

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення ефективності використання садового  
підживлювача з розробкою ін'єкційного пристрою

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГс  
спеціальності

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Завінський П.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Мартинюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Завінському Павлу Анатолійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності використання садового  
підживлювача з розробкою ін'єкційного пристрою

Керівник роботи Мартинюк Вікторія Валентинівна, доктор філософії, асистент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» 01 2024 року № 4/7-62

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2024

3. Вихідні дані до роботи

*Агротехнічні вимоги до підживлювача; вага рамки вантажів пристосіблення – 200Н;  
вага кронштейна голчастого колеса – 110 Н; вага двох вантажів – 220 Н; матеріал голки –  
сталь 35; сила пружини при максимальній деформації – 2940 Н; циліндр навіски Ц 100.*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз відомих технологій дискретного підживлення рослин.

2. Рекомендації з підвищення ефективності роботи підживлювача.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

*Мета і завдання дослідження; підживлювач садовий. СК; Колесо голчасте. СК;*

*Рама. СК; розрахункові схеми. Загальні висновки.*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз відомих технологій дискретного підживлення рослин	05.05.24	
2.	Рекомендації з підвищення ефективності роботи підживлювача	19.05.24	
3.	Проектна частина	5.06.24	
4.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	16.06.24	
5.	Загальні висновки	18.06.24	
6.	Графічна частина	22.06.24	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Завінський П. А.** \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Мартинюк В.В.** \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## Реферат

*Мета і завдання дослідження* – провести удосконалення підживлювача садового при удосконаленні ін'єкційного пристрою для внесення рідких добрив.

Мета досягається шляхом модернізації пристосування для внесення рідких добрив при розробці ін'єкційного робочого органу.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

проведено аналіз відомих технологій дискретного підживлення рослин;

описано способи і засоби регулювання підживлювача;

визначено глибину ходу голчастого колеса пристосування;

визначено глибину ходу голчастого колеса;

визначено максимальне навантаження на робочий орган при базовій конструкції машини;

розраховано на міцність для складових запропонованого пристосування;

визначено навантаження на голкасте колесо при виконанні конструкції з довантажувачами.

*Об'єктом дослідження* – технологічний процес підживлення у садах.

*Предмет дослідження* – ін'єкційний пристрій для дискретного внесення рідких мінеральних добрив.

*Практичне значення* – проведене удосконалення підживлювача у садах дозволяє ефективно здійснити підкореневе підживлення рослин без шкоди ґрунту.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, використаної літератури та додатків.

*Ключові слова.* технологічний процес підживлення, ін'єкційний пристрій, голкасте колесо, дискретне підживлення, рідкі мінеральні добрива.

## Зміст

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСКРЕТНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ РОСЛИН .....	6
1.1 Необхідність та способи підживлення рослин .....	6
1.2 Особливості підживлення рослин у садах .....	7
1.3 Обґрунтування доцільності підкореневого дискретного підживлення рослин .....	9
1.4 Будова і основні характеристики базової конструкції підживлювача .....	13
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПІДЖИВЛЮВАЧА.....	19
2.1 Способи і засоби регулювання підживлювача .....	19
2.2 Підготовка до роботи підживлювача .....	21
2.3 Встановлення та налаштування параметрів підживлювача .....	25
2.4 Визначення глибини ходу голчастого колеса пристосіблення.....	29
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	32
3.1 Розрахунок навантаження робочого органу .....	32
3.2 Максимальне навантаження на робочий орган при базовій конструкції машини .....	35
3.3 Розрахунки на міцність для складових запропонованого пристосіблення... 36	36
3.4 Визначення навантажень на голкасте колесо при виконанні конструкції з довантажувачами .....	38
3.5 Визначення можливості довантаження пристосіблення гідроциліндром навіски .....	45
3.6 Розрахунок на міцність голки голчастого колеса.....	46
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	55
4.1 Основні небезпеки, що виникають при роботі підживлювача рослин.....	55
4.2 Охорона праці при підживленні рослин .....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	64

## ВСТУП

Ерозія ґрунтів є серйозною проблемою у сільському господарстві і може виникати з різних причин, пов'язаних з сільськогосподарською діяльністю.

Основними проблемами, що спричиняються до виникнення ерозійних процесів в цьому контексті можна виділити наступні.

Обробка ґрунту з використання полицевих плугів за способом перевертання скиби. Вирубка лісів і знищення природного рослинного покриву. Це позбавляє ґрунт природного захисту від ерозії. Рослини біля полів та доріг можуть функціонувати як бар'єри проти водної ерозії. Вирощування тільки одного виду рослин може зменшувати біорізноманіття та підвищувати ризик ерозії. Рослини з короткими коріннями не можуть ефективно утримувати ґрунт на місці, що підвищує ризик ерозії. Надмірне використання хімічних добрив і пестицидів – це може впливати на структуру ґрунту та робити його більш уразливим до ерозії.

Для запобігання ерозії ґрунту в сільському господарстві необхідно використовувати сталі сільськогосподарські практики, такі як консерваційне сільське господарство, зберігання рослинного покриву, насаджувати бар'єри для зменшення водної та вітрової ерозії, а також відновлення екосистем та біорізноманітності.

Особлива роль приділяється вирощуванню покривних культур, що можуть захищати ґрунт від ерозії та покращувати його структуру.

Тому особливо актуальним залишається використання таких технік землеробства при яких виконання технологічних операцій при догляді за рослинами мінімально б впливали на покривні частин ґрунту, при цьому функціонально операцію можна було б реалізувати [27, 28]. Серед зазначених операцій віднесемо підживлення рослин, особливо у садах. Тут потрібно прагнути до цільового внесення добрив на задану глибину, не руйнуючи покривного шару.

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСКРЕТНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

## 1.1 Необхідність та способи підживлення рослин

Підживлення рослин є важливим аспектом садівництва, сільського господарства та ландшафтного дизайну. Забезпечення адекватного харчування рослин сприяє їх здоров'ю, зростанню та репродуктивній здатності. Цей процес включає внесення хімічних або органічних матеріалів у ґрунт чи безпосередньо на рослини для забезпечення необхідних поживних речовин, які можуть бути обмежені у природних умовах.

Рослини потребують різних поживних речовин, які можна класифікувати на макро- та мікроелементи. Макроелементи включають азот (N), фосфор (P), калій (K), кальцій (Ca), магній (Mg) і сірку (S), які необхідні у великих кількостях. Мікроелементи, такі як залізо (Fe), марганець (Mn), мідь (Cu), цинк (Zn), бор (B), молібден (Mo) та хлор (Cl), потрібні рослинам у набагато менших кількостях, але є життєво важливими для розвитку та функціонування рослин.

Рослини можуть відчувати дефіцит поживних речовин внаслідок багатьох факторів, включаючи:

- Неправильне або недостатнє добриво.
- Надмірне використання ґрунту, що виснажує поживні речовини.
- Низька родючість ґрунту.
- Високий рівень рН ґрунту, що перешкоджає засвоєнню певних елементів.
- Надмірне зрошення, що може вимивати поживні речовини з ґрунту.

Підживлення рослин може бути здійснене різними методами, включаючи:

- **Ґрунтове добриво:** Внесення добрив безпосередньо в ґрунт. Це може бути зроблено під час посадки або на вже вирощені рослини.

- **Листове підживлення:** Розпилення поживних речовин безпосередньо на листя рослин. Цей метод дозволяє швидко виправити дефіцити і забезпечити поживні речовини там, де вони найбільш потрібні.

- **Органічні добрива:** Використання компосту, гною, кісткового борошна, інших органічних матеріалів. Органічні добрива не тільки забезпечують поживні речовини, але й покращують структуру ґрунту, її водопроникність та водозбереження.

- **Інтегроване управління поживними речовинами:** Комбінація різних методів добрив для досягнення оптимального рівня поживних речовин в ґрунті, що враховує екологічні, економічні та соціальні аспекти.

Зростаюча увага до екологічних питань вимагає більш сталого підходу до підживлення рослин. Неправильне використання добрив може призвести до забруднення водних шляхів, ущільнення ґрунту та втрати біорізноманіття. Важливо вибирати методи і матеріали для підживлення, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема, використовувати органічні та малоімпактні добрива.

Ефективне підживлення рослин є ключем до підтримки їх здоров'я і продуктивності. Вибір правильного типу та методу підживлення може значно вплинути на успіх у садівництві та сільському господарстві, а також на збереження екологічної рівноваги.

## **1.2 Особливості підживлення рослин у садах**

Підживлення рослин у садах має свої особливості, що відрізняються від звичайного агрономічного підходу, який використовується в сільському господарстві або комерційному виробництві. Ці особливості базуються на потребах різноманітних видів рослин, які можуть бути висаджені в одному



саду, а також на необхідності створення естетично привабливого та екологічно збалансованого простору.

Сади часто включають широкий спектр рослин — від дерев та кущів до однорічних та багаторічних квітів. Кожен вид має свої специфічні вимоги до поживних речовин, які потрібно враховувати при плануванні підживлення:

- **Дерева** потребують менш частого, але глибокого внесення добрив, оскільки їх коренева система проникає глибоко в ґрунт.
- **Кущі** можуть потребувати більш регулярного підживлення, особливо якщо вони вирощуються заради квітів або плодів.
- **Квіти і трави**, як правило, вимагають більш високих доз поживних речовин під час вегетаційного періоду для підтримки інтенсивного зростання та цвітіння.

Підживлення у саду має враховувати не тільки потреби рослин, але й вплив на місцеву екосистему:

- Використання органічних добрив, таких як компост або кісткове борошно, не тільки забезпечує рослини поживними речовинами, але й покращує структуру ґрунту, збільшує її біорізноманітність та сприяє здоров'ю ґрунтових мікроорганізмів.
- Обмежене або цілеспрямоване використання хімічних добрив зменшує ризик забруднення ґрунтових вод та водойм.

Оптимальний час для підживлення рослин у саду залежить від їхнього вегетаційного циклу та кліматичних умов:

- Весняне підживлення сприяє швидкому зростанню і розвитку рослин, особливо після зимового періоду.
- Літнє підживлення може бути необхідним для підтримки плодоносних рослин і квітів.
- Осіннє підживлення допомагає рослинам підготуватися до зими, зміцнюючи їх кореневу систему.

Кожен сад є унікальним, і тому важливо адаптувати підживлення до конкретних умов ґрунту, клімату, а також до видового складу рослин.

Регулярне тестування ґрунту може допомогти визначити дефіцит певних поживних речовин і скоригувати підживлення відповідно до потреб рослин.

Таким чином, грамотне та уважне підживлення в саду не тільки сприятиме здоров'ю та красі рослин, але й допоможе підтримувати природний екологічний баланс і біорізноманіття.

### **1.3 Обґрунтування доцільності підкореневого дискретного підживлення рослин**

Підкореневе (ін'єкційне) дискретне підживлення рослин – це метод підживлення рослин, при якому добриво або мінеральні речовини наносяться безпосередньо в зону коренів рослини. Цей підхід дозволяє ефективно живити рослини, забезпечуючи їхні потреби у необхідних макро– і мікроелементах. Основні переваги підкореневого дискретного підживлення включають.

Добрива потрапляють безпосередньо до коренів рослини, що дозволяє їй забезпечити оптимальний доступ до необхідних поживних речовин.

Порівняно з іншими методами підживлення, такими як фоліарне (обробка листя) або систематичне (додавання добрив у ґрунт), підкореневе дискретне підживлення зазвичай потребує менше ресурсів, таких як вода та добрива, для досягнення бажаних результатів.

Цей метод дозволяє уникнути втрат добрив через випаровування або стікання, що може статися при інших способах підживлення.

Використовуючи підкореневе дискретне підживлення, сільськогосподарські виробники можуть краще контролювати кількість та склад добрив, які надходять до рослин.

Для підкореневого дискретного підживлення рослин можна використовувати спеціальні добрива або рідини, які наносяться в невеликій кількості безпосередньо біля коренів рослин. Цей метод допомагає забезпечити

рослинам необхідні поживні речовини та мінімізувати втрати, що сприяє покращенню їхнього росту та врожайності.

Щоб досягти максимальної користі від підкореневого дискретного підживлення, важливо дотримуватися правильної послідовності та розкладу таких підживлень. Рослини мають різні потреби в поживних речовинах на різних стадіях росту, тому важливо адаптувати підживлення до цих потреб.

Слід регулярно відстежувати стан рослин і їх відгук на підживлення. Якщо виникають ознаки недостатності або перевищення добрив, слід вжити відповідних заходів для корекції. Контроль за рівнем рН та інших параметрів ґрунту також є важливим.

У сучасному сільському господарстві часто використовуються технологічні рішення, такі як автоматизовані системи підживлення, щоб точно дозувати та контролювати подачу добрив.

Потрібно бути обережними щодо використання хімічних добрив та дотримувати екологічно-безпечних методів підкореневого дискретного підживлення, щоб уникнути забруднення навколишнього середовища та зберегти якість ґрунту.

Таким чином, ефективне підживлення рослин вимагає врахування конкретних потреб культурних рослин, місцевих ґрунтових умов та клімату. Тому ретельне планування та адаптація методу підкореневого дискретного підживлення є ключем до успішного вирощування рослин та досягнення високих врожаїв.

Крім того, як було відзначено у вступі, що одним із способів уникнення ерозії ґрунту, зокрема водної, є збереження покривної рослинності. Особливо гострою є така проблема постає, коли підживлення потрібно внести на відносно велику глибину. Такі проблеми виникають при підживленні кущових рослин та садів. Робочий препарат потрібно «відтранспортувати» на задану глибину для оптимального живлення рослини. Причому, дискретність внесення передбачає підживлення тільки необхідної зони живлення рослини, а не всієї умовної лінії ряду з певним кроком.

Для реалізації такої технологічної операції промисловістю випускається ряд машин-аналогів. Розглянемо деякі з них, рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Підживлювачі ПП «Агрореммаш–Плюс» [37]

Вони комплектуються баками різної ємності, відповідної ширини захвату, внесення рідких добрив здійснюється на глибину 6–8 см.

Інша система для внесення рідких добрив – Precision Planting FurrowJet [6], рис. 1.2.

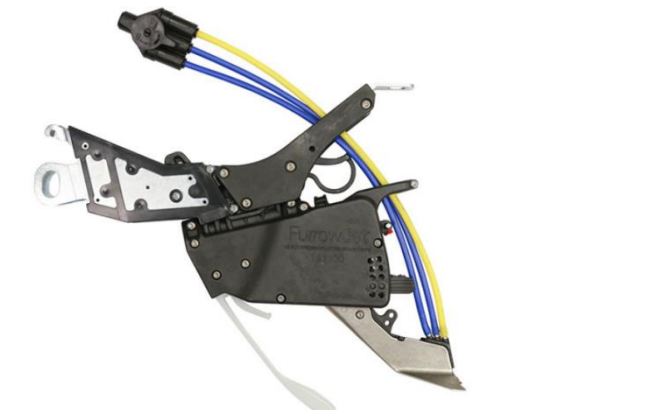


Рисунок 1.2 – Система для внесення добрив Precision Planting FurrowJet

Дане пристосування використовується на сівалка, що дозволяє одночасно з посівом вносити у зону живлення рослин необхідні компоненти рідкого добрива.

