

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

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення надійності агрегату для внесення рідких компонентів у
грунт з обґрунтуванням параметрів системи навішування робочого обладнання

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МГм
спеціальності

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Дем'янчук А. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.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

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Дем'янчуку Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення надійності агрегату для внесення рідких компонентів
у ґрунт з обґрунтуванням параметрів системи навішування робочого обладнання

Керівник роботи

Бабій Андрій Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» 11 2025 року № 4/7-969

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи

Продуктивність машини за годину основного часу 3-4,5 га/год; робоча швидкість на основних операціях 7-10 км/год; глибина закладання робочої рідини 8-16 см; потужність, що відбирається для приводу насоса при частоті обертання ВВП трактора 9с^{-1} 9 кВт; сила тяжіння бака з комунікацією, $G_1 = 4,75 \text{ кН}$; сила тяжіння рами, $G_2 = 2,0 \text{ кН}$; сила тяжіння осі з балансирами, $G_3 = 4,67 \text{ кН}$; сила тяжіння карданної передачі з насосним агрегатом, $G_4 = 1,0 \text{ кН}$; сила тяжіння навісного пристрою, $G_5 = 10,5 \text{ кН}$; сила тяжіння пристрою для внесення нематичидів до ґрунту, $G_6 = 0,35 \text{ кН}$; сила тяжіння культиватора КРН-5.6, $G_7 = 8,20 \text{ кН}$; сила тяжіння катків для прикочування ґрунту, $G_8 = 1,0 \text{ кН}$; сила тяжіння рідини, що заправляється, $G_9 = 25 \text{ кН}$; загальна сила тяжіння самої машини, $G_{10} = 23 \text{ кН}$.

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

Вступ. 1. Загально-технічний розділ. 2. Аналітико-дослідницький розділ.

3. Пректно-рекомендаційний розділ.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; Нематоди. Їх вплив на оточуючий світ. Машина для внесення рідких нематичидів в ґрунт. СК. Гідронавіска. СК. Машина для внесення рідких пестицидів в ґрунт вдосконалена. СК. Деталювання. Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загально-технічний розділ	19.11.25	
2.	Аналітико-дослідницький розділ	29.11.25	
3.	Проектно-рекомендаційний розділ	11.12.25	
4.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	16.12.25	
5.	Загальні висновки	17.12.25	
6.	Графічна частина	19.12.25	

Студент

_____ (підпис)

Дем'янчук А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабій А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності боротьби з ґрунтовими нематодами шляхом удосконалення технічних рішень і параметрів машин для внесення рідких нематодіцидів у ґрунт. Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено такі завдання: проаналізувати біологічні особливості та шкідливість основних видів нематод сільськогосподарських культур; обґрунтувати комплекс агротехнічних, хімічних і механізованих заходів боротьби з ними; виконати аналіз конструкцій і техніко-експлуатаційних характеристик базових машин для внесення рідких нематодіцидів; визначити навантаження та напружений стан елементів рами машини; розробити рекомендації щодо підвищення міцності та надійності конструкції.

Об'єктом дослідження є технологічний процес механізованого внесення рідких нематодіцидів у ґрунт при вирощуванні сільськогосподарських культур, а також машини й агрегати, що використовуються для реалізації цього процесу.

Предметом дослідження є конструктивні та силові параметри машин для внесення рідких нематодіцидів у ґрунт, зокрема елементи рами і поперечини навіски, умови їх навантаження під час роботи та транспортування, а також вплив цих параметрів на надійність і довговічність машини.

Наукова цінність роботи полягає в узагальненні сучасних уявлень про взаємодію ґрунтових нематод із кореневою системою рослин та в обґрунтуванні ролі механізованих способів внесення нематодіцидів у системі інтегрованого захисту рослин. У роботі уточнено характер навантажень, що діють на конструктивні елементи машин для внесення рідких нематодіцидів, і виконано аналітичні розрахунки напруженого стану поперечини рами, що дозволяє науково обґрунтувати шляхи підвищення її міцності.

Практична цінність результатів полягає в можливості використання отриманих розрахунків і рекомендацій при проєктуванні, модернізації та експлуатації машин для внесення рідких нематичидів у ґрунт. Запропоновані підходи до підсилення конструкції рами сприяють підвищенню надійності та довговічності агрегатів, зменшенню простоїв через відмови, а також забезпечують можливість їх ефективного використання з більш потужними енергетичними засобами. Матеріали роботи можуть бути використані в навчальному процесі та практичній діяльності аграрних підприємств.

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

Ключові слова. Технологічний процес, ґрунтові нематоди; внесення, силові та конструктивні параметри, напружений стан.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1 Аналіз розвитку культурних рослин в умовах паразитування на них нематод	12
1.2 Обґрунтування заходів боротьби з нематодами	28
1.3 Приклади використання сучасних засобів механізації при боротьбі з нематодами	33
1.4 Обґрунтування теми та завдань кваліфікаційної роботи	36
2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	38
2.1 Аналіз техніко-експлуатаційних характеристик базових машин для внесення рідких нематодцидів у ґрунт	38
2.2 Організація роботи агрегату	45
2.3 Обґрунтування параметрів транспортуючої здатності машини для внесення рідких нематодцидів у ґрунт	47
2.4 Розрахунок балансу тяги робочого агрегату.....	51
3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	55
3.1 Визначення навантажень на поперечину рами до якої закріплено механізм гідронавіски	55
3.2 Розрахунок напруженого стану поперечини	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
4.1 Заходи охорони праці при внесенні нематодцидів у ґрунт культиваторами ..	69
4.2 Надзвичайні ситуації, що виникають при механізованому внесенні нематодцидів у ґрунт.....	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ВСТУП

Сучасне рослинництво функціонує в умовах зростаючого антропогенного навантаження, інтенсифікації землеробства та постійного тиску з боку фітопатогенних організмів, серед яких особливо небезпечними є ґрунтові нематоди. Ці паразитичні безхребетні, що мешкають у верхніх горизонтах ґрунту, здатні вражати кореневу систему широкого спектра сільськогосподарських культур, провокуючи значні втрати урожаю та зниження якості продукції. У багатьох країнах світу збитки від нематод у рослинництві оцінюються десятками відсотків від потенційного врожаю, а їхній вплив на агроєкосистеми нерідко має прихований, кумулятивний характер. Тому проблема контролю та попередження поширення нематод у ґрунті є одним із ключових чинників, що визначають ефективність і стабільність сільськогосподарського виробництва.

Актуальність боротьби з нематодами зумовлена не лише прямими економічними втратами, але й екологічними та технологічними ризиками. Пошкоджена коренева система втрачає здатність забезпечувати рослину вологою та елементами живлення, що веде до пригнічення росту, зниження стійкості до хвороб і стресових умов. Уражені посіви часто створюють вторинні осередки поширення інфекцій, сприяють розвитку грибкових хвороб та знижують родючість ґрунту у довгостроковій перспективі. На багатьох полях нематоди десятиліттями зберігають життєздатність у формі цист або яєць, що значно ускладнює контроль за їх популяцією традиційними агротехнічними методами.

Водночас сучасна наука і практика пропонують комплексний підхід до захисту ґрунту від нематод, у якому важливу роль відіграють спеціалізовані технічні засоби. Використання машин і механізмів дозволяє ефективніше вести боротьбу із шкідниками, забезпечуючи рівномірне внесення нематицидів, глибоке оброблення ґрунту, провокацію проростання цист або механічне зниження чисельності паразитів. Інженерні рішення в цій сфері швидко

вдосконалюються, адже аграрний сектор потребує технологій, які одночасно забезпечують ефективність боротьби зі шкідниками, дотримання екологічних норм та економічну доцільність використання техніки.

Машини для боротьби з нематодами виконують низку важливих функцій, поєднуючи у собі можливості механічного, хімічного та біотехнологічного впливу на шкідників. Наприклад, глибокорозпушувачі та культиватори сприяють руйнуванню осередків локалізації паразитів і структурних порожнин, у яких зберігаються цисти. Машини для ін'єкційного або локально-стрічкового внесення нематодіцидів забезпечують точність дозування препарату, мінімізацію його втрат і зменшення ризику забруднення навколишнього середовища. Водночас обладнання для внесення біопрепаратів або органічних добрив сприяє формуванню у ґрунті корисної мікрофлори, яка здатна природним чином стримувати розвиток нематод. Такий підхід відповідає сучасним принципам сталого землеробства, де техніка стає інструментом не тільки для підвищення врожайності, але й для забезпечення довгострокової екологічної рівноваги в агроценозах.

Належний технічний супровід ґрунтозахисних заходів дає змогу комплексно вирішувати проблему, регулюючи щільність ґрунту, його аерацію, вологість, рівномірність перемішування органічних залишків, а також забезпечуючи створення умов, несприятливих для розвитку нематод. Такі дії мають системний характер, адже ефективність боротьби з паразитами залежить від поєднання технологічних операцій протягом усього періоду підготовки та використання ґрунту. Важливо також враховувати, що кожен тип сільськогосподарських культур реагує на зараження нематодами по-різному, а тому технічні заходи завжди повинні бути адаптовані до конкретних умов вирощування, типу ґрунту та ступеня ураження.

У сучасних умовах впровадження технологій точного землеробства забезпечує новий рівень контролю над поширенням нематод. Системи картування, датчики стану ґрунту та автоматизоване управління машинами дозволяють фермерам застосовувати засоби боротьби локально, лише в тих

зонах, де виявлено підвищену концентрацію шкідників. Це значно зменшує витрати препаратів та енергоресурсів, підвищує рентабельність виробництва і знижує екологічне навантаження на агроландшафт. Тож машинні технології є ключовою ланкою у сучасній концепції інтегрованого захисту рослин від ґрунтових нематод.

Усе це підкреслює важливість дослідження технологій та технічних засобів для боротьби з нематодами в ґрунті. У межах даної роботи розглядаються основні підходи до контролю популяцій цих шкідників, аналізуються принципи дії та конструктивні особливості техніки, яка застосовується в аграрних господарствах, а також оцінюється ефективність різних методів оброблення ґрунту. Метою дослідження є узагальнення сучасних технологічних рішень, визначення їх ролі у забезпеченні стійкого землеробства та обґрунтування перспектив подальшого вдосконалення машин для боротьби з нематодами.

Отже, проблема контролю нематод у ґрунті є комплексною та багатогранною, а сучасні машини відіграють визначальну роль у забезпеченні її ефективного вирішення. Науково-технічний прогрес у сфері аграрної техніки відкриває можливості для розроблення нових підходів до захисту ґрунтів, що дозволить підвищити продуктивність землеробства, зберегти родючість ґрунтів і створити передумови для сталого розвитку аграрної галузі.

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз розвитку культурних рослин в умовах паразитування на них нематод

Більшість людей навіть не замислюється, що поруч із нами існує прихований мікросвіт, населений організмами, які майже неможливо побачити неозброєним оком. Це світ тонких, ниткоподібних істот, від грецького слова “*нематос*”, що означає «нитка». Саме від цього терміна походить сучасна назва – нематоди.

Нематоди належать до групи безхребетних тварин, що входять у тип первиннопорожнинних червів та клас круглих черв'яків. Ця численна й надзвичайно різноманітна група демонструє відчутний еволюційний прогрес, який проявляється у зростанні популяцій, широкому розселенні у різних екосистемах і постійному ускладненні видової структури. Вони пристосувалися практично до всіх середовищ існування – від водних глибин до верхніх шарів ґрунту, деякі навіть паразитують на рослинах і тваринах.

Розглядаючи проблему з позицій сільського господарства, важливо оцінити, який вплив ці організми справляють на культурні рослини та які заходи дають можливість ефективно контролювати їх поширення. Особливої уваги потребують наслідки діяльності фітопатогенних нематод для таких культур, як картопля, буряк, суниця та низка овочевих і плодових рослин. Вони здатні проникати в кореневу систему, порушувати її функціонування й тим самим значно зменшувати продуктивність рослини.

Встановлення механізмів зараження, визначення фаз розвитку нематод і дослідження ефективних методів профілактики та знешкодження є важливими складовими забезпечення стабільних урожаїв. Саме від своєчасного виявлення осередків зараження та правильного застосування методів боротьби залежить майбутня врожайність та економічний результат господарювання.

Одним із найпоширеніших шкідників є кореневі галові нематоди (*Meloidogyne marioni*). Це дрібні ниткоподібні черв'яки, що заселяють корені та

провокують утворення характерних здуттів – галів. Такі утворення порушують нормальне живлення рослин, ускладнюють доступ води та поживних речовин, провокують пригнічення росту, в’янення та суттєве зниження урожайності. На рисунку 1.1 зазвичай демонструють характерні прояви ураження кореневою галовою нематодою.

Вивчення цих організмів і розроблення ефективних способів боротьби з ними є не лише науковою цікавістю, а й важливою практичною потребою сучасного землеробства. Саме тому дослідження нематод і методів контролю їх чисельності має велике господарське значення, адже від цього залежить стан посівів, їх стійкість до хвороб і загальна продуктивність агроценозів.

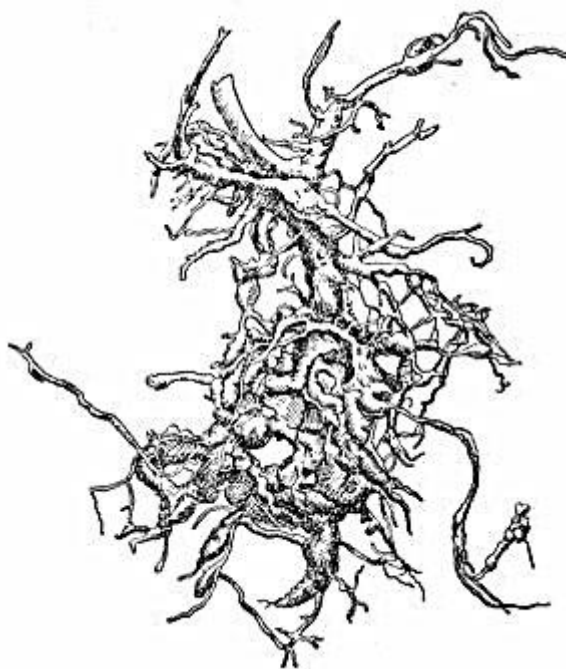
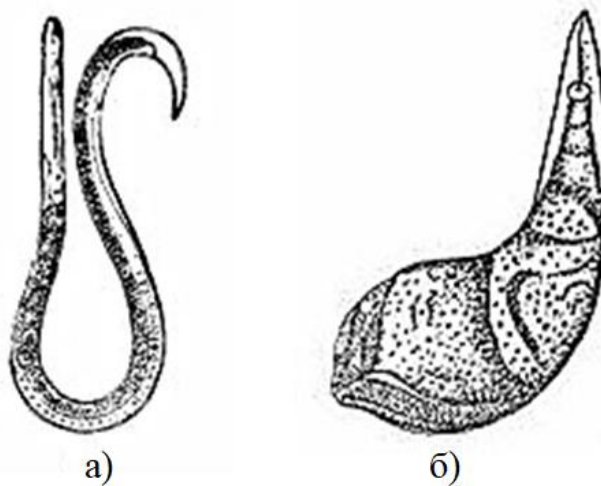


Рисунок 1.1 – Кореневі галоподібні нематоди

Самці червоподібні (довжина до 2 мм), рис. 1.2, а, самки роздуті (довжина близько 1 мм), рис. 1.2, б.



