої лапи орієнтовно складає 45 град., то кут  $\gamma < 45$  град., а  $2\gamma < 90$  град.
5. Аналітичними дослідженнями встановлено, що для обробітку чорноземних глинистих ґрунтів можна рекомендувати стрілочасті лапи з кутом  $2\gamma = 50\dots 58$  град., для середньозв'язних –  $60\dots 78$  град., а для піщаних –  $70\dots 80$  град.
6. Виконані аналітичні дослідження й отримана залежність (2.4) дозволяє встановити максимальне зусилля (опір агрегату), що виникає під час взаємодії його пружнозакріпленої стрілочастої лапи з ґрунтом для конкретних умов роботи, що враховує щільність, липкість і питомий опір ґрунту, швидкість руху та конструктивні параметри культиватора.
7. Експериментальними дослідженнями встановлено мінімальні значення опорів стрілочастої лапи та відповідні їх кути  $\beta$  перекидання ґрунту: для швидкості 1,5 м/с і твердості ґрунту 3,0кПа оптимальне значення кута  $\beta$ , для якого опір стрілочастої лапи буде мінімальним ( $R_{cl(III)} = 0,11$  кН), становить 15 град; із зростанням швидкості переміщення лапи в ґрунті до 2,5м/с оптимальне значення кута  $\beta$  зменшується до 12град., за мінімального значення опору  $R_{cl(I)} = 0,24$ кН.

8. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення стрілчастої лапи на пружній стійці в ґрунті оптимальне значення кута перекидання  $\beta$  зменшується: для ґрунтів з твердістю до 2,0кПа потрібно вибирати стрілчасті лапи з кутом  $\beta$ , що змінюється в межах 10-12град.; для ґрунтів з твердістю 2,0-3,0кПа кут  $\beta$  повинен змінюватися в межах 12-14град.; для ґрунтів з твердістю 3,0-5,0кПа кут  $\beta$  має становити 14-18град.
9. Експериментальними дослідженнями встановлено мінімальні значення опорів стрілчастої лапи та відповідні їх кути  $\gamma$ : для швидкості 1,5м/с і твердості ґрунту 3,0кПа оптимальне значення кута  $\gamma$ , для якого опір стрілчастої лапи буде мінімальним ( $R_{cl(III)} = 0,105$  кН), становить 78град.; із зростанням швидкості переміщення лапи в ґрунті до 2,5м/с оптимальне значення кута  $\gamma$  більшується до 82град., за мінімального значення опору  $R_{cl(I)} = 0,23$ кН.
10. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що із збільшенням швидкості переміщення стрілчастої лапи на пружній стійці в ґрунті оптимальне значення кута повного розхилу лап  $\gamma$  збільшується: для ґрунтів з твердістю до 2,0кПа потрібно вибирати стрілчасті лапи з кутом  $\gamma$ , що змінюється в межах 85-87град.; для ґрунтів з твердістю 2,0-3,0кПа кут  $\gamma$  має змінюватися в межах 80-85град.; для ґрунтів з твердістю 3,0-5,0кПа кут  $\gamma$  має змінюватися в межах 78-80град.
11. Під час обробітку ґрунту широкозахватним універсальним культиватором POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI його годинна продуктивність становить 6,4 га/год.
12. Прямі питомі експлуатаційні затрати під час використання вказаного культиватора становлять 807,84грн./га.
13. Затрати праці під час використання широкозахватного універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI становлять 0,02 люд.год/га.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Василенко П.М. Основи аналітичних методів землеробської механіки. Київ: Видавництво НАУ, 1998. 29 с.
2. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Іщенко В.В., Дубровін В.О., Онищенко В.Б., Волянський М.С., Мартишко В.М., Погорілець О.М., Ямков О.В., Барановський В.І., Шевченко В.І., Борхаленко Ю.О. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
3. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Київ. Урожай, 1994. 446 с.
4. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. Київ. Вища освіта, 2004. 544 с.
5. Вотченко О.С., Шкрегаль О.М. Стан та сучасні напрямки розробки робочих органів культиваторів для поверхневого обробітку ґрунту. *Зб. наук. пр. Луганського ЛНАУ*. Луганськ. 2008. Вип. 91. С. 26-36
6. Гуменюк Ю.О. Стан та напрямки досліджень ґрунтообробних робочих органів вібраційного типу. *Науковий вісник НАУ*. Київ, 2002. Вип.40. С.142 – 147.
7. Гуменюк Ю.О., Дімчев О.М., Ковбаса В.П., Кучер М.М. Установка для дослідження взаємодії робочих органів з ґрунтом. *Зб. наукових праць НАУ: Механізація сільськогосподарського виробництва*. Київ, 2000. Т.9. С.271 – 273.
8. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (ч.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків. Око, 2001. 444 с.: іл.
9. Іванух Р.А. Охорона і раціональне використання природно-ресурсного потенціалу сільського господарства. Київ. Урожай, 1985. 286 с.
10. Кудринський Р. Витрати енергії на розпушення ґрунту. *Вісник Львів держ. агр. ун-тету: агроінженерні дослідження*. Львів. 2001. №5. С. 125-128.
11. Кузів М. Характеристика робочих органів універсального культиватора POLARIS 10 PREMIUM компанії ELVORTI *Студентська молодь і науко-*

- вий прогрес: тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму, 4-6 жовт. 2023 р.*  
[Електронний ресурс]. Львів, 2023. С. 390.
12. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та ін. Основи охорони праці. Київ. Основа, 2000. 416 с.
  13. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 2-е вид., виправ. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.
  14. Лихочвор В.В., Петриненко В.Ф., Іващук П.В., Корнійчук О.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур 3-є вид., виправ., допов. Львів: НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
  15. Офіційний сайт АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО ЕЛЬВОРТИ. Електронний ресурс: [URL: https://elvorti.com/](https://elvorti.com/).
  16. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. -2-ге вид., стереотип. Київ. Техніка, 2004. 512 с: іл.
  17. Петриченко В., Лихочвор В.В. Рослинництво Львів; НВФ Українські технології» 2014. С. 326.
  18. Піскунов В.Т. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності. Київ. Вища школа, 1995. 128 с.
  19. Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П. Охорона праці (гігієна та виробнича санітарія) Львів «Тріада плюс», 2015. 224 с.
  20. Покропивний С.Ф., Соболь С.М., Швиданенко Г.О. Бізнес-план: технологія розробки та обґрунтування: навчальний посібн. Київ. КНЕУ, 1999. 208 с.
  21. Рибарук В.Я., Ріпка І.І. Сільськогосподарські машини: Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: ЛДАУ. 1998. 264 с.
  22. Ріпка І.І., Семен Я.В., Крунич О.М., Бендера І.М., Рудь А.В. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.;



23. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Сторожук В.М. та ін; За ред. Жидецького В.Ц.. Львів: Афіша, 2000. 352 с.
24. Робочий орган культиватора: пат. 25100 С2 Україна, МПК А01В 35/26. заявл. 17.01.07, опубл. 25.12.08, бюл. № 24.
25. 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.
26. 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.
27. Сидорчук О.В. Інженерний менеджмент в АПК. Львів: Львів. держ. агр. ун-т, 2005. 87с.
28. 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.
29. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. посібник. Київ : УСГА, 1992. 240 с.
30. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.
31. Харківський тракторний завод. Електронний ресурс: URL: <http://xtz.ua/ua/kolisni-tractory/xtz-150k-09-172.html>.
32. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: навч. посіб. Київ. Знання, 2009. 380 с.