Для садів і виноградників на даний час використовують, наприклад підживлювачі турецької компанії Дондер [39], рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Підживлювачі для садів фірми Дондер

Для однорядного підживлювача максимальна глибина внесення добрив складає до 180 мм (рис. 3 а), для двохрядного – до 230 мм (рис. 1.3 б).

Крім того, лапа-долото прорізає суцільну борозенку і є велика ймовірність пошкодження кореневої системи рослин – це з одного боку, а з іншого – перевантаження самого робочого органу. Причому, і саме добриво вноситься не дискретно.

Але, разом з тим, всі наведені приклади об'єднує ще й те, що такі робочі органи не мають можливості вносити на більші глибини (300–350 мм) добрива і їх неможна використовувати для глибокого внесення у садах.

Тому актуальним є розробка спеціального робочого органу, який би задовольнив ці умови, крім того, тут до уваги береться висока твердість ґрунту як умова проникнення робочого органу на задану глибину.

Для вирішення такої проблеми пропонується розробити пристосування– підживлювач в основі якого буде голчасте колесо, що проникає у ґрунт на задану глибину, через спеціальні трубки у заданий момент під тиском подається рідина, потоком якої буде керувати датчик з виконавчим механізмом у вигляді електромагнітного відсікаючого клапана.

#### **1.4 Будова і основні характеристики базової конструкції підживлювача**

Підживлювач садовий МГУС-2,5 розроблений спеціально для внесення двох- та трьохкомпонентних мінеральних добрив у садові насадження. Цей агрегат ефективно застосовується у різних зонах промислового садівництва по всій країні, крім гірських районів, де його використання може бути обмеженим через складність території.

Машина сумісна з тракторами МТЗ-80/82 та Т-70В, що дозволяє їй ефективно інтегруватися в існуючі аграрні технологічні лінії. Її конструкція оптимізована для забезпечення рівномірного та точного розподілу добрив, що сприяє кращому зростанню рослин і підвищенню урожайності.

Цей підживлювач садовий відрізняється високою продуктивністю та ефективністю, призначений для інтенсивного використання в промислових садах. Він має причіпний тип, що дозволяє легко агрегувати його з різними тракторами для проведення сільськогосподарських операцій. Основні показники цієї машини включають:

- **Продуктивність:** Машина може обробляти від 2,0 до 4,0 гектарів за одну годину основного часу, що забезпечує високу ефективність роботи на великих площах.
- **Робоча швидкість:** Швидкість виконання основних операцій коливається від 2,5 до 5 км/год, дозволяючи оптимізувати час та якість обробки садів.
- **Ширина захвату:** Робоча ширина агрегату варіюється від 4,0 до 8,0 метрів, що робить його ідеальним для використання у різноманітних агротехнічних умовах.
- **Ємкість баку:** Має великий бак об'ємом не менше 2000 літрів, що мінімізує необхідність частих дозаправок під час роботи.
- **Норма витрати робочої рідини:** Від 300 до 1500 літрів на гектар, дозволяє точно дозувати внесення рідинних добрив в залежності від потреб насаджень.

- **Транспортна швидкість:** До 15 км/год, спрощуючи переміщення між полями або ділянками.
- **Кількість персоналу:** Для ефективного використання машини достатньо однієї особи, що знижує витрати на заробітну плату.
- **Глибина внесення добрив:** Відрізняється залежно від типу саду, варіюючи від 15 до 40 см у оброблених міжряддях та від 15 до 30 см у залужених садах.
- **Маса та габаритні розміри:** Маса машини коливається від 2350 кг до 5150 кг залежно від комплектації, що надає їй стабільність під час роботи. Габарити в робочому положенні досягають 7200 мм у довжину, 6500 мм у ширину та 1900 мм у висоту, що робить її досить габаритною для обробки великих територій.

Садовий підживлювач МГУС-2,5 вирізняється високою надійністю та тривалим терміном служби (не менше 5 років), а також низькими витратами на технічне обслуговування, що робить його вигідним вибором для великих господарств і агрокомплексів.

Садовий підживлювач МГУС-2,5 відзначається не тільки ефективністю у внесенні добрив, але й оптимізацією витрат на технічне обслуговування та транспортабельністю.

Машина має високий коефіцієнт готовності 0,952 з урахуванням оперативного часу та 0,95 з урахуванням організаційного часу, що гарантує її надійність та готовність до використання майже без затримок.

Машина має розміри 7200 мм в довжину, 4000 мм в ширину та 1900 мм у висоту, що робить її зручною для транспортування між локаціями без необхідності демонтажу основних компонентів.

Значення кута стійкості 33 градуси забезпечує добру стабільність машини під час роботи на схилах або нерівній місцевості, що є критично важливим для безпечного внесення добрив.

Використовується відцентровий насос з напором  $0,6 \pm 0,05$  МПа та подачею не менше 400 л/хв, що забезпечує ефективну та рівномірну подачу робочої рідини через систему.

Циліндричний редуктор гарантує надійне та стабільне передавання крутного моменту від трактора до робочих органів машини.

Загалом, садовий підживлювач МГУС-2,5 розроблений з урахуванням потреб високої продуктивності, економічності, безпеки та легкості в експлуатації для сучасного садівництва. Це забезпечує йому широке застосування в різноманітних умовах та на різних типах територій.



Рисунок 1.3 – Машина для глибокого внесення рідких мінеральних добрив в садах МГУС – 2,5

Підживлювач садовий, розроблений для ефективного внесення рідких мінеральних добрив, є складним механізмом, який включає кілька ключових компонентів, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні правильної функціональності установки. Основні складові цього агрегату включають:

1. **Шасі** – становить основу підживлювача і забезпечує необхідну стабільність та мобільність на різних типах місцевості.



2. **Бак** – великої ємності бак призначений для зберігання рідких мінеральних добрив, що дозволяє проводити обробку великих площ без необхідності частих дозаправок.

3. **Насосний агрегат** – серце системи, відцентровий насос ефективно переміщує добрива з баку через систему для точного внесення в ґрунт.

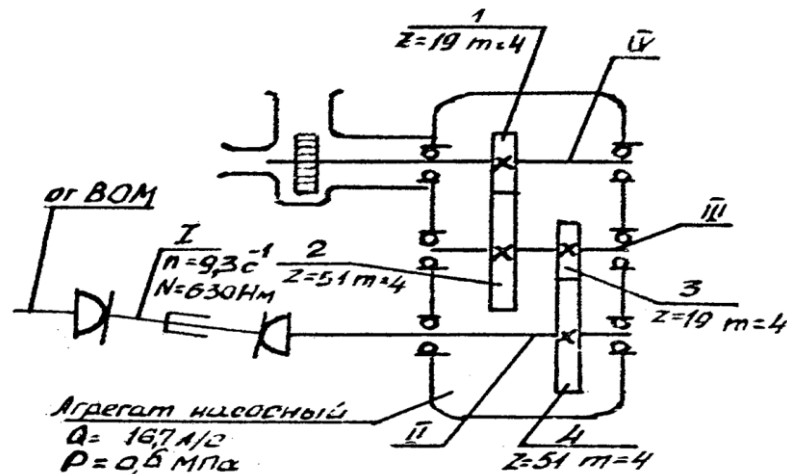
4. **Регулятор тиску** – контролює і стабілізує тиск у системі, забезпечуючи рівномірне та ефективно розподілення добрив.

5. **Шарові крани** – використовуються для контролю потоку добрив в різних частинах системи, дозволяючи адаптувати машину до специфічних умов роботи.

6. **Приспосіблення для глибокого внесення добрив:** Цей робочий орган спеціально розроблений для внесення добрив на необхідну глибину в садах, що забезпечує оптимальне харчування коренів рослин.

7. **Рукав заправочний:** Використовується для заправки машини добривами, забезпечуючи зручність та швидкість підготовки до роботи.

Більшість основних компонентів підживлювача уніфіковані з аналогічними частинами інших моделей підживлювачів, що спрощує сервісне обслуговування та ремонт. Передача обертів на робоче колесо відцентрового насоса відбувається через вали карданної передачі та зубчасті колеса, що забезпечує надійну та стабільну роботу насоса. Ця система передачі з'єднана з валом відбору потужності трактора, що дозволяє використовувати потужність трактора для приводу насоса, забезпечуючи високу продуктивність та ефективність підживлення, рис. 1.4.



I – вал карданної передачі; II, III, IV – вали редуктора насосного агрегату;  
1, 3 – шестерня  $z = 19$ ; 2, 4 – шестерня  $z = 51$

Рисунок 1.4 – Схема кінематична

Насос, позначений на рисунку 1.3 як "Н", відіграє ключову роль у процесі роботи підживлювача, забезпечуючи ефективне переміщення робочої рідини з бака до робочого органу. Процес відбувається наступним чином:

Насос засмоктує рідину з бака, позначеного як "Б". Це відбувається при відкритому крані "К1", який контролює потік рідини з бака до насоса.

Після насосу рідина спрямовується на регулятор тиску, позначений як "А1". Регулятор тиску відіграє важливу роль, адже він стабілізує тиск рідини, що забезпечує рівномірне та точне дозування добрив.

Від регулятора тиску рідина може спрямовуватися у два напрямки. При відкритому крані "К2" частина рідини направляється до робочого органу, який безпосередньо вносить добрива в ґрунт. Інша частина рідини може повертатися назад у бак через систему переливу, що дозволяє уникнути переповнення системи та забезпечує циркуляцію рідини.

Коли вал відбору потужності трактора (ВВП) зупиняється, автоматично активується система індивідуальної відсічки, яка перекриває подачу робочої рідини до робочого органу. Ця система встановлена на кожному голчатому колесі, гарантуючи, що внесення добрив припиняється одразу після зупинки механізму, що підвищує безпеку та ефективність роботи.

Цей механізм насосу та регулювання потоку робочої рідини є фундаментальним для точного та ефективного внесення мінеральних добрив у садах, забезпечуючи оптимальне живлення рослин та збереження ресурсів.

Заправка садового підживлювача спеціально розробленими підвізними заправочними засобами є ключовим аспектом його експлуатації, оскільки дозволяє ефективно та безпечно поповнювати запас робочої рідини. Заправка виконується через інноваційний пристрій, вмонтований у кришку горловини бака. Цей механізм унікальний тим, що дозволяє здійснювати заправку без необхідності відкривання кришки, що мінімізує ризики витоку чи забруднення добрива.

Самозаправка підживлювача реалізується за допомогою власного насоса, який використовує заправочний рукав. Цей рукав легко під'єднується до всмоктувальної комунікації через спеціальний кран (КЗ). Під час процедури заправки важливо, щоб кран (К1), який контролює потік рідини в систему, був закритим, щоб уникнути втрати добрив та забезпечити безпечне підключення.

Крім того, садовий підживлювач оснащений гідравлічною системою високого тиску, яка відіграє важливу роль у дистанційному керуванні різними функціями машини. Система дозволяє не тільки включати та виключати подачу робочої рідини через гідроциліндр регулятора тиску, але й управляти підйомом та опусканням пристосування, яке кріпиться на навісній системі. Це надає оператору поліпшені можливості управління та адаптивність до різних умов роботи, значно підвищуючи продуктивність та ефективність застосування підживлювача у саду.

## **2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПІДЖИВЛЮВАЧА**

### **2.1 Способи і засоби регулювання підживлювача**

Система управління та регулювання садового підживлювача передбачає кілька ключових методів, що дозволяють оптимізувати його роботу та адаптувати до специфічних умов роботи в полі. Ці методи включають.

Крутний момент від трактора до насосного пристрою підживлювача регулюється прямо з кабіни трактора. Це здійснюється за допомогою ручки включення валу відбору потужності (ВВП) трактора, що забезпечує зручне та ефективне управління без потреби залишати кабіну.

Норма виливу робочого розчину налаштовується шляхом встановлення втулки торцевого ущільнення в задане положення та вибору відповідного тиску. Це дозволяє точно дозувати кількість добрив, що вносяться, залежно від потреб культур, які обробляються.

Робочий тиск регулюється за допомогою регулятора тиску, що гарантує стабільне та рівномірне подання добрив, оптимізуючи їх вплив на рослини.

Гідроциліндри, які використовуються для регулювання тиску та механізму навішування, управляються з кабіни трактора за допомогою рукояток гідророзподільника. Це дає можливість оператору швидко реагувати на зміни в робочих умовах.

Гальма коліс підживлювача, які синхронізовані з гальмами трактора, керуються з кабіни за допомогою педалі гальма трактора. Це забезпечує безпеку під час переміщення обладнання по полях.

Осьовий зазор в конічних підшипниках ходових коліс регулюється періодично, один раз за сезон. Це здійснюється шляхом затягування або ослаблення кріплення підшипників, забезпечуючи оптимальну працездатність та довговічність обладнання.

Для забезпечення ефективної роботи та тривалого терміну служби садового підживлювача використовуються різні методи та системи контролю і регулювання, що забезпечують точний моніторинг ключових параметрів роботи.

Контроль кількості робочої рідини.

Для контролю рівня робочої рідини в баку підживлювача використовується рівнемір. Це дозволяє оператору оперативно перевіряти наявність достатньої кількості добрив у баку без необхідності відкривати його, що мінімізує ризик забруднення або витоку.

Контроль робочого тиску.

Робочий тиск у нагнітальній комунікації контролюється за допомогою манометра. Це забезпечує точне регулювання тиску, необхідного для рівномірного розподілу добрив, і дозволяє вчасно виявляти будь-які відхилення від норми.

Контроль рівня масла в редукторі.

Візуальний контроль: Рівень масла в корпусі редуктора насосної установки контролюється візуально. Він має бути не нижче відмітки на щупі, що забезпечує належне змащування та запобігає зносу механічних компонентів.

Контроль тиску в шинах.

Тиск у шинах коліс підживлювача перевіряється за допомогою шинного манометра, який додається до трактора. Правильний тиск у шинах забезпечує оптимальну прохідність і знижує знос шин.

Контроль тиску в гальмівній системі.

Контроль тиску в гальмівній системі підживлювача здійснюється за показами манометра гальмівної системи трактора. Це важливо для безпечної експлуатації машини, особливо при роботі на схилах або нерівній місцевості.

Ці системи контролю та регулювання дозволяють забезпечити стабільну та безпечну роботу підживлювача, оптимізуючи процес внесення добрив та мінімізуючи ризики поломок і аварійних ситуацій.

## 2.2 Підготовка до роботи підживлювача

Перед введенням в експлуатацію підживлювача необхідно виконати наступні операції:

1. Встановити манометр на переднє днище бака. З'єднати демпферний пристрій з манометром за допомогою рукава. Перевірити наявність мастила в порожнині демпферного пристрою і при необхідності долити його згідно зі схемою мащення. Використати комплект монтажних частин, який включає манометр, рукав, пружину, камеру віхреву, шайбу та кільце.

2. Встановити бачок для миття рук на передній стінці бака за допомогою фланця. Використати спеціально приварені гайки, які співпадають з отворами бачка, і прикріпити його болтами М8×20 та шайбами з комплекту інструменту та обладнань.