а – самці; б – самки
Рисунок 1.2 – Кореневі нематоди

Ці паразити належать до числа багатоїдних шкідників, здатних уражати понад дві тисячі видів рослин. Серед їхніх жертв – овочеві, технічні, декоративні культури, багаторічні трави, а також різноманітні деревні й чагарникові породи. Їхня плодючість і здатність пристосовуватися до різних господарів роблять нематод одними з найнебезпечніших ґрунтових паразитів.

Повний цикл розвитку триває приблизно від трьох тижнів до півтора місяця. Самка, що знаходиться всередині сформованого галу на корені, за своє життя здатна відкласти до двох тисяч яєць. Личинка проходить перше линяння ще перебуваючи в яйці, після чого виходить назовні, проникає в кореневі тканини та активно живиться соками рослини. У подальшому вона трансформується або в рухомого самця, який залишає гал і шукає самку, або в нерухому самку, що продовжує паразитувати всередині корневих утворень.

Формуванню й швидкому зростанню популяцій нематод сприяє підвищена вологість ґрунту та стабільно тепла температура в межах 20–30 °С. У деяких регіонах їх розвиток підсилюється при кислотності ґрунту близько рН 5,5–5,8. Вплив на цикл розвитку також мають структура ґрунту, рівень органічної речовини та особливості удобрення.

Ознаки пошкоджень.

Рослини, уражені кореневими нематодами, зазвичай слабшають, повільно

ростуть і схильні до в'янення в теплу погоду. Коренева система у таких рослин суттєво змінюється: з'являється мало тонких корінців, натомість утворюються дрібні, округлі чи витягнуті ділянки ураження, що поступово змінюють колір – від тьмяно-жовтого на ранній стадії до темно-коричневого при прогресуванні хвороби. За сильного зараження порушується всмоктування води й поживних речовин, що проявляється у пригніченому рості, хлорозі та симптомах нестачі елементів живлення. У деяких культур на коренях формуються дрібні здуття або потовщення, які слугують резервом для нагромадження органічних речовин.

Окрім корневих паразитів, значної шкоди завдають і листові та стеблові нематоди.

Листові нематоди роду *Aphelenchoides* – це крихітні, майже прозорі черв'ячки довжиною до 1 мм, які здатні швидко пересуватися у вологих тканинах.

Симптоми ураження листовою нематодою.

Спочатку на листках з'являються світлі ділянки, які згодом набувають жовтуватого відтінку та мають своєрідний «серпанковий» вигляд. Уражені тканини стають надзвичайно тонкими, інколи нагадуючи пергамент. Зовні ці пошкодження можуть бути схожі на бактеріальні плями, оскільки формуються сухі, нерівні за формою некротичні зони. У подальшому листя буріє, висихає або загниває, а рослина поступово слабне й може повністю загинути.

Поширення нематод відбувається переважно від ураженої рослини до здорової. Значну роль у їх розселенні відіграють вода та ґрунт, що переноситься з інфікованих ділянок. Личинки здатні зберігатися в ґрунті протягом багатьох місяців, витримуючи навіть тривалі періоди мінусових температур, що робить їх важковикорінюваними шкідниками.

Стеблова нематода.

Представники роду *Ditylenchus* – це тонкі, майже ниткоподібні черв'ячки завдовжки до 1,7 мм, які завдають суттєвої шкоди квітковим і декоративним культурам. Вони уражають не лише стебла, а й листки та квітки. Стеблові

нематоди, як правило, спеціалізуються на певних видах рослин, тому рідко переходять на інші ботанічні групи. Проникають вони з ґрунту через кореневу систему, після чого личинки просуваються всередину тканин стебел і листків. На відміну від листових нематод, стеблові провокують неприродне потовщення тканин у місцях ураження. Такі рослини виглядають деформованими: їхні стебла й листки вкорочені, місцями потовщені або з характерними здуттями. Спочатку уражені ділянки мають блідний, майже вимитий колір, але з часом темніють і відмирають.

Серед великої кількості нематод, що мешкають у ґрунті та рослинних тканинах, найбільшої уваги заслуговують фітогельмінти – паразитичні види, що розвиваються безпосередньо всередині рослин. Вони здатні вражати різноманітні органи – від коренів до надземної частини – як у сільськогосподарських, так і в декоративних чи лісових культур. Їх діяльність часто призводить до загибелі рослин, зниження ефективності внесення мінеральних добрив та поливу, а також значного погіршення якості продукції. Деякі види нематод виконують роль переносників небезпечних вірусів, бактерій та грибних патогенів, що додатково погіршує фітосанітарний стан посівів.

Економічна шкода, якої завдають ці паразити, може бути надзвичайно великою. Особливо небезпечним видом є золотиста картопляна цистоутворююча нематода *Globodera rostochiensis* (Woll.) Behrens – один із найагресивніших шкідників картоплі. Вона здатна знижувати врожайність культури до критичних рівнів. Через високу шкодочинність та складність боротьби цей вид має обмежене поширення та внесений до переліку карантинних організмів, контроль за якими здійснюється на державному рівні. Цисти золотистої нематоди зберігають життєздатність десятиліттями, що робить її боротьбу особливо складною та вимагає жорстких заходів фітосанітарного контролю.

Картопляна нематода паразитує переважно на рослинах родини пасльонових – у першу чергу на картоплі, а також на томатах та деяких інших

культурах. Оселяючись у кореневій системі, вона спричиняє розвиток захворювання, яке називають глободерозом. Це одна з найнебезпечніших ґрунтових інфекцій для картопляних плантацій.

На ділянках, де картоплю вирощують без зміни культури роками, шкодочинність нематоди зростає особливо сильно. У таких умовах врожайність може скорочуватися на 70 % і навіть більше. Через ослаблення рослин глободерозом ділянки швидше заселяються колорадським жуком, адже ослаблені рослини стають привабливішими для шкідника. Окрім того, уражені насадження значно частіше потерпають від фітофторозу, оскільки інфіковані нематодою рослини мають нижчий імунітет та гіршу стійкість до грибних інфекцій.



Рисунок 1.3 – Уражена нематодою рослина

Біологія картопляної нематоди.

Картопляна нематода здатна тривалий час виживати у ґрунтовому середовищі у вигляді цист – це висохлі оболонки відмерлих самок, усередині

яких зберігаються яйця та личинки. З настанням теплих умов на початку літа, під впливом хімічних сигналів, що надходять від корневих виділень картоплі, личинки виходять із цист. Ці організми мають мікроскопічні розміри та червоподібну форму, завдяки чому легко проникають у тканини кореня.

Після проникнення в корінь личинки втрачають здатність активно рухатись і починають виділяти специфічні ферментні речовини. Під їх впливом у зоні живлення, поблизу переднього кінця тіла паразита, у корневих тканинах формується група гіпертрофованих клітин, які перетворюються на так звані гігантські клітини. У цих клітинах інтенсивно накопичуються поживні речовини, що забезпечують харчування і подальший розвиток нематоди.

Таке втручання у структуру і функціонування кореневої системи суттєво порушує переміщення води та органічних речовин у рослині. У результаті уражені рослини слабшають, гірше розвиваються та стають набагато сприйнятливішими до інших хвороб.



Рисунок 1.4 – Цисти нематоди на корінні картоплі

Ураження картопляною нематодою призводить до різкого пригнічення ростових процесів рослини. Коренева система формується слабкою й недорозвиненою, через що рослина не може забезпечити себе достатньою кількістю води та поживних речовин. Надземна частина також потерпає: кущі

відстають у рості, формують значно менше стебел, а цвітіння або сильно ослаблене, або повністю відсутнє. Першими симптомами є пожовтіння нижніх листків, їх поступове в'янення і засихання, що зумовлено порушенням водного та мінерального живлення. Бульбоутворення різко знижується: бульби виростають дрібними, а при високому ступені ураження взагалі можуть не формуватися. На сильно заселених ділянках спостерігаються характерні «пліщини» – місця, де рослини зовсім не розвиваються або гинуть на ранніх етапах росту.

У процесі розвитку молоді самки, що завершили стадію живлення, збільшуються у розмірах і розширюють тіло настільки, що воно прориває кореневі тканини та частково виступає назовні, тоді як передній (головний) кінець залишається зануреним у корінь. Усередині їхнього тіла формується від кількох десятків до кількох сотень яєць. Після завершення репродуктивної фази самка відмирає і перетворюється на цисту: тіло набуває округлої форми, кутикула товщає та твердне, створюючи надійний захисний шар для ембріонів і личинок. Починаючи з періоду цвітіння картоплі, зрілі цисти вже можна побачити неозброєним оком на корінні – вони мають вигляд кулястих утворень білого, жовтого або коричневого кольору, розміром приблизно з макове зернятко. Під час механізованого або ручного збирання урожаю цисти легко відпадають від коренів і потрапляють у ґрунт. Завдяки високій стійкості їх кутикули, вони здатні зберігати життєздатність понад десять років, навіть за повної відсутності рослин-господарів.

Розповсюдження картопляної нематоди відбувається майже виключно з частинками ґрунту, які переносяться разом із бульбами картоплі, коренеплодами, цибулинними культурами, а також із будь-яким садивним матеріалом, що має кореневу систему. Значну роль у поширенні відіграють сільськогосподарські машини, інвентар, тара, взуття людей, домашні тварини чи птахи, а також природні явища – зливи, паводкові та поливні води, вітер. Ризик стрімкого збільшення чисельності нематоди різко зростає за умов тривалого вирощування картоплі на одному місці та при насиченості сівозміни

культурами родини пасльонових. Зазвичай масова поява симптомів сильного ураження спостерігається на п'ятому-сьомому році після занесення шкідника на ділянку.

Шкідливість нематоди

Потенційна зона поширення цього фітопаразита повністю збігається з територіями, де вирощується картопля як основна чи промислова культура. Ступінь шкодочинності змінюється залежно від кліматичних умов, типу ґрунту, технології обробітку та структури посівів. У сприятливих для нематоди умовах вона може спричиняти надзвичайно високі збитки – від помітного зниження урожайності до повної її втрати. У регіонах, де переважають легкі ґрунти, відсутня правильна сівоzmіна і картопля вирощується багато років поспіль, зараження має особливо тяжкі наслідки та потребує довготривалих карантинних і агротехнічних заходів.



Рисунок 1.5 – Уражена нематодою і здорова рослини

Картопляна нематода особливо активно поширилася на присадибних і дачних ділянках, де традиційно вирощують картоплю у великій кількості. Саме тут вона завдає найбільших збитків, адже умови для її розмноження є надзвичайно сприятливими. Постійне вирощування картоплі на одному місці, низький рівень агротехнічної культури, взаємний обмін посадковим матеріалом

між господарями, використання харчових бульб для садіння та широке застосування нестійких до шкідника сортів – усе це створює ідеальні умови для швидкого розвитку та поширення паразита.

Не менш важливою причиною розширення ареалу нематоди стало виділення великими господарствами земельних масивів під колективні городи населення. Робота на цих ділянках із застосуванням спільної сільськогосподарської техніки сприяла перенесенню зараженого ґрунту на поля виробничих сівозмін. Хоча прямі економічні втрати у великих підприємствах поки що здебільшого незначні, господарства зазнають збитків через дію карантинних обмежень, які ускладнюють або повністю забороняють продаж інфікованої картоплі.

Фактори, що сприяють поширенню картопляної нематоди.

У роки реформ спостерігалось значне погіршення рівня агротехніки, що створило умови для масового розповсюдження шкідника. Той самий інвентар та техніка нерідко використовувалися як на приватних городах, так і в полях господарств, що спрощувало перенесення цист. Дрібні розміри паразита дозволяють йому поширюватися пасивно – цисти легко переносяться з грудочками ґрунту на взутті, колесах техніки чи разом із дощовими потоками.

Морфологічні та біологічні властивості нематоди значно ускладнюють боротьбу з нею. Товста багат шарова кутикула цист робить їх стійкими до різних несприятливих факторів і більшості хімічних засобів. Цисти розташовуються на глибині орного шару, де вони здатні зберігати життєздатність багато років. Паразит вирізняється високою плодючістю, а частина цист може залишатися у фазі спокою навіть за появи сприятливих умов для розвитку – зокрема при вирощуванні картоплі на полі.

Складність ситуації посилюється тим, що в Україні значною мірою відсутні сорти картоплі, стійкі до золотистої картопляної цистоутворюючої нематоди, та відсутні дозволені ефективні хімічні препарати для боротьби з цим карантинним шкідником. Через це головними методами контролю наразі залишаються сівозміна, агротехнічні заходи та ретельний контроль за

переміщенням посадкового матеріалу.

Бурякова нематода.

Бурякова (*Heterodera schachtii*) нематода, зображена на рис. 1.6, поширена в основних бурякосійних регіонах України – зокрема у Вінницькій, Черкаській, Сумській областях та ряді інших. Її життєвий цикл включає три основні стадії: яйце, личинку та дорослу форму – самця і самку; завершальною фазою є утворення цисти, тобто відмерлої самки з яйцями і личинками всередині.

Яйця цього паразита мають характерну ниркоподібну форму. Інвазійна личинка – ниткоподібна, довжиною близько 0,44 мм і товщиною приблизно 0,025 мм. Після проникнення в корінь вона набуває булавоподібної форми. Доросла самка – біла, лимоноподібна, що добре помітно при огляді кореневої системи. Усі стадії розвитку відбуваються в коренях уражених рослин.

Навесні, коли температура орного горизонту перевищує +10 °С, а вологість ґрунту сягає понад 20 %, з цист виходять личинки другого віку. Вони активно рухаються в ґрунті, знаходять корені рослин-господарів і проникають у їх тканини, де й продовжують розвиток.



Рисунок 1.6 – Нематода бурякова

Плодючість бурякової нематоди надзвичайно висока: одна самка здатна

відкласти від 80–200 яєць, а за сприятливих умов їх кількість може перевищувати 500. Упродовж одного вегетаційного сезону шкідник формує від двох до чотирьох поколінь, що значно прискорює його накопичення в ґрунті. Особливу складність для захисних заходів становить стадія бурої цисти – відмерлої самки, оболонка якої надійно охороняє яйця та личинок від висихання, низьких температур і дії більшості хімічних препаратів. Саме тому повна ліквідація паразита у заражених ґрунтах практично неможлива, а головну увагу приділяють заходам, спрямованим на зниження його чисельності.

Найрезультативнішим шляхом оздоровлення ґрунту вважаються агротехнічні прийоми. На ділянках, де виявлено нематоду, за два-три роки до повернення цукрових буряків у сівозміну висівають культури, що не є рослинами-господарями і за своєю біологією сприяють зменшенню чисельності шкідника. До таких культур належать озима та яра пшениця, люцерна, еспарцет, горох й інші бобові. У цих агрофітоценозах личинки не можуть завершити цикл розвитку, тому поступово гинуть, а загальна популяція нематоди на полі скорочується до безпечного рівня.