3. Закріпити ліхтарі та приєднати до них джгути, просунувши їх через кришку. Це забезпечує правильне підключення електропроводки для роботи освітлювальної системи підживлювача.

4. У разі необхідності самозаправки робочою рідиною під'єднати до садового підживлювача заправочний рукав. Це дозволяє швидко та ефективно заповнити бак підживлювача без додаткових зусиль.

5. З'єднати шарнір карданної передачі з шліцевим валом редуктора насосного агрегату (рис. 2.2). Закріпити кожух карданної передачі на рамці кріплення редуктора за допомогою болтів. З'єднати пружину з ланцюгом ручки і кожухом кардана. Встановити карданну передачу в транспортне положення. Це забезпечує безпечне та надійне з'єднання, що дозволяє підживлювачу ефективно працювати у польових умовах.

### Монтаж пристосування

1. Висунути з навіски труби, одночасно переставивши кронштейни відповідно до малюнка.

2. Закріпити гідроциліндри одним кінцем на навісці за допомогою втулок, осей, шайб і шплінтів. Інший кінець гідроциліндра закріпити на кронштейні труби за допомогою втулок, осей, шайб і шплінтів.

3. Встановити робочі секції на трубу за допомогою скоб і гайок.

4. На робочі секції встановити голчасті колеса, попередньо відпустивши гайки на колесах. Після встановлення коліс загвинтити гайки для надійного закріплення.

5. В отворі кронштейна голчастого колеса встановити шайбу, пружину та відсічку. Це забезпечує належне функціонування колеса і його стійкість під час роботи.

6. Під'єднати стійку до труби за допомогою скоби та гайки. Це забезпечить надійне кріплення стійки до труби.

7. В отворі стійки встановити палець, закріпити його. Це важливий крок для забезпечення стійкості і правильного функціонування стійки.

8. Встановити направляючу в отворі пальця. Надягнути направляючу на направляючу, встановивши пружину. З'єднати цю конструкцію штоком і гайкою. Це забезпечить належне функціонування механізму направлення.

9. Встановити упори на навісці, закріпивши їх болтом, гайкою і шайбою. Упори допомагають стабілізувати пристосування під час роботи.

10. Змонтувати рукава на упорах, використовуючи скоби, болти і гайки. Кінець рукава під'єднати до відсічки. Це забезпечить правильний потік рідини в системі.

11. З'єднати рукавом трійник рукава з трубопроводом в баку, попередньо знявши заглушку. Це завершальний етап монтажу, який забезпечує готовність системи до роботи.

12. З'єднати рукавом різьбовий трійник рукава, попередньо знявши заглушку з відсічки голчастого колеса. Закріпити рукав на робочій секції за допомогою хомута, болта і шайби. Між рукавом та відсічкою встановити прокладку для забезпечення герметичності з'єднання.

13. Встановити два маслопроводи на навісці за допомогою скоб, гайок і шайб. Це забезпечить надійне кріплення маслопроводів до конструкції.

14. З'єднати маслопроводи з маслопроводами на садовому підживлювачі за допомогою рукавів. Це дозволить створити безперервний потік масла в системі.

15. З'єднати гідроциліндри з маслопроводами за допомогою рукавів. Це забезпечить правильне функціонування гідравлічної системи.

16. Під'єднати тяги до спеціальних кронштейнів на рамі підживлювача за допомогою осей, шайб і шплінтів. Це важливий крок для забезпечення стабільності і надійності конструкції.

17. Під'єднати стяжки до кронштейнів труби за допомогою осі, шайби і шплінта. Це забезпечить додаткову підтримку і стабільність трубною системи.

18. З'єднати тяги зі стяжками за допомогою гайки. Це завершальний етап, який гарантує належну роботу всієї системи в цілому.

19. Приєднати скоби до двох крайніх робочих секцій. На ці скоби встановити додаткові скоби. До встановлених скоб приєднати катафоти за допомогою гвинтів, гайок та шайб. Це забезпечить видимість робочих секцій у темний час доби.

20. Закрити робочі секції кожухами за допомогою кронштейнів, болтів, гайок та шайб. Це захистить робочі частини від пошкоджень та забруднень під час роботи.

### **Під'єднання підживлювача до трактора**

1. Виконати зчіпку садового підживлювача з трактором. Цю операцію повинні виконувати тракторист та допоміжний робочий для забезпечення безпеки та точності.

2. Виконати зчіпку садового підживлювача з трактором МТЗ-80/82, використовуючи гідрофікований гак. Це забезпечить надійне та стабільне з'єднання.



3. Виконати зчіпку підживлювача з трактором Т-70В, використовуючи причіпну вилку. Це спеціально розроблене з'єднання для цього типу трактора.
4. Переобладнати причіпний пристрій трактора для роботи з причіпними машинами. Це включає налаштування і підготовку трактора до безпечного і ефективного з'єднання з підживлювачем.
5. Встановити довжину розкосів задньої навіски трактора на 515 мм. Це оптимальна довжина для забезпечення стабільності та належного функціонування під час роботи.
6. Закріпити причіпну вилку на поперечині причіпного пристрою трактора двома штирями. Це забезпечить міцне і безпечне з'єднання між трактором і підживлювачем.
7. Заборонено працювати при закріпленні вилки лише одним штирем. Недотримання цього правила може призвести до небезпечних ситуацій і пошкоджень обладнання.
8. Встановити висоту причіпного пристрою від ґрунту на 350 мм. Це забезпечить оптимальну висоту для безпечного і ефективного з'єднання з підживлювачем.
9. Максимально наблизити рухомий упор основного циліндра до клапана гідромеханічного регулювання ходу поршня. Це виключить випадкові підйоми причіпного пристрою, які можуть спричинити поломку валу відбору потужності (ВВП) і карданної передачі.
10. Встановити рукоятку гідрозбільшувача зчіпної ваги трактора в положення "ЗАПЕРТО". Це запобіжить опусканню причіпного пристрою трактора, забезпечуючи стабільність під час роботи.
11. Заборонити використання гідросистеми навіски трактора під час роботи. Повністю заблокувати поздовжні тяги навіски трактора від поперечних переміщень, максимально натягнувши ланцюги. Це забезпечить фіксацію навісного обладнання та запобіжить його небажаним рухам.

## 2.3 Встановлення та налаштування параметрів підживлювача

Для ефективної роботи агрегату у складі трактора МТЗ-82 та підживлювача необхідно виконати ряд дій щодо їх підготовки до роботи.

1. Встановити тиск в шинах:

**Задні колеса трактора:**

Шини 9–42: 0,16 МПа (1,6 кгс/см<sup>2</sup>)

**Передні колеса трактора:**

Шини 15,5–38: 0,11 МПа (1,1 кгс/см<sup>2</sup>)

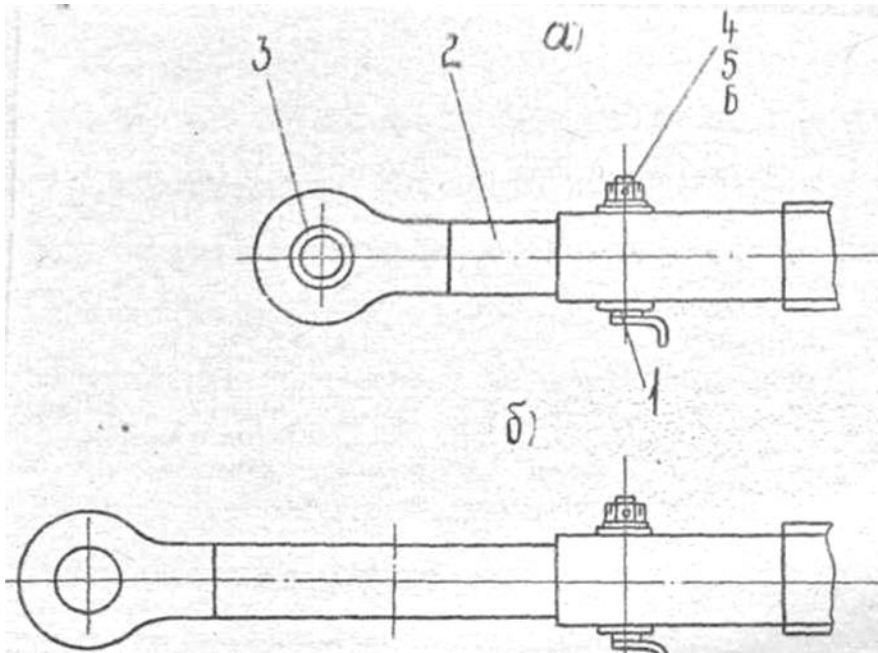
**Шини коліс підживлювача:** 0,15 МПа (1,5 кгс/см<sup>2</sup>)

2. Встановити оберти валу відбору потужності (ВВП) трактора на 540 об/хв (9,1 с<sup>-1</sup>).

3. Встановити причіпну сергу садового підживлювача в необхідне положення (рис. 1.25):

- **При агрегуванні з трактором МТЗ-80/82 на гідрогак:** причіпна серга підживлювача має бути висунута по ходу руху агрегату (рис. 2.1, б) і зафіксована за допомогою фіксатора.

- **При агрегуванні з трактором Т-70В на причіпну вилку:** причіпна серга підживлювача має бути максимально втягнута (рис. 2.1, а). В отвір серги встановити вставку з комплекту монтажних частин.



1 – фіксатор; 2 – серга; 3 – вставка; 4 – гайка; 5 – шайба; 6 – шплінт

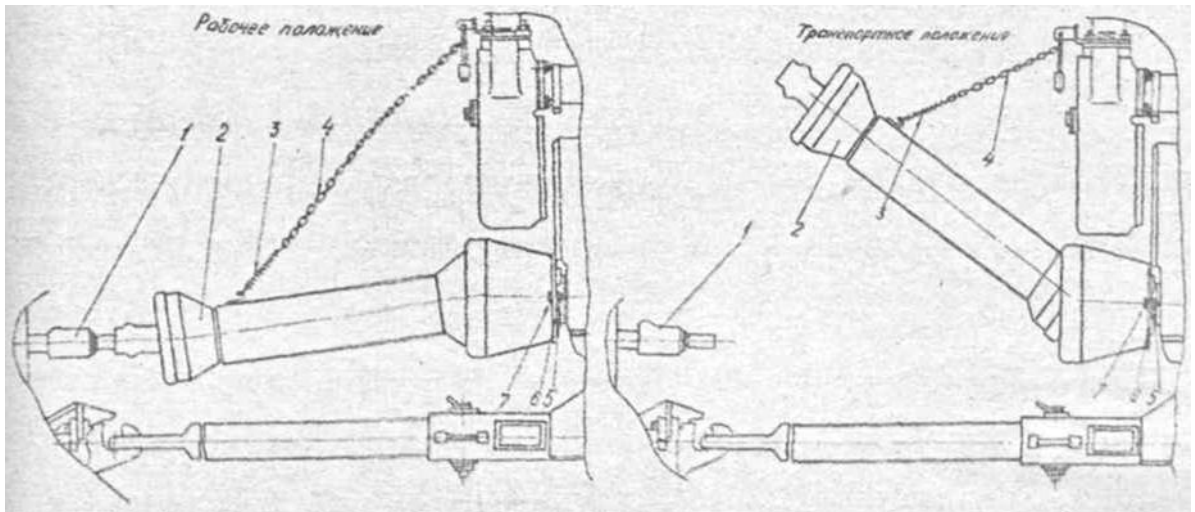
Рисунок 2.1 – Переобладнання причіпного пристрою підживлювача:

Під'єднати підживлювач до трактора, забезпечуючи правильне розташування та фіксацію зчеплення.

З'єднати карданну передачу з валом відбору потужності (ВВП) трактора:

- Попередньо підняти карданну передачу за допомогою ручки.
- Закріпити шарніри карданними болтами.
- Опустити ручку після закріплення.
- При далеких переїздах встановити карданну передачу в транспортне положення. Вилки шарнірів повинні бути розташовані в одній площині, щоб забезпечити правильну роботу карданної передачі.

З'єднати масляну магістраль рукавами високого тиску, які входять у комплекти трактора та підживлювача, згідно зі схемою. Заблокувати циліндр Ц100 планкою для забезпечення стабільності та безпеки під час роботи.



1 – подовжувач; 2 – карданна передача; 3 – пружина; 4 – ручка; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – болт

Рисунок 2.2 – Кріплення карданної передачі

6. З'єднати карданну передачу з валом відбору потужності (ВВП) трактора:

- Попередньо підняти карданну передачу за допомогою ручки.
- Закріпити шарніри карданними болтами.
- Опустити ручку після закріплення.
- При далеких переїздах встановити карданну передачу в транспортне положення. Вилки шарнірів повинні бути розташовані в одній площині, щоб забезпечити правильну роботу карданної передачі.

7. З'єднати масляну магістраль рукавами високого тиску, які входять у комплекти трактора та підживлювача, згідно зі схемою. Заблокувати циліндр Ц100 планкою для забезпечення стабільності та безпеки під час роботи.

8. Ослабити накидну гайку запірного пристрою, що підводить магістраль до штуцера гідروциліндра, позначеного літерою "П" (підйом). Це запобіжить потраплянню масла в гідроциліндр Ц100 у другій магістралі.

9. Підключити до трактора магістральний шланг гальмівної системи. Це забезпечить належне функціонування гальмівної системи під час роботи.

10. Закріпити страхувальний ланцюг для додаткової безпеки і запобігання випадковому від'єднанню підживлювача під час експлуатації.

11. Під'єднати штепсельну вилку електроустаткування підживлювача до штепсельної розетки трактора, яка розташована на задній панелі кабіни трактора. Це забезпечить живлення електричних компонентів підживлювача.

### **Випробування і обкатка підживлювача**

1. Перевірити, що підживлювач правильно причеплений та зібраний, всі шлангові і болтові з'єднання затягнуті. Це забезпечить безпечну і ефективну роботу.

2. Залити в корпус насоса 10 літрів води. Це необхідно для первинного змащування і охолодження насоса.

3. Через спеціальний клапан у заливній горловині бака, залити в бак підживлювача 200 літрів води. Це підготує систему до випробувань.

4. Перевірити роботу підживлювача без подачі рідини на робочі органи:

- Закрити крани K2, K3, K4.
- Відкрити кран K1.

5. Плавню ввімкнути вал відбору потужності (ВВП) на понижених обертах двигуна. Це дозволить уникнути різких навантажень на систему.

6. За допомогою ручки регулятора тиску встановити тиск 0,4 МПа (4 кгс/см<sup>2</sup>). Це забезпечить правильний робочий тиск для перевірки системи.

7. Провести обкатку підживлювача протягом 2 хвилин. Це дозволить перевірити роботу всіх компонентів і виявити можливі несправності.

8. Переключити ВВП трактора на повні оберти двигуна. Провести обкатку підживлювача протягом 3 хвилин.

9. Переключити подачу рідини на робочі органи:
- Відкрити крани K1 і K2.

- Закрити крани К3 і К4.
  - Провести обкатку підживлювача протягом 3 хвилин. Переконатися у відсутності підтікання рідини в з'єднаннях підживлювача.
10. Перевірити роботу підживлювача в режимі “Самозаправка”:
- Під'єднати заправочний рукав до трійника всмоктувальної комунікації, попередньо знявши кришку з трійника, відгвинтивши чотири болти.
  - Закрити шарові крани К1, К2 і К4.
  - Відкрити кран К3.
  - Залити в насос 10 літрів води.
11. Перемкнути регулятор тиску на повний перелив за допомогою рукоятки. Помістити заправочний рукав у ємність з водою.
12. Плавню ввімкнути ВВП трактора і поступово збільшити число обертів до номінальних. Заправити підживлювач, контролюючи рівень рідини за допомогою рівнеміра.
13. Вимкнути ВВП трактора. Повернути рукоятку регулятора тиску в початкове положення.
14. Закрити кран К3 і відкрити кран К1. Від'єднати заправочний рукав і встановити його в кронштейн. Закрити трійник кришкою.
- Ці дії забезпечать правильне проведення заправки і налаштування підживлювача, підготовлюючи його до ефективної роботи у польових умовах.

## **2.4 Визначення глибини ходу голчастого колеса приспосіблення**

Задача локальних досліджень полягає у вивченні питання можливості голчастого колеса заглиблятися при різних твердостях ґрунту та міцності самої конструкції такого колеса.

Підживлювач рослин виконаний у вигляді причепа, на шасі 1 якого змонтовано бак 2 з робочою рідиною. Насосною установкою 3, яка приводиться карданною передачею 4 від ВВП трактора, робоча рідина нагнітається до робочих органів у вигляді голчастих коліс 5, які на спеціальному приспособленні 6 встановлюються на задану ширину міжрядь.

Компоновочна схема машини має наступний вигляд, рис. 2.3.

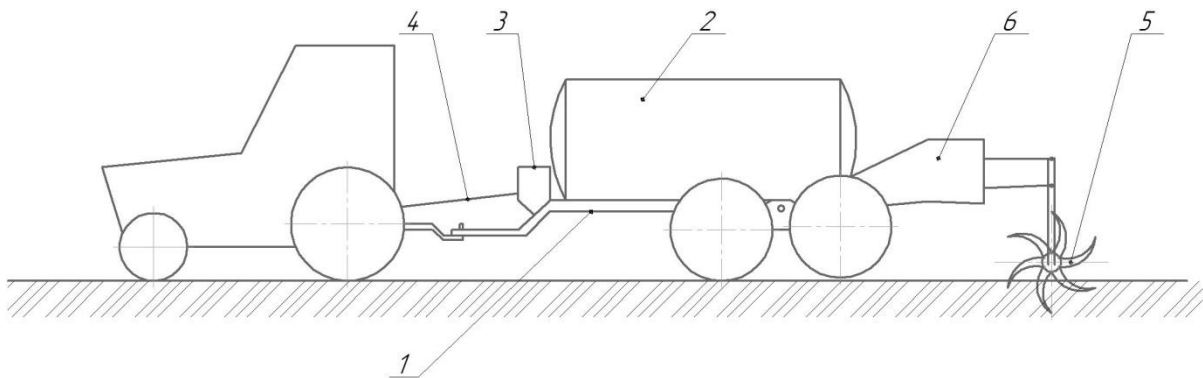


Рисунок 2.3 – Компоновочна схема машини

На першому етапі задача полягає у визначенні здатності голчастого колеса проникати у ґрунт на задану глибину.

За попередніми розрахунками було встановлено конструктивні параметри базової конструкції голчастого колеса, рис. 2.4.

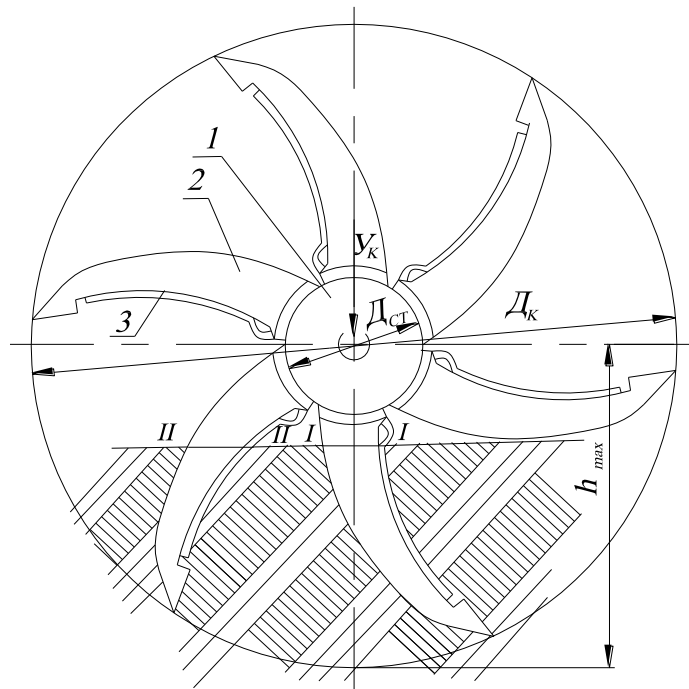
Тут маємо: діаметр голчастого колеса  $D_K = 976$  мм;

Діаметр маточини голчастого колеса  $D_{CT} = 210$  мм.

Максимально можлива глибина проникнення голок у ґрунт  $h_{\max}$ , мм обумовлена розмірами голчастого колеса й забезпечує нормальне виконання машиною технологічного процесу

$$h_{\max} = 0,5(D_K - D_{CT}) - \delta, \quad (2.1)$$

$\delta$  – необхідний мінімальний зазор між маточиною колеса і поверхнею ґрунту, приймаємо  $\delta = 30$  мм.



1 – маточина; 2 – голка; 3 – трубка для подачі добрива  
Рисунок 2.4 – Базова конструкція голчастого колеса

Тоді максимальна глибина проникнення голки у ґрунт

$$h_{\max} = 0,5(976 - 210) - 30 = 353 \text{ мм} .$$

Отримане значення є цілком задовільним для рослин із середньо-потужною кореневою системою (регламент – в межах 300–350 мм). Для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів виконаємо ряд послідовних досліджень.



### 3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок навантаження робочого органу

Необхідне вертикальне навантаження на голчасте колесо для забезпечення максимально можливої глибини ходу робочих органів  $h_{\max}$  визначаємо, керуючись наступними уявленнями:

при спусканні голчастих коліс із транспортного положення в робоче на максимальну глибину в ґрунт одночасно повинні ввійти принаймні дві голки (див. рис. 3.1);

при виконанні машиною технологічного процесу (у русі), входженню голок у ґрунт сприяє сила тяги трактора. Тому необхідне вертикальне навантаження на голчасте колесо повинне зменшитись на деяку величину, але воно не може бути менше величини, що необхідна для заглиблення на максимальну глибину однієї голки.

Отже, дійсне значення необхідного вертикального навантаження на голчасте колесо буде становити в межах сил, визначених для умов навантаження, приведенних вище.

Площі поперечних переріз I-I і II-II колеса на рівні ґрунту  $F_1$  і  $F_2$ , мм<sup>2</sup>, (див. рис. 2.4) при глибині ходу робочих органів  $h_{\max} = 353$  мм визначаються за залежностями

$$F_i = a_i \cdot (b_i + 0,5c_i), \quad (3.1)$$

де  $F_i$  – площа  $i$ -го перетину, мм<sup>2</sup>;

$a_i$  – товщина голки в розглянутому перетині (див. рис. 3.1), мм;

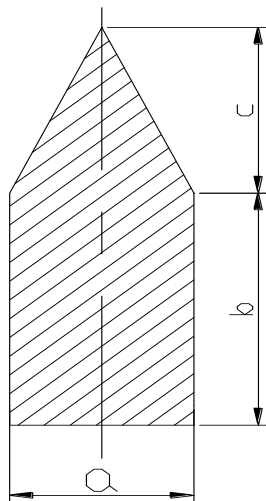


Рисунок 3.1 – Площа поперечного перетину голки у заданому перетині

$$a_1 = 19,5 \text{ мм}, \quad a_2 = 18 \text{ мм}.$$

$b_i, c_i$  – висоти прямокутної і трикутної частин  $i$ -го перетину, мм.

$$b_1 = 54 \text{ мм}, b_2 = 62 \text{ мм}, c_1 = 36 \text{ мм}, c_2 = 40 \text{ мм}.$$

Розрахункова форма перетинів I–I і II–II, показаних на рис. 2.4.

$$F_1 = 19.5 \cdot (54 + 0.5 \cdot 36) = 1400 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 18 \cdot (62 + 0.5 \cdot 40) = 1476 \text{ мм}^2.$$

Потрібне максимальне вертикальне навантаження на голчасте колесо для забезпечення заглиблення однієї голки на глибину  $h_{\max}$  визначаються за залежністю

$$Y_{KTP1} = q_{\max} \cdot F_1, \quad (3.2)$$

а для забезпечення заглиблення на ту ж глибину двох голок одночасно

$$Y_{KTP2} = q_{\max} \cdot (F_1 + F_2), \quad (3.3)$$

де  $Y_{KTP1}, Y_{KTP2}$  – необхідні навантаження на колесо, Н;

$q_{\max}$  – максимальна твердість ґрунту, обумовлена завданням на проектування, МПа.  $q_{\max} = 4,0 \text{ МПа}$ ;

$F_1, F_2$  – площі перетинів I–I і II–II голчастого колеса, мм<sup>2</sup>.

Тоді навантаження:

$$Y_{KTP1} = 4,0 \cdot 1400 = 5600 \text{ Н};$$

$$Y_{KTP2} = 4,0 \cdot (1400 + 1476) = 11500 \text{ Н}.$$

Необхідне вертикальне навантаження на голчасте колесо при максимальній твердості ґрунту, обумовлене завданням,  $Y_{KTP} = 5600 - 11500 \text{ Н}$ .

При зменшенні твердості ґрунту величини вертикальних сил також будуть менші. Вибрана твердість ґрунту зорієнтована на залужену поверхню саду.

Варто розглянути як буде змінюватися навантаження при зміні твердості ґрунту в межах від 2,5 МПа до 4,0 МПа, рис.3.2.

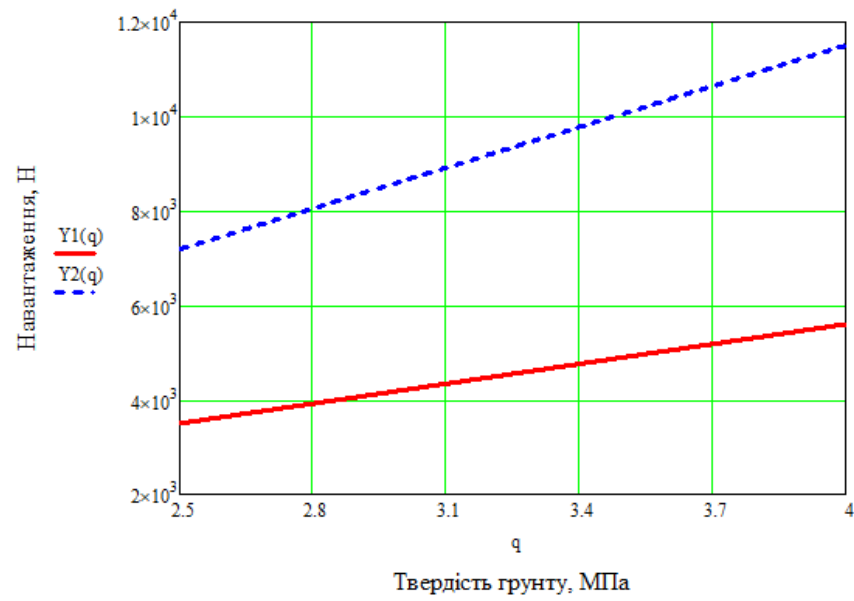


Рисунок 3.2 – Характер зміни навантаження на робочий орган від твердості ґрунту

Встановлені межі твердості ґрунту обумовлюють навантаження для проникнення голок у ґрунт на задану глибину. Вказані умови визначають пряму задачу для реалізації процесу. З іншого боку – за конструктивними масами машини чи можна без довантаження таких сил досягнути, тому обернена перевірна задача полягає якраз у визначення цього параметру.

### 3.2 Максимальне навантаження на робочий орган при базовій конструкції машини

Максимальне навантаження на голчасте колесо будемо розраховувати тільки з умови обпирання машини тільки на голчасті колеса і причіпний пристрій трактора.

Для цілком заправленої машини (проектна маса машини: «суха» –  $m_C = 2160$  кг, при заповненому бакові –  $m_E = 5060$  кг.) вона визначається за залежністю

$$Y_{K_{\max 3}} = \frac{m_E \cdot g \cdot l_{CE}}{4l_{OK}}, \quad (3.4)$$

а для машини з порожнім баком

$$Y_{K_{\max n}} = \frac{m_C \cdot g \cdot l_{CC}}{4l_{OK}}, \quad (3.5)$$

де  $Y_{K_{\max 3}}, Y_{K_{\max n}}$  – максимально можливі вертикальні навантаження на одне голчасте колесо при цілком заправленому баку і при порожньому баку відповідно, Н;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ ;

$l_{CE}, l_{CC}$  – координати по горизонталі центрів ваги цілком заправленої машини з порожнім баком відповідно щодо центра зачеплення, мм. Відповідно до обчислень, виконаних за даними зважувань машини при випробуваннях,  $l_{CE} = 3300$  мм,  $l_{CC} = 3660$  мм.

$l_{OK}$  – відстань по горизонталі від центра зчеплення машини до осі голчастих коліс, мм. Відповідно до креслень  $l_{OK} = 5825$  мм.

Тоді отримаємо

$$Y_{K_{\max 3}} = \frac{5080 \cdot 9.81 \cdot 3300}{4 \cdot 5825} = 7060 \text{ Н};$$

$$Y_{K_{\max n}} = \frac{2160 \cdot 9.81 \cdot 3680}{4 \cdot 6825} = 3330 \text{ Н.}$$

Так як  $Y_{K_{\max}} = 3330 - 7060 \text{ Н} < Y_{KTP} = 5600 - 11500 \text{ Н}$ , то при існуючому розподілі мас у машині створити необхідне вертикальне навантаження на одне колесо неможливо.

### 3.3 Розрахунки на міцність для складових запропонованого пристосіблення

У процесі проведення досліджень пристосіблення для глибокого внесення рідких мінеральних добрив у садах було встановлено, що при роботі машини в залужених садах глибина внесення добрив не задовольняє агрономигам внаслідок недостатньої глибини проникнення голок робочих органів (голчастих коліс) у ґрунт. З метою збільшення глибини проникнення голок у ґрунт була змінена конструкція пристосування для глибокого внесення рідких мінеральних добрив, що дозволила збільшити навантаження на голчасті колеса й інші елементи пристосувань, у зв'язку з чим виникла необхідність проведення розрахунку їх на міцність [25, 35].