Хімічні методи боротьби застосовують лише у випадках, коли зараженість перевищує економічно виправданий поріг, а саме за наявності понад 700 личинок у 100 см³ ґрунту. Використання нематоцидів потребує суворого дотримання регламентів, адже ці препарати мають значну токсичність і можуть впливати на корисну мікрофлору, структуру ґрунту та екологічний стан агроєкосистеми. Тому хімічний захист розглядається як допоміжний засіб і застосовується лише в поєднанні з правильно організованою сівозміною та іншими профілактичними заходами.

Нематода сунічна.



Рисунок 1.7 – Нематода сунична

Сунична нематода належить до особливо небезпечних карантинних шкідників і становить серйозну загрозу плантаціям суниці. Під мікроскопом вона має вигляд напівпрозорого, білуватого ниткоподібного гельмінта завдовжки близько 0,5–1 мм і товщиною 0,012–0,015 мм. Самці, як правило, дрібніші за самок. Паразит живе всередині рослинних тканин, переміщуючись між клітинами та заселяючи стебла, листкові пластинки, бруньки, квітки й навіть поверхню ягід. Вихід нематод із уражених тканин часто збігається з періодами підвищеної вологості та частих опадів, що створює оптимальні умови для їхнього поширення.

Зимівля шкідника відбувається у стадії дорослих особин, які зберігають життєздатність до початку весняної в *vegetation*. З настанням тепла самки починають відкладати яйця безпосередньо у тканинах рослин, і цей процес триває протягом усього періоду вегетації. Через 12–16 діб з яєць виходять личинки, що після кількох линянь перетворюються на статевозрілих особин і формують нові покоління. За один сезон сунична нематода може розвинути кілька генерацій, тому на уражених рослинах іноді накопичуються тисячі паразитів.

Паразитуючи на суниці, нематода живиться клітинним соком і виділяє продукти обміну, які потрапляють у міжклітинні простори та спричиняють токсичні ушкодження. У результаті цього рослина втрачає здатність до

нормального росту та розвитку. Уражені кущі набувають карликового вигляду, черешки потовщуються та викривляються, листові пластинки деформуються, а квітконоси стають короткими, неправильно сформованими й часто не здатні до утворення повноцінних квіток. У деяких випадках загальний вигляд рослини нагадує своєрідну «пухку масу», подібну до суцвіття цвітної капусти. Листя може вкриватися червонуватими чи бурими плямами, квітложа деформуються, а ягоди або не формуються зовсім, або мають потворну форму. Це призводить до різкого зниження врожайності.

Найяскравіше симптоми проявляються у першій половині літа – під час цвітіння та плодоношення, а також восени, коли утворюється молоде листя та закладаються нові бруньки. Поширюється шкідник переважно з інфікованим садивним матеріалом у всіх стадіях розвитку. До додаткових шляхів поширення належать дощові та поливні води, рослинні рештки, заражені бур'яни та інвентар, який контактував із хворими рослинами.

Вільноживучі та ґрунтові нематоди, рис. 1.8 - 1.9.

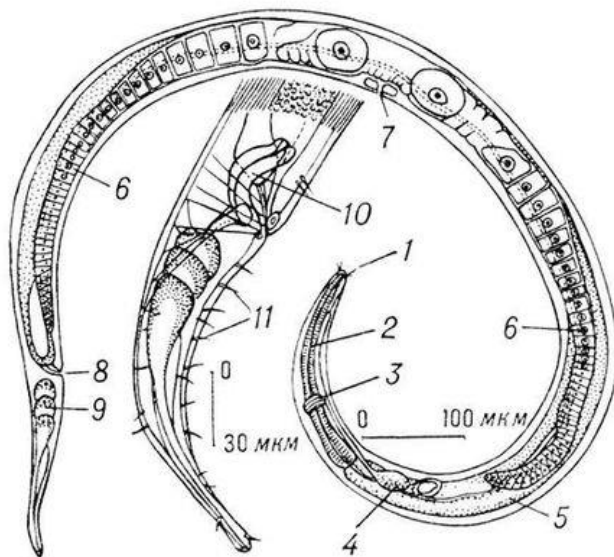


Рисунок 1.8 – Будова вільноживучої нематоди *Axonolaimus paraspinosus*

На рисунку наведено морфологічні особливості цієї вільноживучої нематоди. У загальному вигляді самка (А) демонструє характерну довгасту форму тіла з розташуванням основних органів. Хвостовий кінець самця (Б)

відзначається спеціалізованими структурами для розмноження. Основні елементи будови: головні щетини (1), стравохід (2), нервово кільце (3), шийна залоза (4), кишечник (5), статеві залози (6), жіночий статевий отвір (7), анус (8), хвостові залози (9), спікули (10) та хвостові щетини (11).

Ці структури забезпечують нематоді виконання життєво важливих функцій – від пересування та харчування до розмноження, і є типовими для представників ряду вільноживучих нематод.

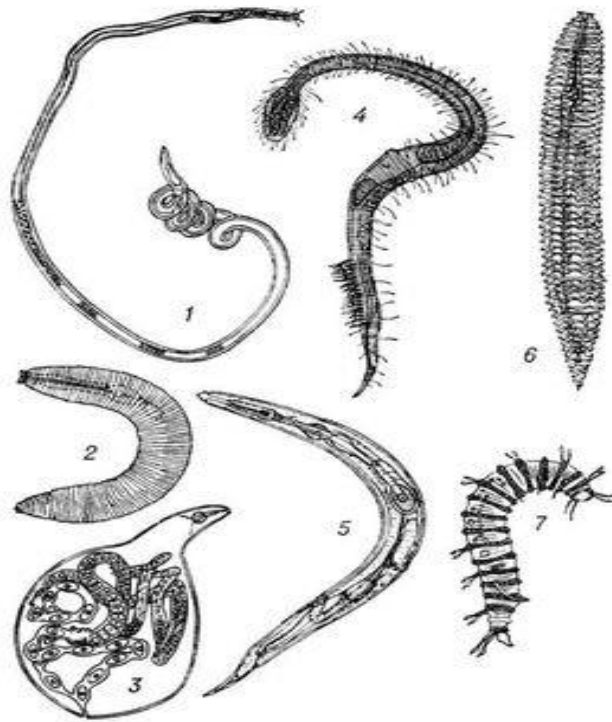


Рисунок 1.9 – Нематоди

На рисунку 1.9 представлені різні види нематод, які відрізняються морфологічними особливостями та біологічними характеристиками. Позначення на рисунку відповідають таким видам:

1 – *Ascolaimas elongatus*; 2 – *Criconemoides limitaneum*; 3 – *Meloidogyne* sp.; 4 – *Draconema cephalatum*; 5 – *Diploscapter pachys*; 6 – *Criconema cobbi*; 7 – *Desmoscolex vanoyci*.

Ці представники демонструють різноманіття нематодної фауни та ілюструють особливості будови, що впливають на їхню екологію, спосіб життя

та шкідливість у ґрунтових і рослинних екосистемах.

Ґрунтові нематоди, рис. 1.10 – 1.11.

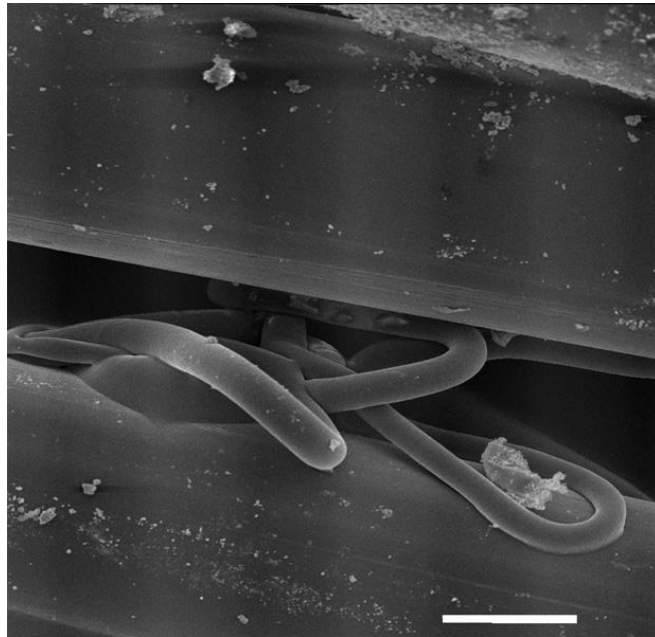


Рисунок 1.10 – Ґрунтові нематоди

На фотографії зображена нематода, яка розташована на фоні волосіні, використаної як опора для обростання мікрофлорою в ґрунті. На знімку видно дві паралельні жилки, між якими знаходиться черв'як, що розташувався у проміжку посередині. Такий спосіб підготовки матеріалу дозволяє чітко спостерігати морфологічні особливості нематоди та її взаємодію з субстратом у лабораторних умовах.

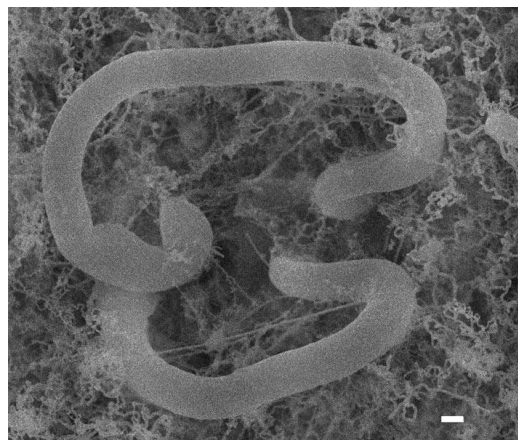


Рисунок. 1.11 – Ґрунтова нематода в іншому середовищі

На фотографії представлена ґрунтова нематода, розташована в іншому

субстраті – так званій мінеральній ваті, що використовується для спостереження та аналізу її життєдіяльності в лабораторних умовах.

Проведений аналіз підтвердив, що вплив цих паразитів на рослини не можна недооцінювати. Паразитування нематод негативно позначається на рості та розвитку культур, що, у свою чергу, відображається на продуктивності сільськогосподарських підприємств і якості вирощеної продукції. Саме тому питання контролю та профілактики нематод слід вивчати детально, а на його основі розробляти ефективні заходи щодо зниження чисельності та запобігання поширенню шкідників.

1.2 Обґрунтування заходів боротьби з нематодами

При помірній інтенсивності зараження ознаки ураження проявляються переважно на кореневій системі у вигляді характерних вузликових потовщень (рис. 1.12, а). У разі сильного зараження симптоми поширюються і на надземні частини рослин, що проявляється відставанням у рості, загальною хлоротичністю, недорозвиненістю генеративних органів, втратою декоративних якостей, а також рядом інших ознак, які за зовнішнім виглядом можуть нагадувати симптоми мінерального голодування.



Рисунок 1.12 – Галові нематодами

На кореневій системі уражених рослин спостерігаються численні галли різного розміру, часто дуже великі та неправильної форми, що багаторазово перевищують діаметр здорового коріння (рис. 1.12, б). Така симптоматика характерна для розвитку мелойдогинозу, який найчастіше зустрічається на овочевих культурах і рідко проявляється на деяких декоративних рослинах, наприклад, на бегоніях. Як зазначалося раніше, всі види овочевих культур є сприйнятливими до ураження галовими нематодами.

У тепличних комбінатах розроблені комплексні заходи боротьби з галовими нематодами, що включають фізичні (пропарювання ґрунту), хімічні (бромовання та внесення нематцидів), агротехнічні та біологічні методи (використання ловчих рослин та стійких сортів). Основним шляхом занесення нематод є заражена рослина (розсада) або неправильно підготовлений ґрунт.

Заходи боротьби під час росту культури поки що недостатньо розроблені, оскільки застосування високотоксичних системних препаратів обмежене. Одним із ефективних методів є обробка кореневої системи у водяній бані з температурою 45–50°C протягом 15–30 хвилин, залежно від виду рослини. При необхідності температуру можна підвищити до 55°C, але при цьому скорочується час експозиції до 5 хвилин. Така обробка повинна проводитися під час спокою рослини, а не в період активної вегетації. Ефективність методу можна підвищити, додавши у воду 0,02–0,03% розчин хлор- або фосфорорганічного інсектициду.

Також рекомендується стерилізувати посуд 4% розчином формаліну протягом 1 години або обробляти його кип'ятком. У разі можливості фізіологія рослини дозволяє видалити уражене коріння і вкоренити рослину у новому ґрунті. Для гарантованого знезараження ґрунту, що викликає сумнів щодо зараженості галовими нематодами, його достатньо обробити вологою до 90°C.

Найефективнішими є профілактичні заходи, спрямовані на запобігання занесенню та поширенню мелойдогинозу. До них належить правильна підготовка ґрунту (витримка протягом 6–8 місяців або стерилізація), карантин

нових рослин протягом двох місяців із контролем кореневої системи на наявність галових нематод, а також організація поливу таким чином, щоб запобігти розтікання поливної води та переносу шкідника.

Описані методи контролю ефективні переважно для обмежених обсягів уражених культур, наприклад для розсади. Проте при великих посівних площах такі способи практично неефективні, і у цьому випадку доцільно застосовувати хімічну обробку ґрунту. Розглянемо також заходи боротьби з нематодами на інших культурах.

Нематоди є карантинними об'єктами. Батьківщиною, наприклад, картопляної нематоди вважають гірські райони Анд у Південній Америці. Звідти шкідник був завезений до Європи, а пізніше поширився в Азію, Північну Америку та Африку. За останні 50 років картопляну нематоду зафіксовано в 42 країнах світу, попри те, що у багатьох із них, включно з Україною, вона має карантинний статус.

Самі паразитичні черв'яки не здатні долати великі відстані самотійно, тому їхнє поширення забезпечувалося людиною. Нематоди потрапляли на нові території разом із посадковим та посівним матеріалом, частинками ґрунту, що прилипали до бульб, насіння, коліс техніки, польових знарядь та навіть до взуття. Іноді шкідник переносився зрошувальними водами, наприклад із заводів з переробки картоплі.

На сьогодні центри картопляної нематоди поступово виникають у різних регіонах України. Станом на 2005 рік вони були зареєстровані у Вінницькій, Волинській, Житомирській, Івано-Франківській, Хмельницькій, Черкаській, Чернігівській та Сумській областях на загальній площі 5507,5 га. У зв'язку з високою шкідливістю цього паразита важливо, щоб городники, фермери та працівники сільськогосподарських об'єднань при виявленні осередків картопляної нематоди негайно повідомляли Державну інспекцію з карантину рослин, яка функціонує у всіх областях країни.

Із давніх часів люди намагалися знайти способи боротьби з нематодами. Китайські городники ще багато століть тому встановили, що ефективним

прийомом є сівозміна. Однак на практиці цей метод дає обмежений ефект. Зменшити шкідливість паразитичних черв'яків можна, якщо одну й ту ж культуру, наприклад картоплю, повертати на одне і те ж місце лише через 4–5, а бажано – через 10 років. Зрозуміло, що на невеликих присадибних ділянках подібна практика часто неможлива.