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

1. Сили ваги складових частин робочої секції (рис. 8), Н:	
вага рамки вантажів 1 $G_1$	200
вага кронштейна голчастого колеса 2 $G_2$	110
вага двох кронштейнів для вантажів 3 $G_3$	120
вага двох вантажів 4, $G_{2p}$	220
вага голчастого колеса 5 $G_K$	600

Продовження табл.3.1

2. Голка голчастого колеса: матеріал голки границя текучості матеріалу голки $\sigma_T$ , МПа	сталь 35 ГОСТ 1050–74 320
3. Пружина 6 (див. рис. 8): умовне позначення робоче число витків $n$ сила пружини при максимальній деформації $P_{PP3}$ , Н довжина пружини при максимальній деформації $l_3$ , мм довжина пружини у вільному стані $l_{CB}$ , мм число пружин на одне голчасте колесо, $Z_{PP}$	пружина №160 ГОСТ 13772–68 30 2940 248 551 2
4. Циліндр навіски 7 (див. рис. 8): діаметр поршня $D$ , мм номінальний тиск $p$ , МПа максимальне зусилля на штоку $P_{MAX}$ , Н	циліндр Ц 100 100 10 78000

У якості розрахункового робочого положення машини [12] приймаємо таке, при якому всі чотири голчастих колеса заглибленні в ґрунт на 300 мм, а шток гідроциліндра навіски максимально висунутий з циліндра.

Величину сили тягового опору одного голчастого колеса приймаємо рівну допустимій силі тягового опору для тракторів, з якими укомплектовується підживлювач, діленої на число голчастих коліс:

$$P_C = 14000 / 4 = 3500 \text{ Н.}$$

Умови, прийняті при розрахунку на міцність голки голчастого колеса, приведені у відповідних розрахунках.

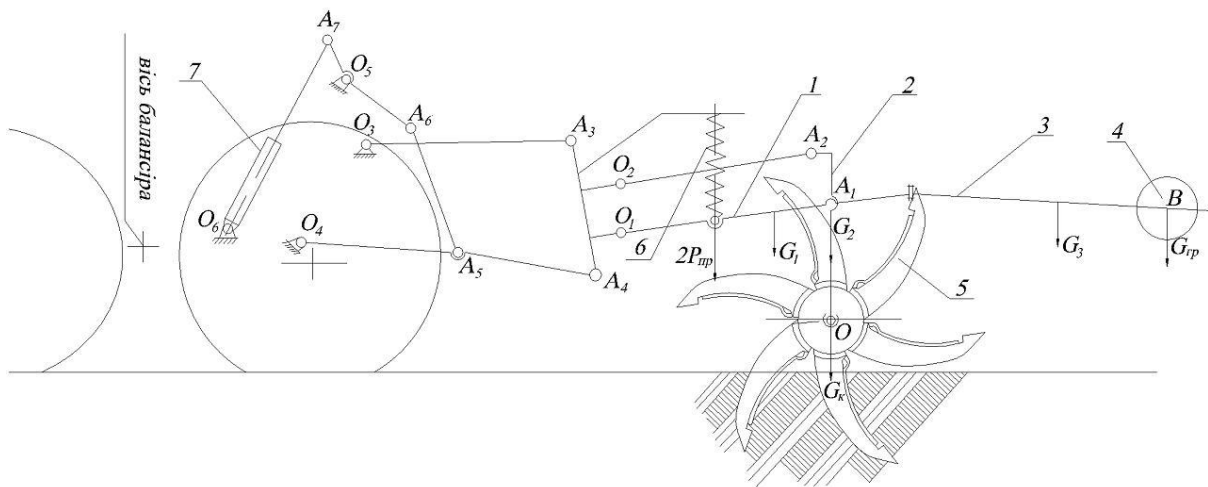
### 3.4 Визначення навантажень на голкасте колесо при виконанні конструкції з довантажувачами

Розрахункове зусилля  $P_{\text{ПР}}$ , Н, створюване одною пружиною в робочому положенні голчастого колеса, визначається за формулою

$$P_{\text{ПР}} = \frac{l_{\text{CB}} - l_{\text{P}}}{l_{\text{CB}} - l_3} P_{\text{ПРЗ}}, \quad (3.6)$$

де  $l_{\text{CB}}$  – довжина пружини у вільному стані, мм;

$l_{\text{P}}$  – довжина пружини в розрахунковому положенні, мм. Відповідно до побудов  $l_{\text{P}} = 339 \text{ мм}$ ;



1 – рамка вантажів; 2 – кронштейн голчастого колеса; 3 – кронштейн вантажу; 4 – вантаж; 5 – голчасте колесо; 6 – пружина; 7 – циліндр навіски.

Рисунок 3.3 – Кінематична схема пристосування для глибокого внесення рідких мінеральних добрив у садах

$l_3$  – довжина пружини при максимальній деформації, мм;

$P_{\text{ПРЗ}}$  – сила пружини при максимальній деформації, Н.

$$P_{\text{ПП}} = \frac{551 - 339}{551 - 248} 2940 = 2060 \approx 2100 \text{ Н.}$$

Сумарне зусилля  $T_2$ ,  $H$ , що діє на ланку  $A_2A_1O$  з боку тяги  $O_2A_2$  (див. рис. 3.4) і дорівнює:

$$T_2 = \frac{P_C \cdot h_{PCA1}}{h_{T_2A1}}, \quad (3.7)$$

де  $P_C$  – сила тягового опору одного робочого колеса,  $H$ ;

$h_{PCA1}$  – плече дії сили  $P_C$  відносно точки  $A_1$ ,  $h_{PCA1} = 400 \text{ мм}$ ;

$h_{T_2A1}$  – плече дії сили  $T_2$  відносно точки  $A_1$ ,  $h_{T_2A1} = 180 \text{ мм}$ .

$$T_2 = \frac{3500 \cdot 400}{180} = 7780 \text{ Н.}$$

Силу  $T_2$  розкладемо на складові  $Y_{A_2}$  і  $X_{A_2}$ :

$$Y_{A_2} = T_2 \cdot \sin \beta_2; \quad (3.8)$$

$$X_{A_2} = T_2 \cdot \cos \beta_2, \quad (3.9)$$

де  $\beta_2$  – кут нахилу ланки  $O_2A_2$  до осі  $X$ ,  $\beta_2 = 10^\circ$ .



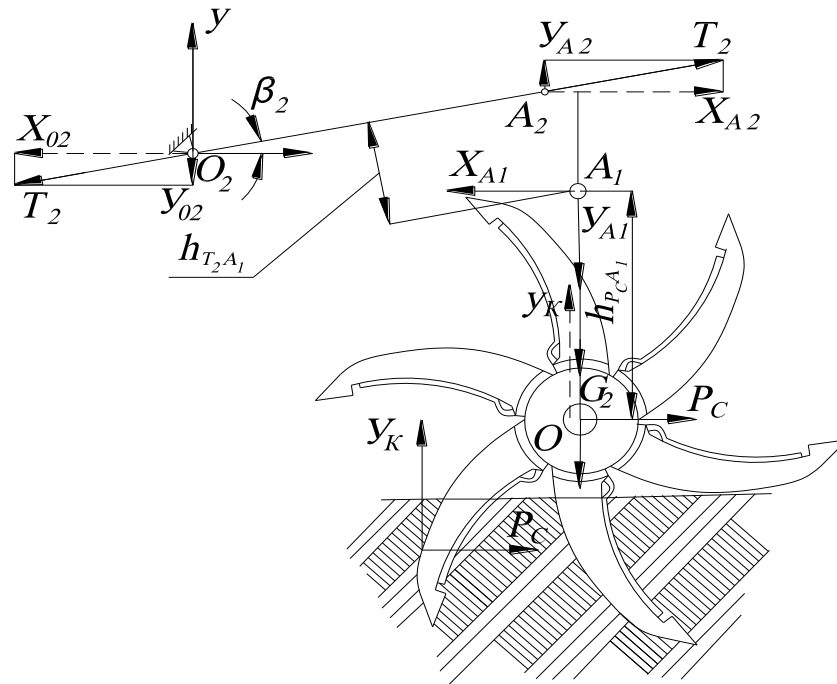


Рисунок 3.4 – Сили, що діють на голчасте колесо

$$Y_{A2} = 7780 \cdot \sin 10^\circ = 7780 \cdot 0.1736 = 1350 \text{ Н.}$$

$$X_{A2} = 7780 \cdot \cos 10^\circ = 7780 \cdot 0.9848 = 7660 \text{ Н.}$$

Складової реакції ланки  $O_1A_1B$  на ланку  $A_2A_1O$   $X_{A1}$ ,  $H$ , (див. рис. 3.3 і 3.4) визначимо з умови рівності нулю сил, що діють на ланку  $A_2A_1O$  уздовж осі  $X$ :

$$X_{A2} + P_C - X_{A1} = 0, \quad (3.10)$$

звідки

$$X_{A1} = X_{A2} + P_C = 7660 + 3500 = 11600 \text{ Н.}$$

Складову реакції ланки  $O_1A_1B$  на ланку  $A_2A_1O$   $Y_{A1}$ ,  $H$ , визначаємо з умови рівності нулю моментів усіх сил, прикладених до ланки  $O_1A_1B$ , відносно точки  $O_1$  (див. рис. 3,3)

$$Y_{A1} = \frac{2P_{IP}l_{01IP} + G_1l_{011} + G_3l_{013} + G_{2p}l_{012p} + X_{A1}O_1A_1 \sin \beta_1}{O_1A_1 \cos \beta_1}, \quad (3.11)$$

де  $P_{\text{ПР}}$  – розрахункове зусилля, створюване одною пружиною в робочому положенні голчастого колеса, Н;

$l_{01\text{ПР}}$  – плече дії зусилля  $P_{\text{ПР}}$  відносно точки  $O_1$ ,  $l_{01\text{ПР}} = 285 \text{ мм}$ ;

$G_1, G_2, G_{2p}$  – ваги рамки вантажів, двох кронштейнів і вантажів відповідно, Н;

$l_{011}, l_{013}, l_{012p}$  – плечі дії перерахованих вище сил ваги відносно точки  $O_1$ , мм. У

розрахунку приймаємо  $l_{011} = 400 \text{ мм}$ ,  $l_{013} = 1300 \text{ мм}$ ,  $l_{012p} = 1650 \text{ мм}$ ;

$X_{A1}$  – складова реакції ланки  $A_2A_1O$  на ланку  $O_1A_1B$  уздовж осі  $X$ , Н;

$O_1A_1$  – довжина ланки (відстань між точками  $O_1$  і  $A_1$ ),  $O_1A_1 = 645 \text{ мм}$ .

$\beta_1$  – кут нахилу ланки  $O_1A_1B$  на ділянці  $O_1A_1$  до осі  $X$ ,  $\beta_1 = 10^\circ$ .

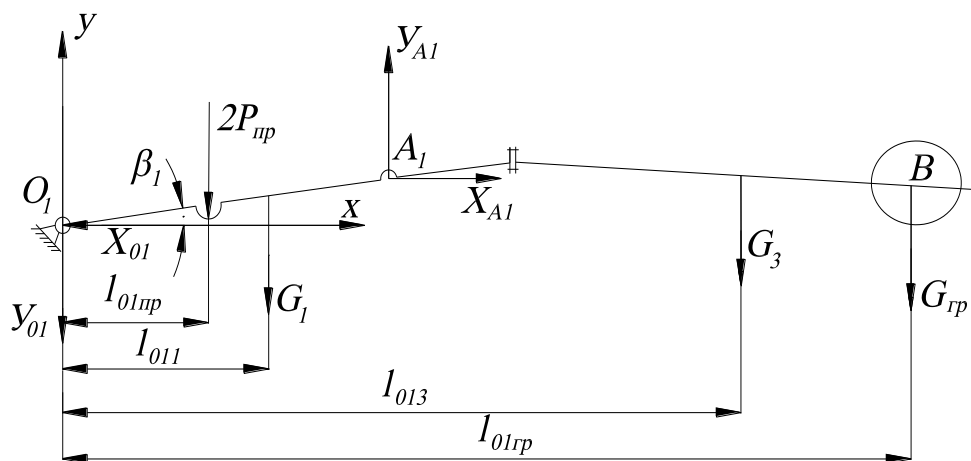


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема

$$Y_{A1} = \frac{2 \cdot 2100 \cdot 285 + 200 \cdot 400 + 120 \cdot 1300 + 220 \cdot 1650 + 11160 \cdot 645 \cdot 0.1736}{645 \cdot 0.9848} = 4790 \text{ Н.}$$

Використовуючи рівняння рівноваги сил, прикладених до ланки  $O_1A_1B$ ,

визначимо зусилля  $X_{01}$  й  $Y_{01}$  у вузлі  $O_1$  по наступних формулах:

$$X_{01} = X_{A1}; \quad (3.12)$$

$$Y_{01} = Y_{A1} - 2P_{\text{ПР}} - G_1 - G_3 - G_{2p}, \quad (3.13)$$

$$X_{01} = 11160 \text{ Н.}$$

$$Y_{01} = 4790 - 2 \cdot 2100 - 200 - 120 - 220 = 50 \text{ Н.}$$

Вертикальна реакція ґрунту на голчасте колесо  $Y_K$ , Н, визначається

$$Y_K = Y_{A1} - Y_{A2} + G_2 + G_K, \quad (3.14)$$

$$Y_K = 4790 - 1350 + 600 + 110 = 4150 \text{ Н.}$$

Складові зусилля  $T_2$ , що діють з боку ланки  $O_2A_2$  на шарнір (див. рис. 3.4), чисельно рівні складовим  $X_{A2}$  і  $Y_{A2}$ , але протилежно спрямовані:

$$X_{02} = X_{A2} = 7660 \text{ Н;}$$

$$Y_{02} = Y_{A2} = 1350 \text{ Н.}$$

Реакція  $T_3$ , Н, ланки  $O_3A_3$  на  $A_3A_4$  (див. рис. 3.6) і її складові  $X_{A3}$  і  $Y_{A3}$ :

$$T_3 = \frac{8P_{\text{пр}}l_{A4\text{пр}} + 4X_{02} \cdot h_{A402} - 4(Y_{02} - Y_{01})l_{A401} - 4X_{01}h_{A401}}{h_{T3A4}}, \quad (3.15)$$

$$X_{A3} = T_3 \cos \beta_3; \quad (3.16)$$

$$Y_{A3} = T_3 \sin \beta_3, \quad (3.17)$$

де  $P_{\text{пр}}$  – розрахункове зусилля, створюване одною пружиною, Н;

$l_{A4\text{пр}}$  – плече дії сили  $P_{\text{пр}}$  відносно точки  $A_4$ ,  $l_{A4\text{пр}} = 353 \text{ мм}$ ;

$X_{02}, Y_{02}, Y_{01}, X_{01}$  – складові сили вздовж осей  $X$  и  $Y$ , прикладених у точках  $O_2$  і  $O_1$  відповідно, Н;

$h_{A402}$  – плечі дії вищевказаних складових, показані  $l_{A401}$ ,  $h_{A401}$  на рис. 11,

$h_{A402} = 315 \text{ мм}$ ,  $l_{A401} = 68 \text{ мм}$ ,  $h_{A401} = 145 \text{ мм}$ ,  $h_{T3A4} = 460 \text{ мм}$ ;

$\beta_3$  – кут нахилу ланки  $O_3A_3$  до осі  $X$ ,  $\beta_3 = 2^\circ$ .

$$T_3 = \frac{8 \cdot 2100 \cdot 353 + 4 \cdot 7660 \cdot 315 - 4(1350 - 50)68 - 4 \cdot 11160 \cdot 145}{460} = 19030 \text{ Н.}$$

$$X_{A3} = 19030 \cdot \cos 2^\circ = 19030 \cdot 0,9994 = 19020 \text{ Н.}$$

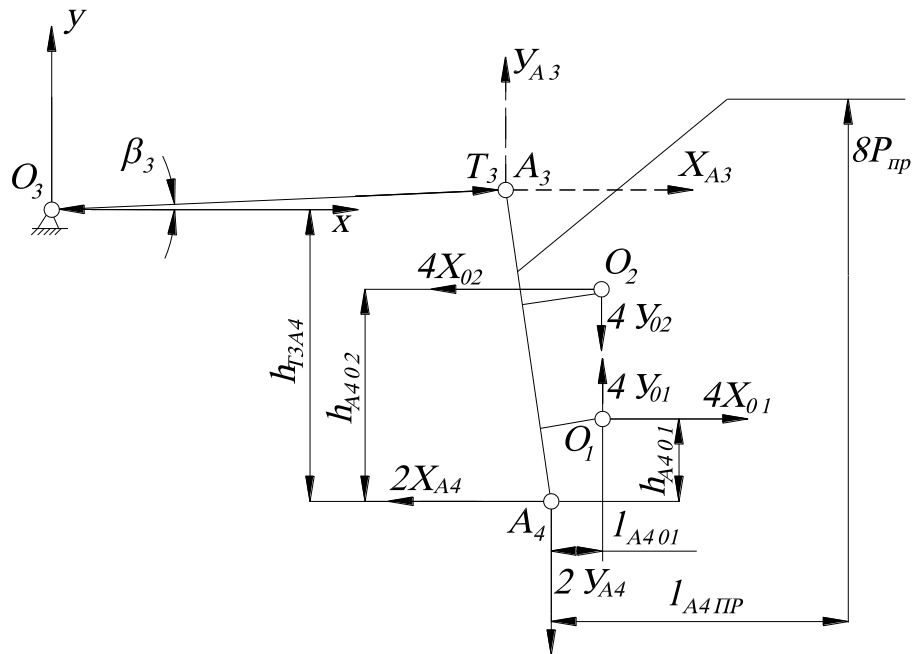


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема 1

$$Y_{A3} = 19030 \cdot \sin 2^\circ = 19030 \cdot 0,0349 = 660 \text{ Н.}$$

Сили  $X_{A4}$  і  $Y_{A4}$ , Н, прикладені до вузла  $A_4$ :

$$X_{A4} = \frac{4X_{01} - 4X_{02} + X_{A3}}{2}; \quad (3.18)$$

$$Y_{A4} = \frac{Y_{A3} + 4Y_{01} - 4Y_{02} + 8P_{PP}}{2}; \quad (3.19)$$

$$X_{A4} = \frac{4 \cdot 11160 - 4 \cdot 7660 + 19020}{2} = 16510 \text{ Н.}$$

$$Y_{A4} = \frac{660 + 4 \cdot 50 - 4 \cdot 1350 + 8 \cdot 2100}{2} = 6130 \text{ Н.}$$

Зусилля  $T_5$ , Н, що діє з боку ланки  $A_6A_5$  на ланку  $O_4A_5A_4$  (див. рис. 3.7) і його складові  $X_{A5}$  і  $Y_{A5}$  визначаються:

$$T_5 = \frac{X_{A4} \cdot h_{A404} + Y_{04} l_{A404}}{h_{T504}}; \quad (3.20)$$

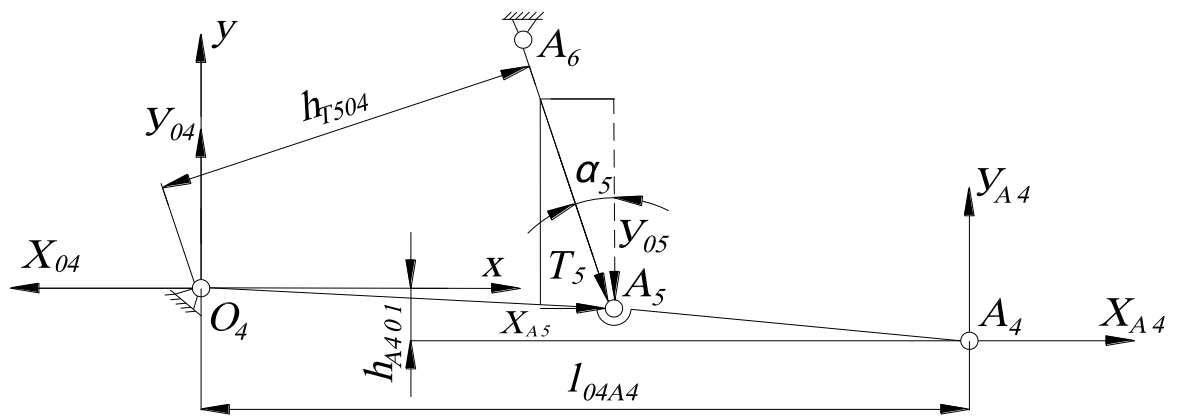


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема 2

$$X_{A5} = T_5 \sin \alpha_5; \quad (3.21)$$

$$Y_{A5} = T_5 \cos \alpha_5, \quad (3.22)$$

де  $X_{A4}, Y_{A4}$  – сили, що діють на ланку  $O_4A_5A_4$  у точці  $A_4$ , Н;

$h_{A404}, l_{A404}$  – плечі дії вищевказаних сил відносно точки  $O_4$ , мм.

$$h_{A404} = 112, l_{04A4} = 880 \text{ мм};$$

$h_{T504}$  – плече дії сили  $T_5$  відносно точки  $O_4$ ,  $h_{T504} = 435 \text{ мм}$ ;

$\alpha_5$  – кут нахилу ланки  $A_5A_6$  до осі  $Y$ ,  $\alpha_5 = 19^\circ$ .

$$T_5 = \frac{16510 \cdot 112 + 6130 \cdot 880}{435} = 16650 \text{ Н.}$$

$$X_{A5} = 16650 \cdot \sin 19^\circ = 16650 \cdot 0,3256 = 5420 \text{ Н.}$$

$$Y_{A5} = 16650 \cdot \cos 19^\circ = 16650 \cdot 0,9455 = 15740 \text{ Н.}$$

Сили  $X_{04}$  і  $Y_{04}$ , Н, що діють на ланку  $O_4A_5A_4$  з боку опори  $O_4$  :

$$X_{04} = X_{A4} + X_{A5}; \quad (3.23)$$

$$Y_{04} = Y_{A5} - Y_{A4}; \quad (3.24)$$

$$X_{04} = 16510 + 5420 = 21930 \text{ Н},$$

$$Y_{04} = 15740 - 6130 = 9610 \text{ Н}.$$

### 3.5 Визначення можливості довантаження приспосіблення гідроциліндром навіски

Зусилля на штоку циліндра  $P_{ЦТР}$ , Н, необхідне для

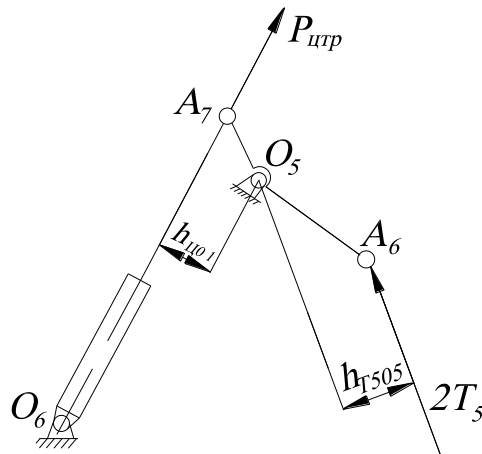


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема роботи гідроциліндра

утримання голчастих коліс у робочому положенні, визначається [38]

$$P_{ЦТР} = \frac{2 \cdot T_5 \cdot h_{T505}}{h_{Ц05}}, \quad (3.25)$$

де  $2T_5$  – сумарне зусилля з боку двох тяг  $A_5A_6$  навіски на важіль  $A_7O_5$ , Н;

$h_{T505}$  – плече дії сили  $T_5$  відносно точки  $O_5$  у робочому положенні голчастих коліс (див. рис. 13), мм. Відповідно до побудов  $h_{T505} = 10 \text{ мм}$ ;

$h_{Ц05}$  – плече дії сили  $P_{ЦТР}$  відносно точки  $O_5$ ,  $h_{Ц05} = 110 \text{ мм}$ .

$$P_{\text{ЦТР}} = \frac{2 \cdot 16650 \cdot 120}{110} = 36300 \text{ Н.}$$

Необхідне робоче зусилля на штоці гідроциліндра  $P_{\text{ЦТР}}$  не перевищує максимального зусилля на штоці  $P_{\text{МАХ}}$  :  $36300 < 78000 \text{ Н.}$

Отже, циліндр працездатний.

### 3.6 Розрахунок на міцність голки голчастого колеса

Розрахунок голки на міцність проводимо для наступних умов:

- а) виконання машиною нормального технологічного процесу;
- б) наїзд (зустріч) голки голчастого колеса в процесі виконання технологічного процесу кінцем на камінь або будь-який інший твердий предмет, що знаходиться на поверхні ґрунту (у цьому випадку в голці виникають максимально можливі напруження).

З метою спрощення обчислень у запас дійсної міцності голки вважаємо, що при роботі голчастого колеса всі сили опори прикладені до однієї голки в точці С (див. рис. 3.9) (точка С обрана з умови рівності моментів сил  $P_C$  і  $Y_K$  щодо центра обертання голчастого колеса, а до голки, що потрапила на камінь, навантаження прикладене так як це показано на рис. 15.

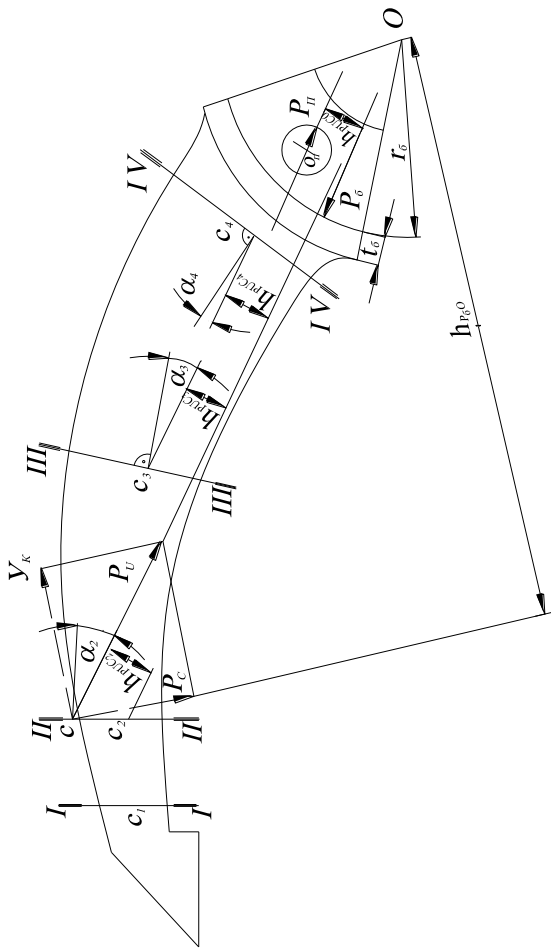


Рисунок 3.9 – Схема навантаження голки при нормальному виконанні технологічного процесу

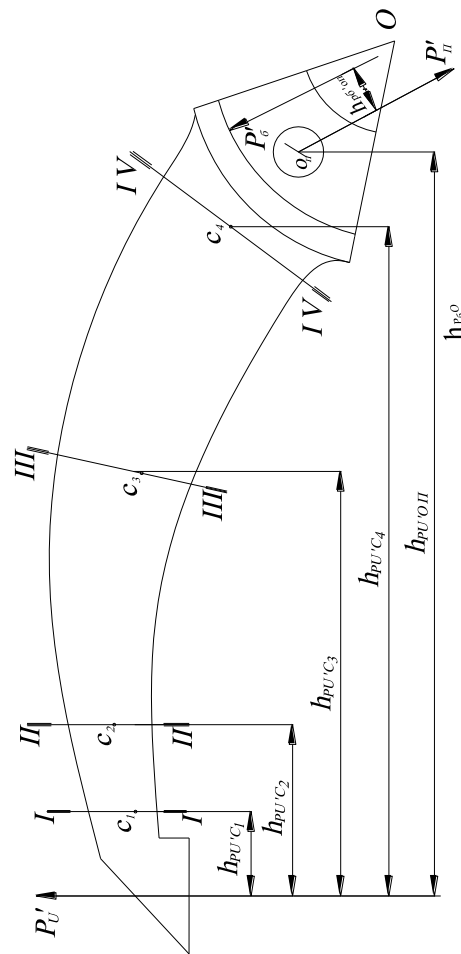


Рисунок 3.10 – Схема навантаження голки при наїзді її кінця на камінь

Міцність голки перевіряємо в таких перетинах (див. рис. 3.9 і 3.10):  
у перетині I–I, що проходить через місце початку зварного шва трубки для підведення рідини;

у перетині II –II, розташованому в районі точки додатка до голки сили;

у перетині III –III, що проходить у місці перебування зварного шва;

у перетині IV–IV, розташованому в корені голки.

Усі перетини мають форму, показану на рис. 16.

З метою спрощення обчислень у запас міцності голки в перетинах II –II – IV–IV вплив трубки для підведення рідини на міцність голки не враховуємо.

Обчислення напружень у розглянутих перетинів проводимо в табличній формі (таблиця 3.1) [25, 35].



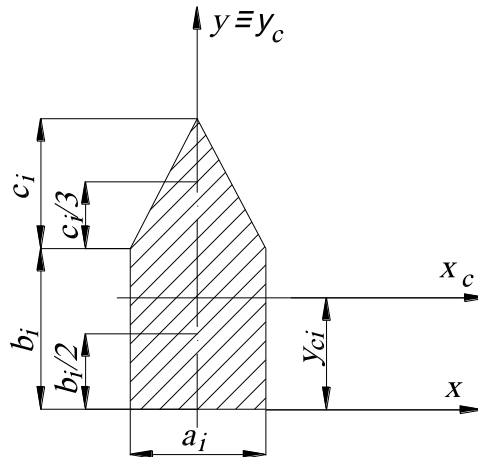


Рисунок 3.11 – Перетин голки

Розрахункові зусилля, що діють на голку:

номінальне розрахункове зусилля  $P_U, H$

$$P_U = \sqrt{Y_K^2 + P_C^2}; \quad (3.26)$$

зусилля  $P'_U, H$ , діюче на голку при наїзді на камінь –

$$P'_U = P_C \frac{h_{PC0}}{h_{PU0}}, \quad (3.27)$$

де  $Y_K$  – вертикальна реакція ґрунту на голчасте колесо, Н;

$P_C$  – сила тягового опору одного робочого колеса, Н;

$h_{PC0}$  – плече дії сили  $P_C$  щодо центра обертання голчастого колеса О (див. рис.