Фахівці вирішили боротися з нематодами через селекцію стійких до них сортів. У цьому значних успіхів досягли голландські селекціонери. В Україні до Державного реєстру внесені такі нематодостійкі голландські сорти картоплі, як Аноста, Імпала, Латона та Пікассо. Вони не уражуються нематодами, проте їхні смакові якості залишають бажати кращого.

Окрім селекційних методів, вчені застосовують хімічні засоби боротьби – спеціальні нематициди. Це високотоксичні речовини, які регламентуються документом «Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні». Зокрема, у захищеному ґрунті під огірки та помідори застосовують гранульований нематицид базамід. Його рівномірно розсипають і закладають у ґрунт із нормою 30–50 г/м² за 2–3 тижні до посіву або посадки.

У деяких країнах на виробничих площах проти картопляної нематоди застосовують гетерофос (80 кг/га), який механізовано вносять на глибину 15 см перед посадкою, або тіазон (270 кг/га) – за 30 днів до посадки картоплі. Практично нездійсненна через трудомісткість операція – закопування зараженого бадилля на глибину 1 м і обробка хлорним вапном.

Окрім картопляної нематоди, на присадибних та виробничих ділянках можуть зустрічатися галова нематода (переважно в парниках і теплицях, шкодить помідорам і огіркам), стеблова нематода лука (часник і цибулинні культури) та сунична нематода. Боротися з ними настільки ж складно, як і з картопляною.

Враховуючи це, товаровиробникам рекомендується дотримуватися карантинних і агротехнічних заходів, спрямованих на зниження чисельності нематод і підвищення витривалості рослин. Насамперед це строгі сівозміни (на присадибних ділянках – плодозміна), внесення оптимальних доз добрив під

картоплю та посадка культур, які не уражуються нематодами. У протинематодних сівозмінах найбільш ефективними є багаторічні бобові трави та кукурудза. Органічні добрива сприяють активізації діяльності хижих і паразитних грибів та інших антагоністів картопляних нематод.

Нематодостійкі сорти картоплі не лише забезпечують врожайність на заражених ділянках, але й сприяють знезараженню ґрунту. За даними літератури, вже після першого року вирощування таких сортів чисельність яєць і личинок нематоди знижується на 84–88%. Це відбувається тому, що личинки, хоча й упродовжуються в коріння, не можуть завершити свій розвиток: у клітинах коріння формуються некротичні ділянки навколо головного кінця личинок, що перешкоджає їхньому живленню. Тому для всіх виробників картоплі доцільно придбавати та розмножувати нематодостійкі сорти.

До Державного реєстру селекційних досягнень, допущених до використання, внесено велику кількість нематодостійких сортів картоплі, серед яких Агрія, Алмаз, Альбатрос, Альвара, Аноста, Аргос, Ароза, Архидея, Аспія, Астерікс, Атлант, Бежицький, Білоруський 3, Бімонда, Валіза, Верас, Ветразь, Вінета, Витав, Владикавказ, Велор, Гранат, Делія, Дельфін, Правиця, Живиця, Жуковський ранній, Заворовський, Зекура, Імпала, Каратоп, Карлена, Каролін, Колетті, Криниця, Кристал, Лазурит, Латона, Леді Розетта, Ліра, Лук'яновський, Міракел, Наван, Нарочь, Ніда, Памір, Панда, Пікассо, Платина, Пригожий-2, Пушкінець, Расинка, Ред Старий, Рікеа, Робінта, Різдвайний, Розалінд, Розара, Роко, Росіянка, Рубін, Саксон, Санте, Симфонія, Пожитки, Ськарлет, Турбо, Укама, Фабула, Фазан, Фелокс, Фресько, Шурмінський-2.

Однак, слід пам'ятати, що для запобігання виникненню агресивних патотипів нематоди не рекомендується вирощувати стійкі сорти на одному місці більше двох років поспіль. Світова практика виділяє п'ять основних патотипів картопляної нематоди: Ro1, Ro2, Ro3, Ro4 та Ro5. Патотипи Ro2–Ro5 здатні уражати багато з відомих стійких сортів.

Незважаючи на різноманітні агротехнічні та селекційні методи боротьби, найбільш ефективним залишається застосування хімічних засобів – внесення

нематицидів безпосередньо в ґрунт.

Обстеження та діагностика

Для ефективного управління популяцією нематод необхідно проводити щорічні обстеження. Діагностика глободерозу здійснюється карантинною службою шляхом виявлення цист у ґрунті та зараженому посадковому матеріалі. Ступінь зараженості ґрунту визначається кількістю життєздатних личинок та яєць на 100 см³ ґрунту. Критична концентрація, при якій проявляється глободероз, коливається від 0,1 до 50 личинок на 1 см³.

Польові обстеження та відбір ґрунтових проб виконують агрономи господарств. Для ненасінневих ділянок рекомендується 4 проби на 1 га, для насінневих – 8 проб на 1 га. Обсяг однієї проби становить 250 см³, відбір проводиться рівномірною сіткою з глибини 5–10 см, а зразки супроводжуються етикетками з необхідною інформацією. Для своєчасного виявлення заражених полів проби краще відбирати восени з ділянок, запланованих під посадку картоплі наступного року. Додатково проводиться вибірковий контрольний відбір ґрунту інспекторами з карантину рослин.

Розуміння взаємодії між нематодою та рослиною дозволяє визначити оптимальні стратегії боротьби. Повністю викоринити нематод неможливо, однак завдяки постійному контролю та профілактичним заходам можна знизити їх популяцію до рівня, при якому економічний збиток стає мінімальним.

1.3 Приклади використання сучасних засобів механізації при боротьбі з нематодами

Машини для внесення рідких нематицидів у ґрунт є невід'ємною складовою сучасної системи захисту сільськогосподарських культур від нематод. Вони дозволяють ефективно знизити чисельність ґрунтових шкідників, забезпечуючи точне доставляння препарату до кореневої зони рослин. Внесення рідких нематицидів має значну перевагу порівняно з сухими формами препаратів, оскільки рідина швидко проникає у верхні шари ґрунту,

де локалізуються личинки та яйця нематод, створюючи безпосередній контакт діючої речовини зі шкідниками та забезпечуючи рівномірне покриття ґрунту.

У сучасному агровиробництві застосовують різні типи машин для внесення рідких нематицидів, зокрема причіпні обприскувачі, інтегровані сівалки та системи крапельного зрошення. Причіпні обприскувачі агрегуються з тракторами і оснащені містким баком для рідини, насосом, який створює необхідний тиск для подачі препарату, та системою форсунок, що забезпечує рівномірне розподілення рідини по поверхні ґрунту або в рядки. Такі машини дозволяють поєднувати внесення нематициду з основними агротехнічними операціями, наприклад культивацією або сівбою, що підвищує ефективність обробки ґрунту та економить робочий час. Широкозахватні обприскувачі з штангами до 24 метрів використовуються для великих площ, а вузькорядні машини дозволяють точково обробляти рядки з високою концентрацією препарату у зоні кореневої системи.

Для точкового внесення рідких нематицидів широко застосовують спеціальні сівалки та культиватори з інтегрованим баком. Вони одночасно висівають насіння або садять бульби та вносять препарат у ґрунт поруч із корінням, що дозволяє концентрувати діючу речовину саме у зоні активності нематод. Наприклад, точкові сівалки для картоплі обладнані системою подачі нематициду безпосередньо в посадкову борозну, що забезпечує максимальну ефективність обробки та зменшує витрати хімікату.

Особливу роль відіграє внесення рідких нематицидів через системи крапельного зрошення, що застосовується в теплицях, парниках та на розсадниках. Ця технологія дозволяє забезпечити постійну концентрацію препарату в кореневій зоні, де личинки нематод найбільш активні, та мінімізувати ризик повторного розселення. Крім того, крапельне внесення знижує витрати препарату та підвищує економічну ефективність, що особливо важливо для дорогих та токсичних нематицидів. Ця методика широко застосовується для овочевих культур, томатів, огірків та баштанних культур, де контроль шкідників є критично важливим.

Серед конкретних моделей машин для внесення рідких нематцидів можна відзначити обприскувачі Hardi Commander, John Deere серії 4730 та вузькорядні сівалки Bogusław. Обприскувач Hardi Commander має місткий бак до 4000 літрів та систему автоматичного регулювання тиску, що забезпечує рівномірне внесення препарату. Обприскувачі John Deere серії 4730 дозволяють змінювати ширину захвату штанг та точність розподілу рідини, зменшуючи втрати хімікату. Вузькорядні сівалки Bogusław інтегрують бак для рідких нематцидів та одночасно виконують висів насіння або садіння бульб, що дозволяє ефективно концентрувати препарат у рядку та підвищує ефективність захисту культур.

Правильне застосування рідких нематцидів вимагає дотримання технології внесення. Необхідно враховувати вологість ґрунту, його механічний склад, температуру та фазу розвитку рослин. Наприклад, при низькій вологості рідина погано проникає у глибину ґрунту, що знижує ефективність обробки, тому перед внесенням часто проводять зволоження ґрунту або використовують систему крапельного зрошення. Внесення препаратів у фазі ранньої вегетації є найефективнішим, адже личинки нематод активні у верхніх шарах ґрунту та безпосередньо у зоні розвитку кореневої системи. При правильному застосуванні сучасних машин забезпечується максимальна ефективність та економічна доцільність внесення, мінімізується ризик забруднення навколишнього середовища та підвищується врожайність культур.

Окрім причіпних обприскувачів, для внесення рідких нематцидів застосовують спеціальні культиватори та сівалки, які оснащені інтегрованими баками та системами подачі препарату. Під час роботи таких машин рідкий нематцид подається безпосередньо в ґрунт на рядок або безпосередньо у зону коренів рослини, що дозволяє локалізувати дію препарату, мінімізуючи його втрати та забезпечуючи високу ефективність. Сівалки з такою системою здатні поєднувати одночасно посів культури та внесення нематциду, що є особливо корисним для захисту картоплі, овочевих та баштанних культур.

Обстеження стану ґрунту та контроль чисельності нематод є

обов'язковим етапом агротехнічної роботи. Використання машин для внесення рідких нематодіцидів разом із систематичними обстеженнями дозволяє своєчасно виявляти заражені ділянки, визначати критичну концентрацію личинок і яєць у ґрунті та проводити ефективну обробку з мінімальними витратами препаратів. Це особливо важливо для культур, чутливих до нематод, таких як картопля, буряк, томати та суниця, де шкода від шкідника може сягати 50–70% врожаю.

Застосування сучасних машин для внесення рідких нематодіцидів дозволяє інтегровано контролювати чисельність нематод у ґрунті, підвищувати врожайність та якість продукції, знижувати економічні втрати та оптимізувати витрати хімічних препаратів. Поєднання широкозахватних обприскувачів, точкових сівалок та систем крапельного зрошення створює комплексний підхід до захисту культур та забезпечує максимальну ефективність проти ґрунтових нематод.

1.4 Обґрунтування теми та завдань кваліфікаційної роботи

Надійність машин, зокрема тих, що використовуються для внесення рідких нематодіцидів у ґрунт, є ключовим фактором для забезпечення ефективності та стабільності всього технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур. Висока надійність таких машин важлива, оскільки вони беруть участь у критичних етапах обробітку ґрунту і внесення агрохімікатів, що безпосередньо впливає на якість врожаю та збереження екологічної рівноваги. Тому відмови та поломки під час роботи чи транспортування можуть призвести до серйозних фінансових втрат та зниження ефективності виробництва.

Однією з основних проблем конструкції машин для внесення рідких нематодіцидів є недостатня міцність поперечини, на якій кріпиться елемент монтування гідроциліндра навіски. Внаслідок високих навантажень, які виникають під час експлуатації, поперечина схильна до деформування, а при

тривалому використанні і частому транспортуванні робочої машини – до руйнування. Це може призвести до порушення роботи всієї машини, що у свою чергу впливає на продуктивність та стабільність роботи аграрного господарства.

Крім того, конструктивна слабкість поперечини обмежує можливість застосування більш потужних енергозасобів або збільшення ширини захвату машини. Така ситуація ускладнює застосування більш ефективних варіантів техніки, що можуть забезпечити вищу продуктивність і знижене енергоспоживання.

Для вирішення цієї проблеми необхідно провести детальні дослідження реальних навантажень, яким піддається поперечина під час роботи та транспортування машини. Оцінка цих навантажень дозволить точно визначити місця найбільших механічних впливів і слабких точок конструкції. На основі отриманих результатів можна буде розробити рекомендації щодо підсилення перетину поперечини, що дозволить забезпечити необхідну міцність конструкції.

Підсилення поперечини можна здійснити за рахунок використання більш міцних матеріалів або зміни геометрії елементів конструкції для рівномірного розподілу навантажень. Це дозволить не лише збільшити надійність та довговічність машини, а й забезпечити можливість її використання з енергозасобами більшої потужності, а також з більш широким захватом, що значно покращить ефективність роботи при великих обсягах обробки ґрунту.

Таким чином, комплексний підхід до вивчення і усунення слабких місць конструкції дозволить значно підвищити надійність та продуктивність машин для внесення рідких нематичидів, що є важливим кроком у напрямку покращення технічного забезпечення аграрного виробництва.

2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз техніко-експлуатаційних характеристик базових машин для внесення рідких нематичидів у ґрунт

Машини для внесення рідких нематичидів у ґрунт призначені для передпосівного знезараження ґрунту від паразитичних нематод із одночасним прикочуванням обробленої поверхні. Такі агрегати також можуть застосовуватися для внесення рідких комплексних добрив, відповідно до технологічних вимог, що регламентують їх рівномірне розподілення по ґрунту.

Ці машини придатні для використання у більшості сільськогосподарських регіонів країни, за винятком гірських зон, де складні умови землеробства ускладнюють їх застосування. Вони ефективно працюють на полях з ухилами до 7° та на ділянках прямокутної форми, довжина яких може коливатися від 100 до 2000 метрів. За класифікацією по макрокліматичних умовах, агрегати розраховані на експлуатацію у зонах помірного клімату під відкритим небом, відповідно до категорії I.

Нормативне річне використання машини складає 550 годин, з яких близько 200 годин відводиться на внесення рідких нематичидів. Препарати вносяться у попередньо підготовлений ґрунт, який має бути добре розпушеним і очищеним від залишків рослинності. Внесення рідких нематичидів здійснюють навесні, за 20–30 днів до посіву або посадки культур, або восени після збирання врожаю. Робочі органи агрегату, зазвичай культиваторного типу, вводять препарат у ґрунт із подальшим заковчуванням котками. Налипання ґрунту на робочі органи недопустиме, оскільки це знижує ефективність внесення.

Оптимальна глибина закладення рідких нематичидів становить 16 ± 2 см, ширина міжрядь – 30 см, а смуги для розворотів – 20 м. Питомий тиск ходових коліс на ґрунт не повинен перевищувати 0,15 МПа, що дозволяє уникнути ущільнення ґрунту та збереження його структури. Робоча швидкість агрегату

при внесенні нематичидів зазвичай знаходиться в межах 7–9 км/год. Ширина захвату машини коливається від 4,2 до 4,8 м, що забезпечує ефективне покриття оброблюваної площі.