14), мм. Приймаємо  $h_{PC0} = 310 \text{ мм}$ ;

$h_{PU0}$  – плече дії сили  $P'_U$  відносно точки О, мм.  $h_{PU0} = 450 \text{ мм}$ .

$$P_U = \sqrt{4130^2 + 3500^2} = 5410 \text{ Н},$$

$$P'_U = 3500 \frac{310}{450} = 2410 \text{ Н.}$$

Геометричні характеристики кожного з розглянутих перетинів ( $i$  –го перетини) визначаються за залежностями:

$$F_{i1} = a_i \cdot b_i; \quad (3.28)$$

$$F_{i2} = 0,5a_i \cdot c_i; \quad (3.29)$$

$$F_{i\Sigma} = F_{i1} + F_{i2};$$

$$y_{ci} = \frac{F_{i1} \cdot 0,5 \cdot b_i + F_{i2}(c_i/3 + b_i)}{F_{i\Sigma}}; \quad (3.30)$$

$$I_{xci} = \frac{a_i \cdot b_i^3}{12} + F_{i1}(y_{ci} - b_i/2)^2 + \frac{a_i \cdot c_i^3}{36} + F_{i2}(b_i + c_i/3 - y_{ci})^2; \quad (3.31)$$

$$W_{xci} = \frac{I_{xci}}{b_i + c_i - y_{ci}}, \quad (3.32)$$

де  $F_{i1}, F_{i2}$  – площі прямокутної і трикутної частин  $i$ -го перетину, мм<sup>2</sup>;

$a_i$  – ширина перетину, мм;

$b_i, c_i$  – висоти прямокутної і трикутної частин перетину відповідно, мм;

$F_{i\Sigma}$  – загальна площа  $i$ -го перетину, мм<sup>2</sup>;

$I_{xci}$  – момент інерції перетину щодо осі  $X_c$ , мм<sup>4</sup>;

$W_{xci}$  – момент опору перетину щодо осі  $X_c$ , мм<sup>3</sup>.

Розрахункові напруження від дії сили  $P_U$ :

$$\text{у точці 1 перетину II-II} - \sigma_2 = \frac{P_U \cdot h_{PUC2} \cdot y_{c2}}{I_{XC2}} + \frac{P_U \cdot \cos \alpha_2}{F_{2\Sigma}}; \quad (3.33)$$

$$\text{у точці 2 перетини III–III} - \sigma_3 = \frac{P_U \cdot h_{PUC3} \cdot y_{c3}}{I_{XC3}} + \frac{P_U \cdot \cos \alpha_3}{F_{3\Sigma}}; \quad (3.34)$$

$$\text{у точці 3 перетини IV–I} - \sigma_4 = \frac{P_U \cdot h_{PUC4} \cdot y_{c4}}{I_{XC4}} + \frac{P_U \cdot \cos \alpha_4}{F_{4\Sigma}}; \quad (3.35)$$

де  $P_U$  – номінальне розрахункове зусилля на голку, Н;

$h_{PUC2}, h_{PUC3}, h_{PUC4}$  – плечі дії сили  $P_U$  щодо центрів відповідних перетинів, мм.

Значення їх приведені в таблиці 3.2;

$b_2, c_2$  – висоти циліндричної і трикутної частин перетину II–II, мм;

$y_{c2}$  – координата центра ваги перетину II–II, мм;

$\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – кути між лінією дії сили  $P_U$  і нормаллю до площини відповідного перетину, град;

$I_{XC2}, I_{XC3}, I_{XC4}$  – моменти інерції відповідних перетинів, мм<sup>4</sup>;

$F_{2\Sigma}, F_{3\Sigma}, F_{4\Sigma}$  – сумарні площі відповідних перетинів, мм<sup>2</sup>.

Максимальні напруження від дії сили  $P'_U$  в точках і розглянутих перетинів  $\sigma_{MAXi}$ , МПа, визначаються за формулою виду:

$$\sigma_{MAXi} = \frac{P'_U \cdot h_{PUCi}}{W_{XCi}}, \quad (3.36)$$

де  $P'_U$  – зусилля, що діє на голку при наїзді на камінь, Н;

$h_{PUCi}$  – плече дії сили  $P'_U$  щодо центра  $i$ -го перетину, мм;

$W_{XCi}$  – момент опору  $i$ -го перетину, мм<sup>3</sup>.

Розрахункові зусилля, що діють на буртик і опорний палець голки визначаються за залежностями:

номінальні зусилля від дії сили  $P_U$  для розрахункової схеми, рис. 3.9, –

$$P_{\delta} = P_U \frac{h_{PU0\Pi}}{h_{P\delta0\Pi}}; \quad (3.37)$$

$$P_{\Pi} \approx P_U - P_{\delta}, \quad (3.38)$$

де  $P_{\delta}, P_{\Pi}$  – номінальні розрахункові зусилля на буртик і палець відповідно, Н;

$P_U$  – номінальне розрахункове зусилля, що діє на голку, Н;

$h_{P\delta0\Pi}, h_{PU0\Pi}$  – плечі дії сил  $P_{\delta}$  і  $P_U$  щодо центра пальця  $O_{\Pi}$ , мм.

$h_{P\delta0\Pi} = 28 \text{ мм}, h_{PU0\Pi} = 21 \text{ мм};$

максимальні розрахункові зусилля від дії сили  $P'_U$

$$P'_{\delta} = P'_U \frac{h_{PU'0\Pi}}{h_{P\delta'0\Pi}}; \quad (3.39)$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку

Перетин $i-i$ на рис. 14 і 15	Розміри перетину, показані на рис. 14, мм			$F_{i1}, \text{мм}^2$	$F_{i2}, \text{мм}^2$	$F_{i\Sigma}, \text{мм}^2$	$Y_{Ci}, \text{мм}$	$I_{XCi}, \text{мм}^4$	$W_{XCi},$ $\text{мм}^3$
	$a_i$	$b_i$	$c_i$						
I-I	14	14	26	196	182	378	14.5	33200	1300
II-II	15	20	28	300	210	510	18.0	65300	2180
III-III	16	45	30	720	240	960	30.6	323600	7290
IV-IV	20	63	37	1260	370	1630	41.4	994400	17000

Продовження табл. 3.2

Перетин $i-i$ на рис. 14 і 15	$P_U,$ $\text{Н}$	$h_{PUCi},$ $\text{мм}$	$\alpha_i, ^\circ$	$\sigma_i,$ $\text{МПа}$	$P'_U,$ $\text{Н}$	$h_{PUCi},$ $\text{мм}$	$\sigma_{MAXi},$ $\text{МПа}$	$\sigma_T,$ $\text{МПа}$	$K = \frac{\sigma_T}{\sigma_i}$	$K_{MAX} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{MAXi}}$
I-I	54	–	–	–	2410	45	83,4	320	–	3,8
II-II		26	28	74,0		90	99,5		4,32	3,2
III-III		24	17	23,2		225	74,4		13,8	4,3
IV-IV		28	7	12,2		350	49,6		26,2	6,5

$$P'_n = \sqrt{(P'_U)^2 + (P'_{\delta})^2 + 2(P'_U) \cdot (P'_{\delta})^2 \cos \gamma}, \quad (3.40)$$

де  $P'_U, P'_6$  – максимальні розрахункові зусилля, що діють на буртик і палець відповідно, Н;

$P'_U$  – зусилля, що діють на голку при наїзді на камінь, Н;

$h_{P'_6'O_{II}}, h_{P'_U'O_{II}}$  – плечі дії сил  $P'_U$  і  $P'_6$  відносно центра пальця  $O_{II}$  відповідно,

$h_{P'_6'O_{II}} = 390$  мм,  $h_{P'_U'O_{II}} = 28$  мм.

$\gamma$  – кут між напрямками дії сил  $P'_U$  і  $P'_6$ , °. Відповідно до побудов  $\gamma = 25^\circ$ .

$$P_6 = 5410 \frac{21}{28} = 4060 \text{ Н}; P_{II} = 5410 - 4060 = 1350 \text{ Н}; P'_6 = 2410 \frac{390}{28} = 33600 \text{ Н};$$

$$P'_n = \sqrt{2410^2 + 33600^2 + 2 \cdot 2410 \cdot 33600 \cdot 0.9063} = 35800 \text{ Н}.$$

Виходячи з отриманих значень навантажень на буртик і палець, розрахунок буртика на міцність проводимо по зусиллю  $P'_6$ , а пальця – по зусиллю  $P'_n$ .

Напруження зминання  $\sigma_{\delta m}$ , МПа, на поверхні буртика голки визначається за формулою:

$$\sigma_{\delta m} = \frac{P'_6}{b_6 \cdot l_6}, \quad (3.41)$$

де  $b_6$  – ширина буртика (див. рис. 3.12), мм.  $b_6 = 10$  мм;

$l_6$  – довжина контактуючої з маточиною поверхні буртика, мм, обумовлена за формулою (вважаємо, що буртик спирається на маточину половиною своєї привалочної поверхні):

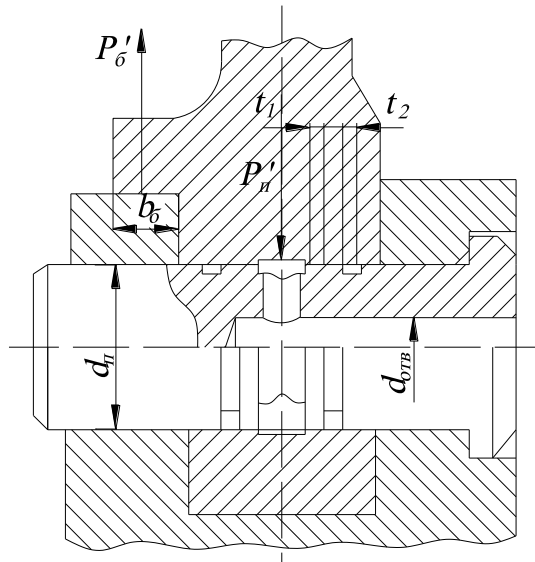


Рисунок 3.12 – До розрахунку опорного пальця голки

$$l_{\text{б}} = \frac{2\pi \cdot r_{\text{б}}}{12}, \quad (3.42)$$

де  $r_{\text{б}}$  – радіус привалочної поверхні буртика,  $r_{\text{б}} = 105 \text{ мм}$ .

Підставляючи у формули (43) і (42) чисельні значення, одержуємо:

$$l_{\text{б}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 105}{12} = 55 \text{ мм}, \quad \sigma_{\text{сш}} = \frac{33600}{10 \cdot 55} = 61,1 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруження змінання для матеріалу голки  $[\sigma_{\text{см}}]$ , МПа , визначається за формулою:

$$[\sigma_{\text{см}}] = 0,6 \cdot \sigma_T, \quad (3.43)$$

де  $\sigma_T$  – границя текучості матеріалу голки, МПа;

$$[\sigma_{\text{см}}] = 0,6 \cdot 320 = 192 \text{ МПа}.$$

Розрахункове напруження зминання в буртику  $\sigma_{\text{бсм}} = 61,1 \text{ МПа}$  не перевищує допустиме  $[\sigma_{\text{см}}] = 192 \text{ МПа}$ . Отже, міцність буртика за напруженнями зминання достатня.

Напруження зрізу  $\tau_{\text{бср}}$ , *МПа*, в буртику голки визначається за формулою:

$$\tau_{\text{бср}} = \frac{P'_{\text{б}}}{2 \cdot l_{\text{б}} \cdot t_{\text{б}}}, \quad (3.44)$$

де  $t_{\text{б}}$  – висота буртика,  $t_{\text{б}} = 15 \text{ мм}$ .

$$\tau_{\text{бср}} = \frac{33600}{2 \cdot 55 \cdot 15} = 20,3 \text{ МПа}.$$

Розрахункове напруження зрізу в буртику голки  $\tau_{\text{бср}} = 21,3 \text{ МПа}$  не перевищує допустиме  $[\tau_{\text{бср}}]$ , рівного згідно [35] 75 МПа. Отже, міцність буртика голки на зріз достатня.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Основні небезпеки, що виникають при роботі підживлювача рослин**

При роботі з підживлювачами рослин існує кілька основних небезпек, на які потрібно звертати увагу. По-перше, це небезпека отруєння або інтоксикації людини внаслідок неправильного використання хімічних речовин. Деякі підживлювачі можуть бути отруйними при контакті зі шкірою або у випадку неналежного застосування.

Друга значна загроза - це можливість забруднення довкілля. Неправильне скидання підживлювачів або їх надмірне використання може призвести до забруднення ґрунту і водних ресурсів хімічними речовинами, що має негативний вплив на екосистеми та здоров'я людей.

Також важливо враховувати ризики, пов'язані з самим процесом роботи з підживлювачами, такі як можливість отримання травм під час перевезення або неправильного зберігання хімічних речовин. Надійна інструкція з безпеки, коректне зберігання та застосування - важливі чинники для запобігання нещасних випадків.

Крім того, варто зазначити загрози, пов'язані з можливим збільшенням опірності шкідників і хвороб до підживлювачів, що може призвести до виникнення нових проблем в управлінні сільськогосподарськими культурами.

При використанні підживлювачів рослин, варто згадати про потенційні загрози здоров'ю робітників, які використовують ці хімічні речовини. Надихання парів підживлювачів або контакт з ними може призвести до респіраторних проблем або інших хронічних захворювань.

Також слід враховувати можливість втрати родючості ґрунту через неконтрольоване застосування підживлювачів, що може привести до деградації ґрунтового покриву та зменшення врожайності в майбутньому.



Невірне використання підживлювачів також може призвести до нерівномірного зростання рослин або навіть до їхнього ураження, що може суттєво вплинути на врожайність та якість продукції.

Загалом, ефективне керування ризиками, строге дотримання інструкцій з безпеки та стандартів використання підживлювачів є критичними аспектами для забезпечення безпеки, здоров'я та стійкості екосистем в умовах сучасного сільськогосподарського виробництва.

#### **4.2 Охорона праці при підживленні рослин**

Мінеральні добрива, регулятори росту рослин, пестициди, знешкоджувальні та інші хімічні речовини широко увійшли в практику рослинництва. Вони забезпечують отримання та збереження високих урожаїв. Проте, всі ці речовини в тій чи іншій мірі небезпечні для людського здоров'я та навколишнього середовища. Необережне їх використання може завдати величезної, часто непоправної шкоди не лише працюючим з ними особам, але й іншим людям, тваринному й рослинному світу, ґрунту, атмосфері.

Вимоги до виробництва, транспортування, торгівлі, зберігання, застосування, утилізації, знищення та знешкодження пестицидів і агрохімікатів встановлені Законом України «Про пестициди і агрохімікати» від 02.03.1995 року №86/95-ВР.

Основні шляхи профілактики отруень пестицидами і мінеральними добривами:

- дотримання норм, правил та інструкцій з охорони праці під час роботи з ними;

- застосування засобів колективного та індивідуального захисту працюючих; суворе дотримання кратності обробок посівів і норм витрат хімічних препаратів;

- проведення хімічних обробок на достатній відстані від населених пунктів, скотарень, водойм при дозволених швидкостях вітру;

- витримування термінів останньої обробки рослин до збору врожаю; застосування лише вивчених, дозволених препаратів. Добрі результати щодо поліпшення умов праці дає застосування пестицидів (навіть високотоксичних) у формі гранул.

Особи, діяльність яких пов'язана з транспортуванням, зберіганням, застосуванням пестицидів і агрохімікатів та торгівлею ними, повинні мати допуск (посвідчення) на право роботи з ними. До роботи з пестицидами і мінеральними добривами допускаються особи, які не мають медичних протипоказань і пройшли медичні огляди (при прийнятті на роботу та періодичні - у процесі роботи). Не допускаються до таких робіт особи молодше 18 років, вагітні й жінки-годувальниці.

Особи, які залучаються для роботи з пестицидами, щорічно проходять навчання та інструктаж з охорони праці. Тривалість робочого дня під час роботи з токсичними пестицидами 1 і 2 класів небезпеки - 4 години (з доопрацюванням - 2 години на роботах, які не пов'язані з пестицидами), із токсичними пестицидами 3 і 4 класів небезпеки - 6 годин.

Важливим заходом профілактики отруень є дотримання строків безпечного виходу робітників на площі, які оброблені пестицидами. Строк виходу працівників на оброблені пестицидами площі для проведення ручних робіт - 7 днів, механізованих - 3 дні.

Усі роботи з пестицидами й мінеральними добривами повинні бути максимально механізовані. Виконувати їх необхідно із застосуванням засобів індивідуального захисту, ряд робіт виконують у протигазах або респіраторях.

Пестициди й мінеральні добрива зберігають в окремих будівлях. Спільно з ними не можна зберігати хімічні консерванти кормів, кормові добавки, фарби, лаки, харчові продукти та інше.

Пестициди зберігають у заводській тарі (бочках, барабанах, каністрах, скляних бутлях, коробках тощо). На тарі всіх видів повинні бути зазначені найменування препарату, номінальний відсоток діючої речовини, група пестициду, знак небезпеки, маса нетто, а також написи: «Вогнебезпечно» або «Вибухонебезпечно» (за наявності у препараті відповідних властивостей). До кожної пакувальної одиниці повинні бути додані (приклеєні) рекомендації щодо застосування. На тарі сильнодіючих токсичних, отруйних речовин повинен бути нанесений малюнок черепа зі схрещеними кістками і напис: «Обережно. Отрута!».

Пролиті й розсипані речовини слід негайно видаляти і знешкоджувати. Для цього на складі повинні міститися знешкоджувальні речовини - хлорне вапно, кальцинована сода та інші.

Перевозять пестициди та агрохімікати у присутності відповідальної особи на спеціально обладнаному транспорті, у справній і добре закритій тарі. Будь-які інші вантажі або харчові продукти спільно з ними перевозити заборонено.

Перед початком робіт із обробки сільгоспугідь всю техніку, що використовуватиметься, перевіряють на справність, регулюють розташування робочих органів, норму витрати рідини, випробовують на воді. На корпуси машин наносять написи, що вказують на необхідність застосовувати при роботі ЗІЗ. Такі машини повинні бути обладнані бачком із водою для миття рук.

Обробку з використанням вентиляторних і штангових тракторних обприскувачів проводять при швидкості вітру не більше 4 м/с із максимально можливим рухом агрегату проти вітру і на відстані не менше 300 м від населених пунктів, джерел водопостачання, громадських місць відпочинку й ділянок проведення ручних робіт із догляду за культурами.

Робочі розчини готують на спеціальних розчинних вузлах і заправних майданчиках із бетонним або асфальтовим покриттям, розташованих на

відстані не менше 500 м від житлових і громадських будівель, ферм, вододжерел, від берегів рибогосподарських водойм.

Заправку обприскувачів проводять закритим способом по герметичних шлангах, попередньо профільтрувавши неоднорідні рідини (щоб уникнути закупорки форсунок). Кабіни тракторів під час внесення пестицидів повинні бути повністю заклені і закриті.

По периметру ділянки, що підлягає обробці, на відстані видимості встановлюють знаки безпеки та попереджувальні написи, наприклад «Оброблено пестицидами!». Забирають їх після закінчення карантинних термінів.

Від ділянок, що підлягають обробці, завчасно вивозять пасіки на відстань не менше 5 км і повертають назад через 1-7 діб залежно від використаних хімічних препаратів (конкретні терміни наведені у відповідних інструкціях до препаратів).

На ділянках, оброблених пестицидами, поновлюють роботи тільки після закінчення визначених термінів, встановлених залежно від фізико-хімічних властивостей використаних пестицидів (від 1 до 60 діб). Випас худоби поблизу оброблених пестицидами ділянок дозволяється через 25 днів (необхідно враховувати терміни, вказані в спеціальних інструкціях щодо їх застосування).

Авіаобробка пестицидами допускається лише у випадках неможливості застосування наземної техніки, при швидкості вітру не більше 4 м/с (для зменшення зносу препарату) на ділянках, розташованих не ближче 2 км від

населених пунктів, рибогосподарських водойм, джерел господарсько-питного водопостачання, ділянок під посіви культур, що призначені для їжі без теплової обробки (цибуля на перо, петрушка, селера, щавель, горох, кріп, томати, огірки, плодово-ягідні дерева тощо), скотарень, птахоферм, а не ближче 5 км від місць постійного розміщення медоносних пасік. У разі неможливого виконання цих умов авіаобробка не допускається.

Роботи з протруювання насіння повинні бути максимально механізовані. Забороняється протруювати насіння методом ручного перелопачування. Слід

застосовувати тільки напівсухий і мокрий способи протруювання і відповідну техніку.

Насіння протруюють у спеціально обладнаних приміщеннях, розташованих не ближче 500 м від житлових будівель, тваринницьких приміщень, джерел водопостачання, а також в спеціально обладнаних секціях складу для зберігання зерна. Приміщення повинні мати пофарбовані стіни без тріщин, достатню вентиляцію. Протруювання насіння, вивантаження, упакування в мішки проводять при ввімкненій витяжній механічній вентиляції. Насіння завантажують у мішки і зашивають із застосуванням механізмів.

Рештки протравленого насіння після посіву здають на склад, а в разі необхідності – реалізують іншому господарству для посіву. Їх не можна змішувати з іншими насінням, здавати на хлібоприймальні пункти, використовувати для харчових цілей, на корм худобі й птиці. Ніяка обробка (промивка, варіння тощо) не виводить із них залишки протруйника. Вживання такого зерна в їжу може викликати серйозне отруєння і навіть смерть. Розсипане протравлене насіння збирають, спалюють і закопують.

Із мінеральних добрив особливу обережність слід витримувати під час роботи з водним аміаком. Аміаковози повинні мати заземлювачі. Ємності для зберігання фарбують у світлі тони (для попередження нагріву від сонячної радіації і вибуху). Регулярно перевіряють їх герметичність, стан запірної апаратури, з'єднань.

Кузови, баки, ємності, робочі органи машин із внесення добрив і транспортні засоби після закінчення роботи очищають і промивають водою, а після роботи з пестицидами наносять знешкоджувальну речовину (25-відсотковий розчин хлорного вапна), витримуючи 40-50 хв., після чого промивають водою.

Ділянки землі, забруднені пестицидами, знезаражують хлорним вапном і перекопують.

Для профілактики отруєння хімічними речовинами важливе значення мають режим і склад харчування, дотримання правил особистої гігієни.

Токсичні речовини легше всмоктуються в кров при відсутності їжі в шлунку, тому перед роботою з хімічними препаратами важливий прийом їжі, у тому числі рідкої (рідина прискорює виведення отрути з організму). До складу їжі повинні входити речовини, які мають обволікувальні властивості та перешкоджають всмоктуванню отрути (крохмаль, желатин та інші). Не дозволяється пити, курити, вживати їжу під час роботи з хімічними речовинами.

Після роботи з пестицидами й мінеральними добривами слід прийняти душ.

Майданчики для відпочинку і прийому їжі, а також продукти, вода повинні бути не ближче 200 м від місць роботи з пестицидами (в ізольованих приміщеннях).

Дотримання вимог охорони праці, належна організація робіт дасть змогу провести догляд за посівами без отруєнь, професійних захворювань, травм і аварій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розглядаючи питання збереження ґрунтів, зокрема негативної дії явищ ерозії ґрунту, було прийнято рішення щодо розробки спеціального робочого органу для реалізації дискретного підживлення у садах. Робочий орган виконано у вигляді голчастого колеса, який функціонально повинен, проникаючи голками на певну глибину під корінь рослини, впорскувати відповідну кількість робочого препарату, зберігаючи при цьому покривний шар ґрунту у вигляді залуженої поверхні у садах.

Реалізуючи мету роботи, було отримано наступні результати.

Проаналізовано за геометрією голчастого колеса його можливість проникнення на задану глибину підживлення. Отже, за розмірами голок голчастого колеса і розташуванням кінця трубки для подачі добрив на голці – це дозволяє подавати мінеральні добрива на глибину до 353 мм.

Якщо глибину розташування осередку добрив визначати по координаті його центра, то максимальна глибина внесення добрив виявиться приблизно на 40 мм менше глибини ходу голок, тобто складе приблизно 310 мм.

Отримані значення лежать в допустимих межах згідно із завданням.

Необхідне вертикальне навантаження на одне голчасте колесо при якій буде забезпечуватися глибина ходу робочих органів  $h_{\max} = 353 \text{ мм}$  при твердості ґрунту  $q_{\max} = 4,0 \text{ МПа}$  –  $U_{\text{КТР}} = 5600 - 11500 \text{ Н}$ .

Отримані значення перевищують значення максимально можливого навантаження на одне колесо, яке складає  $U_{\text{Кmax}} = 3330 - 7060 \text{ Н}$ , без використання додаткових засобів довантаження.

Отже, при існуючій конструкції машини та при твердості ґрунту 4,0 МПа забезпечити максимальну глибину ходу робочих органів ( $h_{\max} = 353 \text{ мм}$ ) неможливо. Таку глибину ходу можна забезпечити при значно меншій твердості ґрунту.

Варто мати на увазі, що при спіранні машини тільки на голчасті колеса і

причіпний пристрій трактора (умови, при яких обчислювалося максимально можливе навантаження на голчасте колесо) вертикальне навантаження на причіпний пристрій трактора значно перевищить величину навантаження, що допускається на нього для тягового класу тракторів, з якими воно укомплектовується.

Тому для довантаження голчастих коліс для їх проникнення в ґрунт на глибину 353 мм при твердості ґрунту 4 МПа було прийнято рішення використати пружини силою пружності при максимальній деформації  $P_{ПРЗ} = 2940 \text{ Н}$  – по дві пружини на одне колесо та додатковий вантаж – масою 22 кг. За таких умов голчасті колеса працюватимуть на заданій глибині.

У результаті проведеного розрахунку отримані наступні значення зусиль на штоці гідроциліндра: зусилля, необхідне для утримання голчастих коліс у робочому положенні,  $P_{ЦТР} = 36300 \text{ Н}$ ; максимальне зусилля на штоці  $P_{МАХ} = 78000 \text{ Н}$ . Отже, працездатність циліндра забезпечується.

Голка голчастого колеса має достатню міцність, про що засвідчують проведені розрахунки, а результати зведено до табл. 3.2.

Таким чином, використовуючи голчасті колеса як робочий орган для підживлення у садах ми, по-перше, ошадно використовуємо добриво через цільове їх внесення; по-друге, мінімально руйнуємо поверхневий шар ґрунту, оберігаючи площу від можливих водної чи вітрової ерозій.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, Pages 36-42.
2. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
3. Andrii Babii, Bohdan Levytskyi, Taras Dovbush, Mariia Babii, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Volodymyr Valiashek. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 609-616.
4. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
5. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12.
6. Precision Planting FurrowJet : веб-сайт. URL: [FurrowJet | Продукція | Точність посадки | Аграрні технології та агрономічні рішення \(precisionplanting.com\)](https://precisionplanting.com).
7. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. *Materials Science*, 2021, 56(4), P. 466–471.
8. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.
9. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників*, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.

10. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.

11. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

12. Бабій А.В. Причіпний пристрій широкозахватної машини / Бабій А.В., Коноваленко С.І., Бабій М.В., Цепенюк М.І. / Деклараційний патент на корисну модель 140142 А01В 59/06 (2006.01). Заявлено 24.06.2019, u201907015 опубліковано 10.02.2020, бюл. № 3/2020.

13. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». Харків, 2014. С.112–118.\

14. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проектування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

15. Бабій А.В., Бабій М.В., Вічко О.І. Пристрій для визначення кількості та рівномірності розпилення продукту робочим органом штангового обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 141105 В05В 3/00, В05В 12/00, G01F 3/36 (2006.01); заявл. 16.07.2019, u201908385, опубл. 25.03.2020, бюл. № 6/2020.

16. Бабій А.В., Бортник І.М., Сташків М.Я., Олексюк В.П. Штанга обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 137527 А01М11/00, А01М7/00; заявл. 15.04.2019, u201903846; опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

17. Бабій А.В., Брошак І.С., Мартинюк В.В. Пристрій для прикореневого підживлення вегетуючих рослин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.68-69.

18. Бабій А.В., Головецький І.В., Гладь Ю.Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", ЦНТУ. 2023. С.227-236.

19. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. *Центральноукраїнський науковий вісник*. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)\_І. С. 216-226.

20. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

21. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В., Господарський Я.Я., Сікорський С.П. Механізм зміни ширини колії. Деклараційний патент на корисну модель 73090 А01В 51/00; заявл. 01.03.2012, опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.

22. Бабій М. В. Дослідження роботи енергозберігаючого приводного механізму косарки / Марія Василівна Бабій, Андрій Васильович Бабій // *Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 149-161. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).*

23. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.

24. Головецький І.В., Бабій А.В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 134-143.

25. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

26. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / За ред. Є.П. Желібо, В.М.Пічі. Львів: „Новий світ–2000”, 2002. – 328 с.

27. Завінський П., Бабій В. Раціональне землеробство як захід боротьби з вітровою ерозією ґрунтів. Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Т.: ГОЛЧАСТЕ КОЛЕСО, 2023. С.23-24.

28. Завінський П., Головецький І.В., Блащак Б.О. Використання інноваційних підходів при сільськогосподарському виробництві задля збереження ґрунту. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] – Луцьк: ЛНТУ, 2023. С.66-67.

29. Ластівка М.М. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти аграрних технікумів і коледжів зі спеціальності 208 Агроінженерія. *Ладизинський коледж*, 2019. 374 с.

30. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.

31. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню

обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.

32. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.

33. Лещак Р.Л., Бабій А.В., Барна Р.А., Бабій М.В., Гіряк Р.С., Сиротюк А.М. Корозійна тривкість покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача. ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ. Том 58, №2. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2022. С. 116–121.

34. Лімонт А.С., Мельник І.І., Малиновський А.С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.

35. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.

36. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.

37. Підживлювачі ПП «Агрореммаш-Плюс» : веб-сайт. URL: <https://agroremmash-plus.com/ua/ssylka-na-kategoriyu-ru-3/487-in-ektsijnij-metod-pidzhivlennya-kultivatorami-vid-agroremmash-plyus>.

38. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

39. Техніка для підкореневого живлення. : веб-сайт. URL: [Техніка для підкореневого внесення добрив \(mir-mts.com.ua\)](http://mir-mts.com.ua).

## ДОДАТКИ