Норма внесення рідких нематичидів встановлюється в діапазоні від 600 до 2400 кг/га, із максимально допустимим відхиленням від основної норми не більше допустимого значення, визначеного технологічними рекомендаціями. Дотримання цих параметрів дозволяє забезпечити рівномірне внесення препарату, ефективно знизити чисельність нематод у ґрунті та запобігти розвитку шкідника на наступні вегетаційні цикли.

Машина для внесення рідких нематичидів у ґрунт належить до причіпного типу і використовується в складі агрегатів, що включають трактор відповідного класу потужності та спеціальний культиватор із катками або пристосування типу УЛП-8А. Для роботи з цією машиною застосовують трактори першого класу потужності 1,4 т, такі як МТЗ-80 чи МТЗ-82, а також трактори другого класу потужності 2,0 т, наприклад, МТЗ-142 або ЛТЗ-145. Робочим органом агрегату виступає культиватор, що забезпечує одночасне внесення препарату у ґрунт і його заочування для кращого контакту робочої рідини з ґрунтовим середовищем.

Продуктивність машини залежить від робочої швидкості та ширини захоплення. При внесенні рідких нематичидів у ґрунт вона становить від 3,0 до 4,32 га за годину, а при поверхневому внесенні рідких комплексних добрив – від 3,36 до 4,5 га за годину. Робочі органи розташовані на відстані 30–35 см один від одного, що забезпечує суцільне та рівномірне внесення препаратів. Глибина закладення робочої рідини у ґрунт для внесення нематичидів складає 16 ± 2 см, а для поверхневого внесення рідких комплексних добрив – від 8 до 12 см. Робочий персонал для обслуговування агрегату обмежується одним трактористом.

Ширина захоплення машини коливається в межах 4,2–4,8 м при внесенні нематичидів, тоді як для інших видів внесення ширина може досягати 2,8–5,6 м. Витрата робочої рідини на один робочий орган змінюється залежно від типу

внесення і може становити від 24,5 до 144 л/хв. При цьому коефіцієнт використання експлуатаційного часу становить 0,57, а коефіцієнт технологічного обслуговування дорівнює 0,81, що свідчить про високу ефективність машини у процесі роботи.

Машина має компактні габарити, які дозволяють ефективно маневрувати на полі та транспортувати її по дорогах загального користування. У робочому положенні довжина агрегату коливається від 6500 до 7000 мм, ширина – 2200 мм, а висота не перевищує 2200 мм. У транспортному положенні довжина може сягати 5500–15000 мм, ширина – 4000–7000 мм, висота – 2200 мм. Ширина колії складає 1350 мм, дорожній просвіт – не менше 350 мм, а мінімальний радіус повороту дорівнює 20–30 м. Робоча швидкість агрегату під час внесення препаратів варіює від 7 до 9 км/год на рівному полі, а транспортна швидкість становить до 15 км/год.

Для подачі робочої рідини використовується насос із тиском не менше 0,3 МПа та продуктивністю близько 700 л/год, а об'єм баку для розчину становить 2,5 м³. Механізм навішування та складання робочих органів включає два гідравлічні циліндри (або чотири у разі використання більшого агрегату) із робочим тиском масла до 11 МПа. Ходова частина складається з чотирьох пневматичних коліс відповідно до ГОСТ 7463-75, що забезпечує надійність руху по полю та транспортування.

Маса машини у конструктивному виконанні коливається від 1300 до 1400 кг без робочих органів і до 4200 кг у повністю укомплектованому стані з технологічною заправкою та необхідними інструментами. Річне нормативне завантаження агрегату під внесення рідких нематичидів складає 200 годин, а сумарний ресурс до списання – 2750 годин експлуатаційного часу. Гарантійне напрацювання становить 1100 годин, а середнє напрацювання до відмови – близько 44,5 год.

Середньозмінний час технічного обслуговування машини не перевищує 0,3 години, а сумарна трудомісткість обслуговування за сезон складає близько 35,36 людино-годин. Питома трудомісткість технічного обслуговування на

один гектар обробки не перевищує 0,11 людино-годин. Термін служби машини до списання становить 5 років, що забезпечує ефективне використання протягом тривалого періоду при належному догляді та дотриманні експлуатаційних вимог.

Машина для внесення рідких нематицидів у ґрунт складається з кількох основних конструктивних елементів, що забезпечують її ефективну роботу на полях. Основу агрегату становить рама зі встановленою ходовою частиною, на якій змонтовані пневматичні колеса з гальмами. На рамі розташований бак для робочої рідини, заправний пристрій, насосна установка з приводними елементами, всмоктуючі та нагнітальні комунікації з пристроєм для дистанційного регулювання витрати рідини, карданна передача, а також навісні елементи для кріплення культиватора чи штанги з катками для заочування ґрунту після внесення препарату.

Гідравлічна система машини забезпечує повний цикл роботи з робочою рідиною. Вона дозволяє автоматично заправляти бак з зовнішньої ємності, подавати рідину з бака до робочих органів та заправного пристрою, фільтрувати її, а також регулювати тиск і витрату на розпилювачах. Надлишок рідини повертається у бак або в гідромішалку, що забезпечує стабільність процесу внесення і захищає систему від перевантажень.

Рама машини виконана зі зварної конструкції та встановлена на два балансири, на яких закріплені по два колеса з пневматичними шинами. У задній частині рами розташована гідрофікована навісна система, що дозволяє кріпити культиватор або штангу для внесення рідких нематицидів. Завдяки каткам після внесення рідини забезпечується щільне прилягання препаратів до ґрунту, що підвищує ефективність обробки.

Бак виготовлений з антикорозійних матеріалів, як-от нержавіюча сталь, і оснащений рівнеміром, гідромішалкою та напірно-всмоктуючими клапанами. Клапани дозволяють випускати гази під час заповнення бака та забезпечують надходження повітря при його спорожненні. Заправка бака може здійснюватися як за допомогою вбудованого заправного пристрою, так і спеціальними

зовнішніми заправними засобами.

Насосна установка забезпечує подачу робочої рідини від бака до робочих органів машини та заправного пристрою. Всмоктуючі та нагнітальні комунікації рівномірно розподіляють рідину між насосом, заправним пристроєм, гідромішалкою і розпилювачами. Регулювання тиску у нагнітальній комунікації здійснюється спеціальним пристроєм для дистанційного контролю витрати, а контроль за тиском ведеться за допомогою манометра. Надлишок робочої рідини автоматично повертається у гідромішалку або бак, що дозволяє підтримувати встановлений режим роботи машини та забезпечує стабільну продуктивність на всій площі поля.

Відсмоктування робочої рідини з напірної магістралі при піднятті робочих органів у транспортне положення здійснюється за допомогою спеціального насоса, що забезпечує безперервність роботи машини та запобігає перериванню потоку рідини. Карданна передача, у свою чергу, служить для передачі крутного моменту від валу відбору потужності (ВВП) трактора до насосного агрегату машини, забезпечуючи стабільну продуктивність. Вона складається зі з'єднаних шарнірами телескопічних валів, захищених спеціальним кожухом, що підвищує безпеку і надійність експлуатації.

Пристрій для внесення нематицидів у ґрунт виконаний у вигляді колектора з системою трубопроводів та кронштейнів, які забезпечують надійну фіксацію на робочих органах культиватора. Така конструкція дозволяє рівномірно розподіляти рідину по всій оброблюваній смузі, що підвищує ефективність захисної обробки ґрунту.

Машина володіє патентною чистотою в ряді країн, серед яких СНД, Бельгія, Болгарія, Великобританія, Угорщина, Голландія, Німеччина, Італія, Польща, Румунія, Франція, Чехія, Словаччина, Швейцарія та Югославія. Порівняння технічних характеристик цього агрегату з аналогічними машинами на ринку проводиться за картами технічного рівня та якості продукції, що підтверджує її конкурентоспроможність і надійність.

Конструкція машини використовує як власні складальні одиниці – раму з

ходовою частиною, бак, насосну установку, карданну передачу та фільтри, так і купівельні вироби та матеріали, які експлуатуються відповідно до їх технічних характеристик, режимів роботи та умов експлуатації. Для виготовлення деталей, що контактують із робочою рідиною, застосовуються матеріали, стійкі до хімічної корозії та механічного впливу.

До основних матеріалів, використаних у конструкції машини, належать нержавіюча листова сталь марки 08ХІ7Т, відливки з нержавіючої сталі або чавуну марки ЧХ28. Для насосних деталей застосовується прокат із нержавіючої сталі, формувальна гума марок ІРП 1345 або ІРП 1287 за ТУ 38.005.204-71, а також поліетиленові труби, поліамід ПА6-210/311 за, поліетилен та інші полімерні матеріали. Водночас забороняється використання неметалічних матеріалів з низькою хімічною стійкістю, які можуть руйнуватися під дією робочої рідини, що забезпечує безпеку та тривалість експлуатації машини.

Транспортування машини для внесення рідких нематичидів у ґрунт здійснюється за умов, що відповідають кліматичним нормам для зберігання 8 категорії. При перевезенні забороняється застосовувати способи завантаження чи розвантаження, які можуть спричинити вм'ятини, забоїни або інші механічні пошкодження, а також забруднити поверхні машини. Механічні фактори під час транспортування контролюються. Для зберігання машина повинна відповідати умовам 4 категорії, допускається також зберігання за умовами 7 категорії. Сам агрегат транспортується без упаковки, а запчастини та інструменти – у пакувальних ящиках категорії КУ-І.

Перед упаковкою металеві поверхні, які не покриті фарбою, а також запасні частини і інструменти, піддаються консервації відповідно до варіантів ВЗ-І або ВЗ-4. Термін захисту від корозії без консервації для машини становить не менше одного року, а для запасних частин – щонайменше три роки з дати відвантаження від виробника. Закриті складальні одиниці, які важко піддаються консервації без розбирання, обробляються робочим мастилом за варіантом ВЗ-2.

Естетичні та ергономічні показники машини забезпечені функціонально-композиційною формою, що відповідає призначенню агрегату, а також гармонійним колірним рішенням: основні елементи забарвлені червоним кольором за системою 2 або 4, бак – світлодимчатий за системою 2, що відповідає умовам експлуатації VI категорії. Органи управління і контролю розташовані у зоні максимальної доступності та забезпечують гарну видимість з робочого місця тракториста. Узагальнений естетичний показник машини становить 2,5 бали.

Виконання вимог безпеки та ергономіки, встановлених у “Єдиних вимогах до конструкції тракторів і сільськогосподарських машин по безпеці та гігієні праці” (ЕТ-IV), реалізоване через грамотне розташування складальних одиниць і механізмів, що забезпечує доступ та безпечне обслуговування під час монтажу, демонтажу, експлуатації та ремонту. Обертові частини агрегату захищені огороженнями і не становлять загрози для персоналу; зокрема, карданний вал має огорожу. Підключення машини до трактора здійснюється через гідравлічну систему.

На видних частинах агрегату нанесено попереджувальні написи: “Транспортна швидкість 15 км/год” та “Працювати без засобів індивідуального захисту забороняється”. Машина оснащена комплектом інструментів для польового обслуговування, що зберігається у спеціальному ящику. Конструкція передбачає показчик рівня рідини в баку, а також безпечне звільнення бака від робочої рідини як самопливом, так і примусовим способом. Заправка здійснюється механізованим закритим струменем, що виключає розлив рідини, а подача робочої рідини до робочих органів керується гідрофіковано з місця тракториста.

Машина обладнана пневматичними гальмами з управлінням педалями трактора та світловідбивачами для безпечної роботи. Економічні показники агрегату не перевищують норм, встановлених ЕТ-IV: зусилля на важелях управління не більше 200 Н для рідко використовуваних важелів і 60 Н для тих, що включаються часто; рівень шуму на робочому місці не перевищує 85 дБ(А),

гранично допустима концентрація отрутохімікатів у повітрі робочої зони – 0,05 мг/м³, кут поперечної статичної стійкості агрегату – не менше 33°. Для забезпечення додаткової гігієни та зручності операторів машина обладнана бачком для води ємкістю 5 літрів для миття рук.

2.2 Організація роботи агрегату

Організація робіт із застосуванням машини для внесення рідких нематичидів у ґрунт передбачає чітку і продуману послідовність технологічних операцій, що забезпечує ефективність обробки та безпеку персоналу. Найоптимальнішою є організація, при якій заправка машини здійснюється безпосередньо на оброблюваній ділянці за допомогою спеціальних заправних засобів. Це дозволяє скоротити час на підготовку до роботи та уникнути додаткових переміщень машини, що знижують продуктивність.

Регулярне технічне обслуговування є невід'ємною частиною організації робіт і включає щозмінну промивку гідравлічної системи, контроль стану насосів, шлангів, фільтрів та інших робочих органів. Таке обслуговування гарантує високу готовність агрегату до роботи та забезпечує стабільну подачу робочої рідини без перерв і збоїв.

Заправка бака машини проводиться безпосередньо з місткостей, використовуючи насосну установку, вбудовану в агрегат. При необхідності можна застосовувати спеціальні заправні засоби, підключені до гідросистеми машини, що дозволяє заправляти бак за мінімальний час – не більше 5 хвилин, що особливо важливо при роботі на великих площах.

Настройка машини перед початком внесення рідких нематичидів включає вибір оптимального робочого тиску та регулювання витрати робочої рідини. Це здійснюється шляхом підбору діаметру отворів у розпилювачах (жиклерах) та їх кількості з урахуванням ширини захоплення агрегату і робочої швидкості руху. Така регульовальна робота дозволяє забезпечити рівномірне внесення

рідини на всій площі, знижуючи втрати препарату і підвищуючи ефективність захисту рослин.

Зберігання машини в господарствах повинно проводитися відповідно до вимог «Техніка, використовувана в сільському господарстві. Правила зберігання». Перед початком роботи після транспортування або тривалого зберігання підготовка агрегату до використання не повинна перевищувати 8 людино-годин.

Транспортна швидкість машини не повинна перевищувати 15 км/год, що забезпечує безпечне пересування по дорогах господарства та зменшує ризик пошкодження робочих органів і конструктивних елементів. Під час експлуатації слід дотримуватись графіку технічного обслуговування, який включає щозмінні операції (ЩТО) та планові огляди першого рівня (ТО-1). Конструкція машини передбачає зручний доступ до всіх елементів, що потребують обслуговування чи ремонту, що дозволяє виконувати роботи у встановлені нормативні терміни без зайвих зусиль.

Для забезпечення безперервної роботи агрегату, трактор та культиватор, що входять до складу агрегату з машиною для внесення рідких нематицидів, повинні бути в повністю працездатному стані. Обслуговування машини здійснює тракторист, а допоміжні операції, зокрема заправка бака та контроль витрати робочої рідини, виконуються обслуговуючим персоналом або самим трактористом. Така організація робіт забезпечує безпечну та ефективну експлуатацію агрегату, дозволяючи мінімізувати втрати препарату та підвищити продуктивність обробки ґрунту.

2.3 Обґрунтування параметрів транспортуючої здатності машини для внесення рідких нематицидів у ґрунт

Машина для внесення рідких нематицидів у ґрунт являє собою причіпний агрегат, який спирається на дві пари пневматичних коліс та під'єднується до трактора за допомогою спеціального приєднувального механізму. На її навісному пристрої закріплюється культиватор із відповідним обладнанням, що забезпечує рівномірне внесення робочої рідини у ґрунт. Для застосування рідких комплексних добрив (РКД) на навісний пристрій може додатково монтуватися штанга, яка дозволяє здійснювати поверхнєве внесення рідини.

За конструкцією машина складається з рами з ходовою частиною та навісного механізму, бака для робочої рідини, карданної передачі для передавання крутного моменту від трактора до насосного агрегату, безпосередньо насоса, заправного пристрою, а також всмоктуючих і нагнітальних трубопроводів, які доставляють рідину до робочих органів. Така комплектація забезпечує надійну, безпечну і рівномірну обробку ґрунту рідкими нематицидами на всій оброблюваній площі.

Визначимо розподіл навантажень по опорах машини для внесення рідких нематицидів в ґрунт.

ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Сила тяжіння бака з комунікацією, $G_1 = 4,75 \text{ кН}$.

Сила тяжіння рами, $G_2 = 2,0 \text{ кН}$.

Сила тяжіння осі з балансирами, $G_3 = 4,67 \text{ кН}$.

Сила тяжіння карданної передачі з насосним агрегатом, $G_4 = 1,0 \text{ кН}$.

Сила тяжіння навісного пристрою, $G_5 = 10,5 \text{ кН}$.

Сила тяжіння пристрою для внесення нематицидів до ґрунту, $G_6 = 0,35 \text{ кН}$.

Сила тяжіння культиватора КРН-5.6, $G_7 = 8,20 \text{ кН}$.

Сила тяжіння катків для прикочування ґрунту, $G_8 = 1,0 \text{ кН}$.

Сила тяжіння рідини, що заправляється, $G_9 = 25 \text{ кН}$.

Загальна сила тяжіння самої машини, $G_{10} = 23 \text{ кН}$.

Відстань між опорою А і центром тяжіння бака, $l_1=2800$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння рами, $l_2=2000$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння осі з балансирами, $l_3= 3850$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння карданної передачі з насосним агрегатом, $l_4= 900$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння навісного пристрою $l_5=4300$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння пристрою для внесення нематод до ґрунту, $l_6=4700$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння культиватора, $l_7=4900$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння катків для прикочування ґрунту, $l_8= 5800$ мм.

Відстань між опорою А і центром тяжіння рідини, що заправляється, $l_9=2800$ мм.

Відстань між опорами А і В, $l_A=3850$ мм.

Кількість коліс, $n=4$.

Розрахунок виконано для транспортного положення машини.

Маса складальних одиниць взята орієнтовно за наслідками випробувань підживлювача рідкими добривами.

Схема розрахунку показана на рис. 2.1

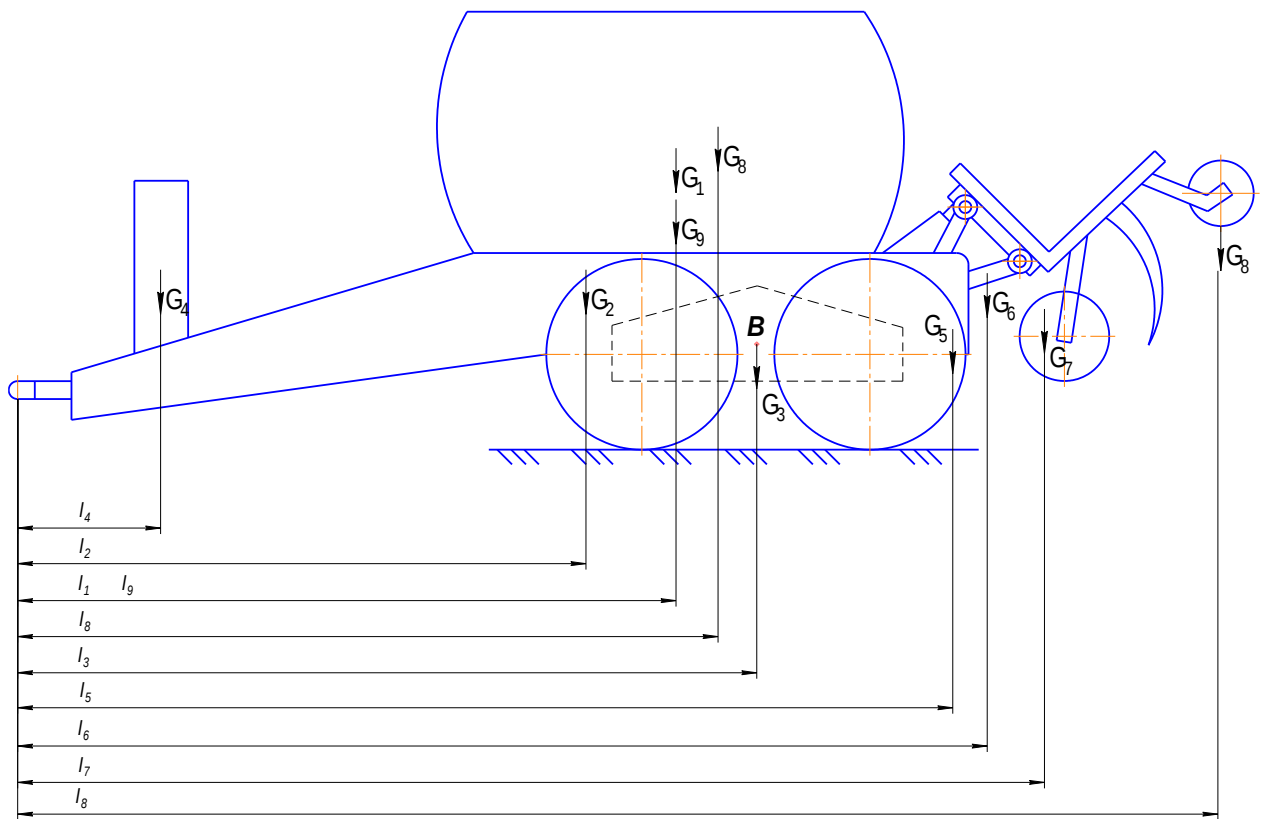


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку машини

Визначення координат центру тяжіння машини, l_0 .

Незаповнений бак

$$\begin{aligned}
 l_{01} &= \frac{G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_3 l_3 + G_4 l_4 + G_5 l_5 + G_6 l_6 + G_7 l_7 + G_8 l_8}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 + G_8} = \\
 &= \frac{4.75 \cdot 2800 + 2 \cdot 2000 + 4.67 \cdot 3850 + 1 \cdot 900 + \dots}{4.75 + 2 + 4.67 + 1 + 10.5 + 0.35 + 8.2 + 1} \dots \\
 &\quad \frac{+ 10.5 \cdot 4300 + 0.35 \cdot 4700 + 8.2 \cdot 4900 + 1 \cdot 5800}{4.75 + 2 + 4.67 + 1 + 10.5 + 0.35 + 8.2 + 1} = 3830 \text{ мм.}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Заповнений бак.

Підставляючи дані у формулу (2.1) отримуємо

$$l_{02} = \frac{G_1 l_1 + G_2 l_2 + G_3 l_3 + G_4 l_4 + G_5 l_5 + G_6 l_6 + G_7 l_7 + G_8 l_8 + G_9 l_9}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 + G_8 + G_9} =$$

$$= \frac{4.75 \cdot 2800 + 2 \cdot 2000 + 4.67 \cdot 3850 + 1 \cdot 900 + \dots}{4.75 + 2 + 4.67 + 1 + 10.5 + 0.35 + 8.2 + 1} \dots \quad (2.2)$$

$$\frac{+10.5 \cdot 4300 + 0.35 \cdot 4700 + 8.2 \cdot 4900 + 1 \cdot 5800 + 25 \cdot 2800}{4.75 + 2 + 4.67 + 1 + 10.5 + 0.35 + 8.2 + 1 + 25} = 3300 \text{ мм.}$$

Визначення розподілу навантажень по опорах.

Незаповнений бак.

Навантаження на опорі А визначається за формулою

$$R_A = \frac{G_{10}(l_A - l_{01})}{l_A} = \frac{23(3850 - 3830)}{3850} = 0.12 \text{ кН.} \quad (2.3)$$

Навантаження в опорі В визначається за формулою

$$R_B = G_0 - R_A = 23 - 0.12 \cong 22.9 \text{ кН.} \quad (2.4)$$

Навантаження на одне колесо визначається за формулою

$$P = \frac{R_B}{n}. \quad (2.5)$$

$$P' = \frac{22.9}{4} = 5.725 \text{ кН.}$$

Заповнений бак.

Навантаження на опорі А визначається за формулою

$$R'_A = \frac{(G_0 + G_9)(l_A - l_{02})}{l_A} = \frac{(23 + 25)(3850 - 3300)}{3850} = 6.85 \text{ кН.} \quad (2.6)$$

Навантаження на опорі В рівне.

$$R'_B = (G_0 + G_9) - R'_A = (23 + 25) - 6.85 \cong 41.2 \text{ кН.} \quad (2.7)$$

Навантаження на одне колесо рівне

$$P' = \frac{R'_B}{n} = \frac{41.2}{4} = 10.3 \text{ кН.} \quad (2.8)$$

ВИСНОВОК.

Навантаження на гідравлічний механізм не перевищує 7,0 кН, що відповідає допустимим технічним нормам. Загальна вага та сила тяжіння машини для внесення рідких нематичидів у ґрунт перебуває в межах, визначених нормативними параметрами [15], що забезпечує безпечну експлуатацію агрегату під час роботи на оброблюваних ділянках.

2.4 Розрахунок балансу тяги робочого агрегату

Машина для внесення рідких нематичидів у ґрунт призначена для передпосадкового знезараження ґрунту від паразитичних нематод із одночасним прикочуванням обробленої поверхні. Вона забезпечує рівномірне внесення робочої рідини, що сприяє зниженню чисельності шкідників та підвищенню ефективності подальшого вирощування сільськогосподарських культур.

Для роботи машина агрегатується з тракторами класу 1,4 (наприклад, МТЗ-80 або МТЗ-82) або класу 2,0 (МТЗ-142, ЛТЗ-145) і функціонує у складі агрегату разом із культиваторами типу КРН-4,2 чи КРН-5,6, обладнаними катками для закладення ґрунту, або з іншими спеціальними пристосуваннями, наприклад, УЛП-8А. Така комбінація забезпечує синхронну роботу тракторного агрегату і робочих органів машини, що дозволяє підтримувати необхідну глибину внесення та оптимальну ширину захвату при заданих швидкостях руху.

Мета розрахунку полягає у визначенні відповідності опору агрегату тяговому зусиллю трактора, з урахуванням робочих характеристик машини і культиватора, а також умов роботи на різних ґрунтах.

Завдання розрахунку: провести визначення балансу тяги для агрегату, що складається з трактора, машини для внесення рідких нематицидів у ґрунт і культиватора типу КРН з катками для зароблення ґрунту, з урахуванням опору ґрунту, робочих органів і руху агрегату [23, 35].

ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Сила тяжіння машини з робочою рідиною нематицидів (щільність $1,2 \text{ г/см}^3$), $G_m = 42 \text{ кН}$.

Сила тяжіння катків для зароблення ґрунту, $G_k = 1,0 \text{ кН}$.

Тягове зусилля трактора МТЗ - 80/82, $T_1 = 14 \text{ кН}$ [23].

Тягове зусилля тракторів МТЗ-142, ЛТЗ-145, $T_2 = 20 \text{ кН}$.

Тяговий опір однієї долотоподібної лапи,

$t_l = 0,72 \text{ кН}$ [23].

Відстань між стрічками внесення нематицидів, $b = 0,3 \text{ м}$.

Коефіцієнт опору перекочуванню машини на оранці $f = 0.16$.

Тяговий опір однієї долотоподібної лапи приведений при глибині обробки 13-15 см і робочій швидкості 9,7 км/год.

Додаткові дані для розрахунку будуть уточнюватись.

Рівняння балансу тяги має вигляд

$$T = T_{\text{м}} + T_{\text{к}} + nt_{\text{л}}, \quad (2.9)$$

де T - тягове зусилля трактора, кН;

$T_{\text{м}}$ - тяговий опір машини на перекочування, кН;

$$T_{\text{м}} = G_{\text{м}} f, \quad (2.10)$$

$T_{\text{к}}$ - тяговий опір катків, кН;

$$T_{\text{к}} = G_{\text{к}} f, \quad (2.11)$$

n - число долотоподібних лап культиватора.

Для вибору робочих знарядь (культиваторів), визначаємо число долотоподібних лап, відповідне тяговим можливостям тракторів.

З рівняння балансу (2.9) і формул (2.10) і (2.11) число лап

$$n = \frac{T - (G_{\text{м}} + G_{\text{к}}) f}{t_{\text{л}}}. \quad (2.12)$$

Підставивши у формулу (2.12), приведені вище числові значення величин, отримаємо:

1) для трактора МТЗ-80/82

$$n_1 = \frac{14 - (42 + 1) \cdot 0.16}{0.72} \approx 10.$$

2) для тракторів МТЗ-142 і МТЗ-145

$$n_2 = \frac{20 - (42 + 1) \cdot 0.16}{0.72} \approx 18.$$

Виходячи з результату отриманих даних визначаємо граничні значення робочої ширини захоплення B :

для трактора МТЗ-80/82

$$B_1 = n_1 b, \quad (2.13)$$

$$B_1 = 10 \cdot 0.3 = 3 \text{ м.}$$

для тракторів МТЗ-142 і ЛТЗ-145

$$B_2 = n_2 b. \quad (2.14)$$

$$B_2 = 18 \cdot 0.3 = 5.4 \text{ м}$$

Висновок.

Проведений розрахунок балансу тяги свідчить про те, що при агрегуванні машини для внесення рідких нематичидів у ґрунт з трактором МТЗ-80/82 у важких умовах роботи доцільно використовувати культиватори типу КРН з кількістю лап до 10. Це дозволяє забезпечити ефективне внесення робочої рідини при допустимих тягових зусиллях трактора.

За більш сприятливих умов експлуатації можна збільшувати число лап культиватора, що відповідно дозволяє розширювати робочу ширину захвату і підвищувати продуктивність агрегату.

У разі використання потужніших тракторів, таких як МТЗ-142 або ЛТЗ-145, можливе застосування культиваторів КРН-5,6 із повним комплектом лап для глибокого рихлення ґрунту. Це забезпечує максимально допустиму ширину захоплення агрегату, $B = 4.8$ м, що дозволяє рівномірно і ефективно проводити передпосадкове внесення рідких нематичидів та підвищує загальну продуктивність робіт на полях.

3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення навантажень на поперечину рами до якої закріплено механізм гідронавіски

Поперечина рами до якої закріплено механізм гідронавіски має вигляд, рис. 3.1.

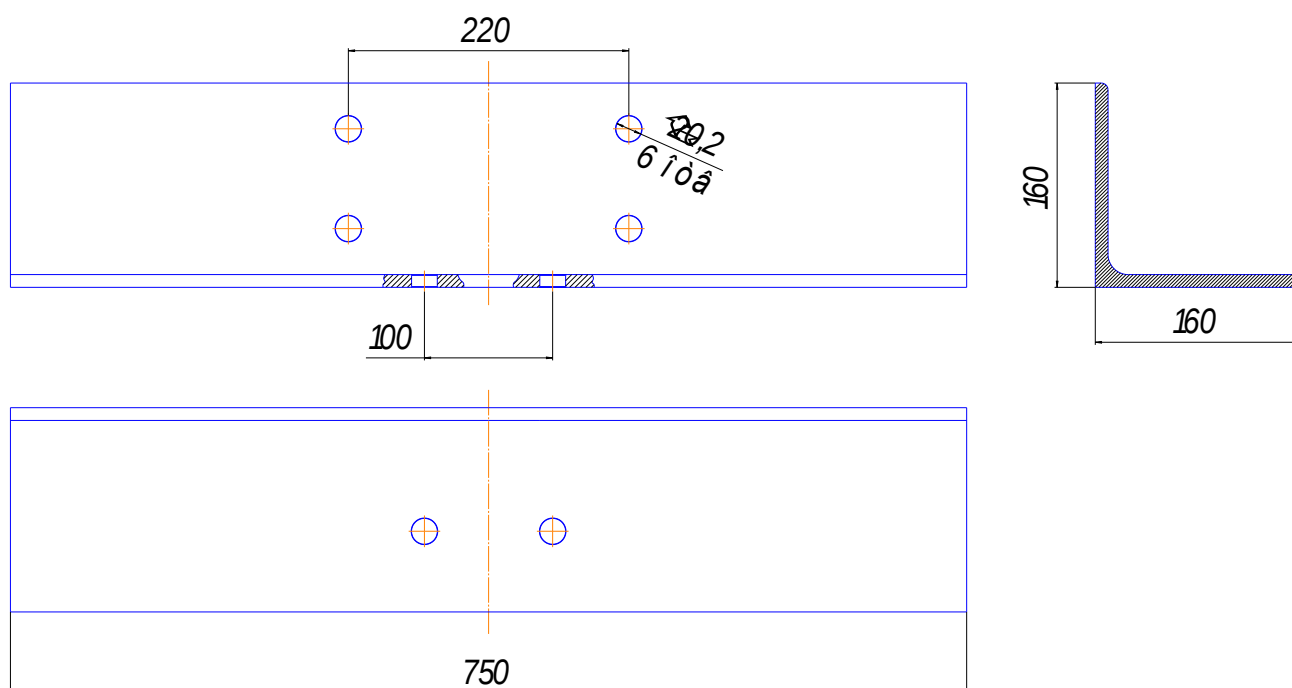


Рисунок 3.1 – Поперечина рами до якої закріплено механізм гідронавіски

Даний елемент - це рівнобічний кутник з отворами діаметром 20 мм та їх розміщенням згідно рис. 3.1 він є приварений до лонжеронів рами машини та піддається дії зосередженої сили від ваги гідронавіски та ваги начіпної машини з обладнанням та додаткової сили від дії гідроциліндра. Також даний елемент піддається дії крутного моменту від ваги машини при русі машини в межах зазорів з'єднувальних елементів. Ці факти справедливі при транспортуванні машини.

Другий варіант навантаження елемента – робоче положення машини. Основне навантаження тут створюється силою опору машини. Розглянемо ці два випадки. Тут ще слід зауважити, що ефекту від депланації не враховуватимемо, оскільки лонжерони машини є достатньо податливими в осьовому напрямку кутника.

Розглядаємо перший вид навантаження, розділяючи дії зосередженої сили та крутного моменту.

Тут маємо, що у вертикальній площині на кутник буде діяти сила ваги машини з обладнанням 9,55 кН та частина зусилля від дії гідроциліндра при утриманні навісної машини в робочому положенні – 20 кН.

Розрахункова схема є наступною і вона буде аналогічною у двох площинах, оскільки кутник рівносторонній, рис. 3.2.

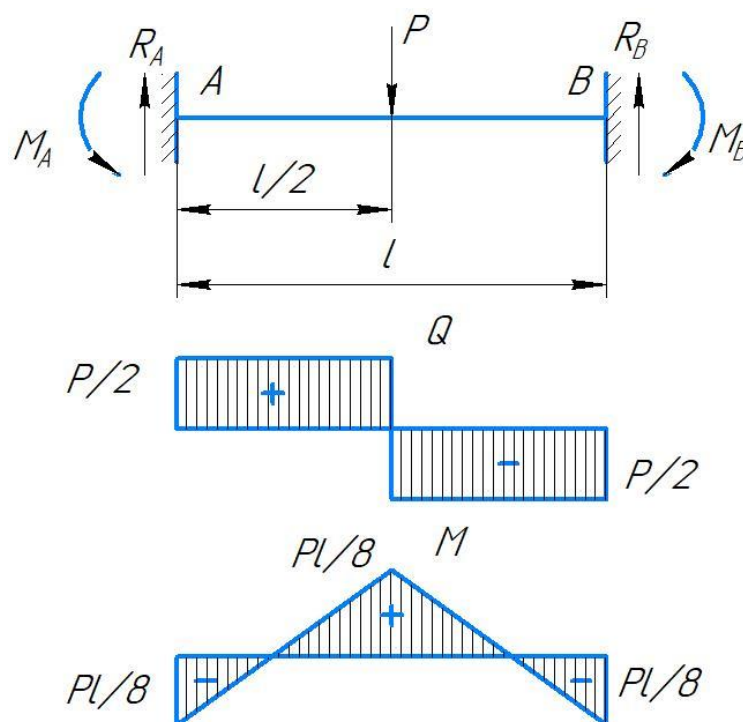


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема кутника рами

Тут маємо [37, 33] опорні реакції

$$R_A = R_B = \frac{1}{2}P, \quad (3.1)$$

де R_A , R_B - опорні реакції відповідно в опорі А і опорі В;

P – зосереджена сила, що дорівнює вазі навісної машини із решту обладнанням та з частиною зусилля від гідроциліндра. В даному випадку розглядаємо культиватор КРН-5.6. Загальне вертикальне зусилля на кутник становить $P = 29.55$ кН.

Тоді реакції будуть рівні

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} 29.55 = 14.8 \text{ кН.}$$

Моменти в опорах

$$M_A = M_B = \frac{1}{8}Pl, \quad (3.2)$$

де l - довжина кутника, $l = 750$ мм,

$$M_A = M_B = \frac{1}{8} 29.55 \cdot 0.75 = 2.8 \text{ кНм.}$$

На ділянці $0 \leq z \leq l/2$.

Перерізуюча сила

$$Q = \frac{1}{2}P ; \quad (3.3)$$

$$Q = \frac{1}{2} 29.55 = 14.8 \text{ кН.}$$

Згинний момент на цій ділянці

$$M = \frac{1}{8} P(4z - l), \quad (3.4)$$

тоді

$$M = \frac{1}{8} 29.55 \left(4 \cdot \frac{0.75}{2} - 0.75 \right) = 2.77 \text{ кНм.}$$

На ділянці $l/2 \leq z \leq l$.

Перерізуюча сила

$$Q = -\frac{1}{2} P, \quad (3.5)$$

$$Q = -\frac{1}{2} 29.55 = -14.8 \text{ кН.}$$

Згинний момент

$$M = \frac{1}{8} P(3l - 4z), \quad (3.6)$$

$$M = \frac{1}{8} 29.55 (3 \cdot 0.75 - 4 \cdot 0.75) = -2.77 \text{ кНм.}$$

3.2 Розрахунок напруженого стану поперечини

Визначимо напруження посередині прольоту балки, де діє максимальний згинний момент.

$$\sigma = \frac{M}{W_o} = \frac{2.77 \cdot 10^3}{66 \cdot 10^{-6}} = 42 \text{ МПа}, \quad (3.7)$$

де $W_0 = \frac{I_x}{b - z_0} = \frac{774}{16 - 4.3} = 66 \text{ см}^3$ – осьовий момент опору перетину балки-кутника,

тут $I_x = 774 \text{ см}^4$ – момент інерції перетину кутника №16 [37];

$b = 16 \text{ см}$ – висота полки кутника;

$z_0 = 4.3 \text{ см}$ – відстань від центра ваги кутника до зовнішньої грані полки.

Перевіримо значення напружень в небезпечному перетині, який ослаблений отворами для кріпильного елементу гідронавіски. Для цього встановимо значення моменту, що діє в цьому перетині.

За геометричною подібністю знайдемо:

$$\frac{l/2}{(l/2) - 0.11} = \frac{M}{M'},$$

звідки

$$M' = \frac{M((l/2) - 0.11)}{l/2} = \frac{2.77((0.75/2) - 0.11)}{0.750/2} = 1.96 \text{ кНм.}$$

Напруження в ослабленому перетині

$$\sigma' = \frac{M'}{W'_o} = \frac{1960}{55 \cdot 10^{-6}} = 35.6 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

W'_o - осьовий момент опору розглядуваного перетину, $W'_o = 55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$

Розглядаємо горизонтальну складову сили – навантаження від дії гідроциліндра – 23 кН. Проводимо аналогічні розрахунки для виявлення небезпечного перетину балки.

Тоді реакції будуть рівні

$$R'_A = R'_B = \frac{1}{2} 23 = 11.5 \text{ кН.}$$

Моменти в опорах

$$M'_A = M'_B = \frac{1}{8} P' l,$$

де l - довжина кутника, $l = 750$ мм,

$$M'_A = M'_B = \frac{1}{8} 23 \cdot 0.75 = 2.2 \text{ кНм.}$$

На ділянці $0 \leq z \leq l/2$.

Перерізуюча сила

$$Q' = \frac{1}{2} P' ;$$

$$Q' = \frac{1}{2} 23 = 11.5 \text{ кН.}$$

Згинний момент на цій ділянці

$$M' = \frac{1}{8} P' (4z - l),$$

тоді

$$M' = \frac{1}{8} 23 \left(4 \cdot \frac{0.75}{2} - 0.75 \right) = 2.2 \text{ кНм.}$$

На ділянці $l/2 \leq z \leq l$.

Перерізуюча сила

$$Q' = -\frac{1}{2}P' ,$$

$$Q' = -\frac{1}{2}23 = -11.5 \text{ кН.}$$

Згинний момент

$$M' = \frac{1}{8}P'(3l - 4z),$$

$$M' = \frac{1}{8}23(3 \cdot 0.75 - 4 \cdot 0.75) = -2.2 \text{ кНм.}$$

Визначимо напруження посередині прольоту балки, де діє максимальний згинний момент.

$$\sigma' = \frac{M'}{W_o} = \frac{2.2 \cdot 10^3}{66 \cdot 10^{-6}} = 33.3 \text{ МПа,}$$

$$\text{де } W_o = \frac{I_x}{b - z_0} = \frac{774}{16 - 4.3} = 66 \text{ см}^3 - \text{осьовий момент опору перетину балки-}$$

кутника,

тут $I_x = 774 \text{ см}^4$ – момент інерції перетину кутника №16 [37]; $b = 16 \text{ см}$ – висота полки кутника; $z_0 = 4.3 \text{ см}$ – відстань від центра ваги кутника до зовнішньої грані полки.

Перевіримо значення напружень в небезпечному перетині, який ослаблений отворами для кріпильного елементу гідронавіски. Для цього встановимо значення моменту, що діє в цьому перетині.

За геометричною подібністю знайдемо:

$$\frac{l/2}{(l/2) - 0.11} = \frac{M'}{M''},$$

звідки

$$M'' = \frac{M'((l/2) - 0.11)}{l/2} = \frac{2.2((0.75/2) - 0.11)}{0.750/2} = 1.6 \text{ кНм.}$$

Напруження в ослабленому перетині

$$\sigma'' = \frac{M''}{W''_o} = \frac{1600}{55 \cdot 10^{-6}} = 29 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

W''_o - осьовий момент опору розглядуваного перетину, $W''_o = 55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$

Отже, звідси видно, що найбільш навантаженою є середина балки, тут діють найбільші моменти в обох площинах.

Визначимо сумарне напруження в цьому перетині [37]

$$\sigma_{\text{сум}} = \frac{\sqrt{M_{\text{верт}}^2 + M_{\text{гор}}^2}}{W_0} = \frac{\sqrt{2770^2 + 2200^2}}{66 \cdot 10^{-6}} = 53.6 \text{ МПа.} \quad (3.8)$$

Дане напруження знаходиться досить далеко від допустимого і за цим критерієм балка має великий запас міцності, але в процесі експлуатації машини відбувається її руйнування, тому є необхідність дослідити решту можливих навантажень на цей елемент.

Розглянемо випадок, коли робоча машина знаходиться в робочому положенні. Максимальний тяговий опір її становить 19,84 кН при агрегуванні з тракторами типу МТЗ-142 тягового класу 20 кН. Як видно, дане навантаження є меншим за складові того навантаження, що ми попередньо розглядали у двох площинах, а отже воно не є визначальним, оскільки напруження, які при цьому виникають є нижчими від допустимих.

Розглядаємо другу складову навантаження на поперечину рами – крутний момент від дії ваги машини, що виникає при рухові машини з невеликою амплітудою, яка є в межах шарнірних з'єднань ланок навісного механізму.

Відстань від розглядуваного кутника до центра ваги машини становить $l_k = 1.2$ м, тоді відповідно крутний момент становитиме

$$M_k = l_k G_{\text{заг}} = 1,2 \cdot 9.55 = 11.46 \text{ кНм.} \quad (3.9)$$

Для такого розрахунку можна рекомендувати наступний порядок розрахунку елементів конструкції на міцність і жорсткість при крученні.

За схемою валу і діючими на нього крутними моментами, будують епюру крутних моментів по окремих ділянках. Підбирають матеріал для елемента, що розраховується, і визначають для цього матеріалу допустимі напруження. Записують умову міцності для ділянки валу з максимальним значенням крутного моменту (згідно епюри моментів).

Якщо елемент достатньо довгий і по окремих його ділянках діють істотно різні по величині крутні моменти, то слід конструювати ступінчастим або змінної жорсткості.

Визначивши розміри елемента з умови міцності, перевіряють його на жорсткість. Відносний допустимий кут закручування валу приймають наступним: при статичному навантаженні - $0,3^\circ$ на кожен метр довжини валу; при змінних навантаженнях - $0,25^\circ$, а при ударних навантаженнях $= 0,15^\circ$ [38]. Враховуючи, що формула виражає кут закручування в радіанах, приведені значення допустимих кутів потрібно перевести в радіани, помноживши їх на $\pi/180$. Якщо при перевірці виявиться, що умова жорсткості задовольняється, то на цьому звичайно і закінчують розрахунок. Інакше розміри елемента потрібно підібрати з умови жорсткості.

Іноді при розрахунку відома передавана їм потужність, задана в кіловатах, і частота обертання n в обертах на хвилину. В цьому випадку крутні моменти в розрахункових формулах можна виразити безпосередньо через

потужність і частоту обертання n .

В нашому випадку балка рами підживлювача є приклад статично невизначного стержня при крученні. Елемент затиснений (приварений) обома кінцями і навантажений крутним моментом M_k , в деякому перетині, рис. 3.3.

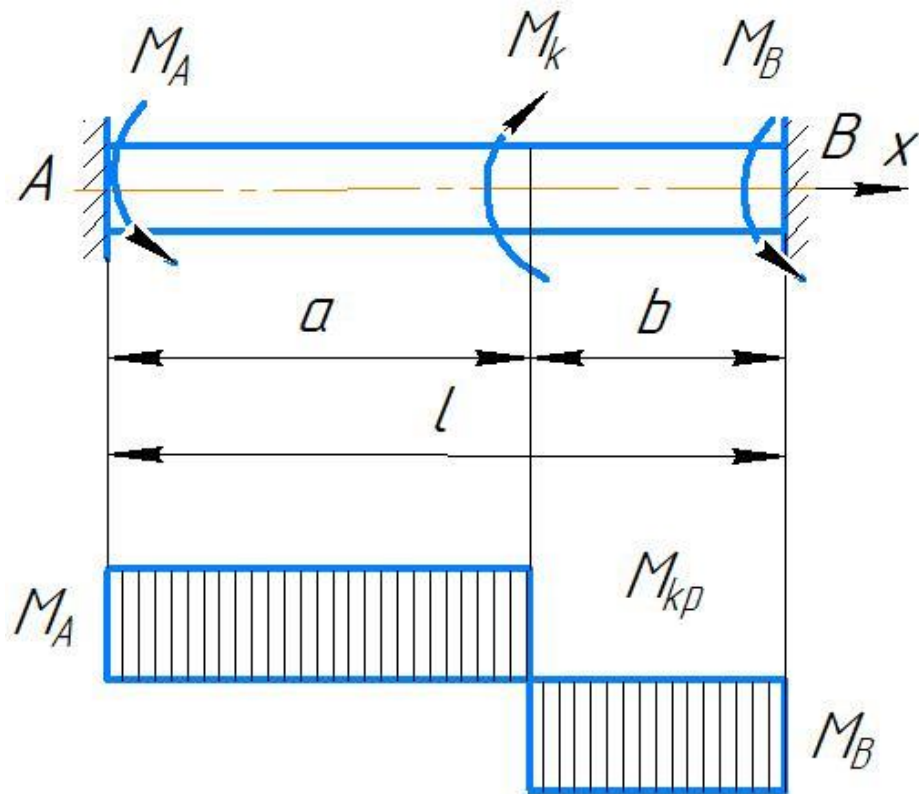


Рисунок 3.3 – Схема навантаження кутника-балки крутним моментом

Побудуємо епюру крутних моментів і визначимо напруження від заданого моменту.

При такому навантаженні в затисканнях виникають реактивні моменти M_A і M_B в площинах, перпендикулярних до осі стержня.

Статична сторона задачі. З умови рівноваги стержня

$$\sum M_x = M_A + M_B - M_k = 0, \quad (3.10)$$

бачимо, що задача один раз статично невизначна.

Геометрична сторона задачі. Оскільки обидва кінці затиснені, то кут повороту перетину В відносно А рівний нулю

$$\varphi_{B-A} = \varphi_{B-C} + \varphi_{C-A} = 0 \quad . \quad (3.11)$$

Фізична сторона задачі. Використовуючи формулу [33], запишемо вираз для кутів закручування:

$$\begin{aligned} \varphi_{B-C} &= -\frac{M_B b}{GJ_p}; \\ \varphi_{C-A} &= \frac{(M_k - M_B)a}{GJ_p}. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Синтез. В результаті, одержимо

$$\varphi_{B-C} = -\frac{M_B b}{GJ_p} + \frac{(M_k - M_B)a}{GJ_p} = 0.$$

Звідси матимемо:

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{M_k a}{a + b}; \\ M_A &= \frac{M_k b}{a + b}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Епюри крутних моментів показані на рис. 3.3

Отже, в нашому конкретному випадку момент прикладений посередині прольоту і тому він є однаковим на обидвох половинах і становить

$$M_A = M_B = \frac{M_k a}{a + b} = \frac{11460 \cdot 0.375}{0.375 + 0.375} = 5730 \text{ Нм.}$$

При цьому напруженні при крученні становитиме

$$\tau = \frac{M_k}{W_k}, \quad (3.14)$$

де W_k - полярний момент опору перетину.

Для відкритих профілів є своя особливість розрахунку полярного моменту інерції. Визначаючи при крученні напруження і деформації в тонкостінних стержнях відкритого профілю типу швелера, двутавра або кутника, можна скористатися теорією розрахунку на кручення стержнів прямокутного перетину. В цьому випадку незамкнутий профіль розбиваємо на прямокутні елементи, товщина яких значно менше їх довжини. Для кутника матимемо

$$J_p = \eta \frac{1}{3} \sum \delta_i^3 s_i, \quad (3.15)$$

тут, в тонкостінних відкритих профілях, довжину елемента звичайно прийнято позначати через s , товщину стінок – через δ .

Визначимо момент інерції нашого перетину кутника [37].

$$J_p = 1 \frac{1}{3} (16 \cdot 1^3 + 15 \cdot 1^3) = 10.33 \text{ см}^4.$$

Тоді полярний момент опору перетину становить

$$W_k = \frac{J_p}{\delta_{\max}} = \frac{10.33}{1} = 10.33 \text{ см}^3, \quad (3.16)$$

Напруження при цьому становитиме

$$\tau = \frac{5730}{10.33 \cdot 10^{-6}} = 555 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Таке напруження лежить в межах напружень границі міцності матеріалу і, звичайно, не може бути припустимим при експлуатації машини. Це одна із ймовірних причин виходу з ладу поперечини балки-кутника рами підживлювача. Цього факту не було враховано при проектуванні елементу кріплення навісного обладнання машини для внесення нематичидів у ґрунт, оскільки не було передбачено вільного ходу машини в зазорах шарнірів. Цей момент урівноважувався протидіючим моментом зі сторони гідроциліндра. Але насправді відомо, що в шарнірах є певний зазор і машина може при русі з деякою амплітудою діяти крутним моментом на кутник. Це і є одна з ймовірних причин руйнування поперечини.

Крім того, розрахунки напружень від згину та кручення ми визначали в статичній постановці задачі, але насправді машина перебуває в русі і на неї діють динамічні сили. Тут скористаємося коефіцієнтами динамічності, які визначаються додатковими дослідженням. Приймемо $k_d = 2$, тоді напруження від згину будуть становити

$$\sigma_d = k_d \sigma = 2 \cdot 53.6 = 107.2 \text{ МПа}, \quad (3.17)$$

такі динамічні напруження лежать в межах допустимих. Їх дуже велика кількість циклів призводить до руйнування балки, але це при проектуванні елементу враховується і закладається на весь можливий строк служби машини (забезпечується ресурс роботи).

Тому залишається найбільш вірогідною причиною саме дія крутного моменту на кутник-балку. Виходячи з цього, приймаємо рішення підсилити перетин, замінивши його закритим профілем, шляхом приєднання ще одного такого кутника, що разом утворює квадрат.

Перевіримо міцність такого перетину при дії на нього крутного моменту [37]

$$\tau = \frac{M_k}{2\omega\delta} = \frac{5730}{2 \cdot 0.0225 \cdot 0.01} = 12733333 \text{ Па} \quad (3.18)$$

$$\text{або } \tau = 12.7 \text{ МПа,}$$

де ω - площа, що охоплюється середньою лінією тонкостінного перетину, $\omega = 0.0225 \text{ м}^2$;

δ - мінімальна товщина стінки профілю, $\delta = 0.01 \text{ м}$.

Отримані напруження є повністю задовільними і вони витримують умову міцності, навіть, при динамічних перевантаженнях крутним моментом від ваги навісної машини з обладнанням.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи охорони праці при внесенні нематоцидів у ґрунт культиваторами

Внесення нематоцидів у ґрунт за допомогою культиваторів належить до категорії робіт з підвищеною небезпекою, що обумовлено токсичністю препаратів, можливістю контакту працівників із хімічними речовинами та роботою машинно-тракторних агрегатів у полі. Відповідно до Закону України «Про охорону праці», Закону України «Про пестициди і агрохімікати», ДСП 8.8.1.2.001-98 та НПАОП 0.00-1.28-10, при організації й виконанні таких технологічних операцій роботодавець зобов'язаний забезпечити комплекс профілактичних заходів, що гарантують безпечні умови праці для трактористів-машиністів, операторів змішувальних пунктів, працівників, відповідальних за транспортування, дозування та технічне обслуговування обладнання [34].

На етапі підготовки до робіт особлива увага приділяється формуванню санітарно-захисних зон та визначенню часу проведення обробітку. Санітарні правила ДСП 8.8.1.2.001-98 встановлюють, що внесення нематоцидів допускається лише у період відсутності вітру або при швидкості повітря не більше 3–4 м/с, а також за умови відсутності атмосферних опадів, щоб запобігти дрейфу робочого розчину. Поле до початку робіт маркують спеціальними попереджувальними знаками, а межі зон обробітку фіксують у журналі виконання хімічних робіт. Доступ сторонніх осіб, тварин і транспорту в період внесення препаратів забороняється.

На підприємстві призначається особа, відповідальна за організацію безпечного виконання робіт з пестицидами, яка забезпечує дотримання нормативних вимог, проводить інструктажі та контролює стан технічних засобів. Працівники допускаються до роботи лише після проходження медичного огляду, спеціального навчання та перевірки знань з охорони праці та правил поводження з пестицидами. Особливо підкреслюється необхідність регулярного навчання щодо дій у разі потрапляння препаратів на шкіру, в очі, органи дихання та при підозрі на отруєння.

Засоби індивідуального захисту мають відповідати вимогам ДСТУ EN 374, ДСТУ ISO 13688 та нормам ДСП. Тракторист-машиніст та працівники, що виконують обслуговування обладнання, забезпечуються герметичними рукавицями із хімічностійкого матеріалу, комбінезонами з водовідштовхувальним просоченням, захисними окулярами або щитками, фільтруючими проти газами марки А або В залежно від типу препарату. Одяг після кожної зміни проходить санітарну обробку або замінюється новим. Категорично заборонено застосовувати ушкоджені або забруднені ЗІЗ повторно, особливо при роботі з високотоксичними нематоцидами.

Перед початком внесення проводиться технічна перевірка культиваторів, дозувальних систем, баків та комунікацій для подачі препарату. Відповідно до НПАОП 01.0-1.01-12 усі вузли машини повинні бути герметичними, а робочі розчини – не допускати витоків через прокладки, з'єднання або насосне обладнання. Пошкоджені шланги, форсунки чи інші елементи замінюють негайно, оскільки витік препарату на ґрунт або техніку створює ризик отруєння для персоналу та забруднення навколишнього середовища. Забороняється використання культиваторів із несправними дозаторами, які можуть призвести до перевищення норми внесення або нерівномірності обробітку. Технічне обслуговування та регулювання виконуються лише при повністю зупиненому двигуні та після зняття тиску з системи подачі робочої рідини.

Наповнення баків нематоцидом здійснюється у спеціально обладнаних місцях, оснащених твердим покриттям, дренажем та ємностями для збору можливих проливів. Такі майданчики мають відповідати вимогам санітарних норм і повинні бути віддалені від джерел водозабору, тваринницьких приміщень та житлової забудови. Приготування робочих розчинів виконується лише у закритих системах із мінімізацією контакту працівника з концентрованим препаратом. Забороняється переливання хімічних речовин «відкритим способом», використання непризначеної тари або змішування препаратів без дозволу виробника. У разі випадкового проливу робочого розчину місце негайно обробляють абсорбентами (пісок, тирса, силікагель), після чого проводиться знешкодження забрудненої маси відповідно до екологічних вимог.

Під час руху агрегату тракторист повинен дотримуватись безпечної дистанції до

інших машин, зупинених механізмів та людей, що знаходяться у полі. НПАОП 0.00-1.28-10 вимагає, щоб ширина захисної зони становила не менше 50 м від напрямку дії агрегату з внесення препаратів, а доступ персоналу здійснювався лише після повної зупинки механізмів. Вхід будь-якої особи в робочу зону культиватора під час руху категорично заборонено. Постійний контроль за роботою дозувальної системи забезпечує рівномірність надходження препарату до ґрунту, а також дозволяє своєчасно виявляти можливі несправності.

Особливу увагу приділяють метеорологічним умовам. Роботи припиняються при появі туману, підсиханні повітря з підвищенням температури понад 25–28 °С, коли можливе інтенсивне випаровування частини препаратів. При сильному вітрі неможливо гарантувати локалізоване внесення нематоцидів, тому робота агрегату зупиняється до стабілізації погодних умов. Відповідальні працівники постійно ведуть спостереження за зміною метеорологічної ситуації.

Після завершення роботи проводиться санітарна обробка техніки, яка включає промивання баків, шлангів та дозаторів у спеціально відведених місцях. Забороняється мити обладнання біля річок, каналів або на ґрунті, що може призвести до забруднення водних ресурсів. Стічні води після промивання збираються у герметичні ємності та передаються на утилізацію відповідно до норм екологічної безпеки. Працівники знімають засоби індивідуального захисту у спеціально обладнаному приміщенні, де здійснюється їхня дезактивація та зберігання. Обов'язковою є перевірка стану здоров'я після виконання робіт, особливо при використанні препаратів II або III класу небезпечності.

Медична допомога має бути доступною безпосередньо на полі або у найближчому приміщенні. Наявність аптечки, укомплектованої антидотами (за потреби), засобами для промивання очей, ножицями, бинтами та антисептиками є обов'язковою вимогою. Працівники повинні знати основні симптоми хімічного отруєння: запаморочення, нудота, головний біль, різь в очах, кашель, слабкість. Інструкції з надання першої допомоги вивішуються на видному місці, а персонал проходить щорічні тренування з відпрацювання дій у разі виникнення аварійної ситуації.

Усі відходи, що містять залишки пестицидів, підлягають обліку, контролю та обов'язковій утилізації. Відповідно до Закону України «Про пестициди і агрохімікати», тара з-під препаратів після потрібного ополіскування не може бути використана повторно для побутових або господарських потреб. Її передають організаціям, що мають ліцензію на поводження з небезпечними відходами.

Таким чином, система заходів охорони праці при внесенні нематоцидів культиваторами охоплює комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і протиаварійних рішень. Дотримання вимог Закону України «Про охорону праці», ДСП 8.8.1.2.001-98, НПАОП 0.00-1.28-10, а також інструкцій виробників препаратів забезпечує мінімізацію ризиків професійних отруєнь, зниження впливу на довкілля та гарантує високу ефективність проведення агротехнічних робіт. Комплексний підхід, що поєднує контроль технічного стану машин, правильне використання засобів індивідуального захисту, постійний санітарний нагляд і ретельне планування кожного етапу внесення пестицидів, дає змогу забезпечити безпечні умови праці персоналу навіть при роботі з високотоксичними нематоцидами, які відіграють ключову роль у захисті культур від небезпечних ґрунтових хвороб.

4.2 Надзвичайні ситуації, що виникають при механізованому внесенні нематоцидів у ґрунт

Під час механізованого внесення нематоцидів у ґрунт культиваторами можуть виникати надзвичайні ситуації, що пов'язані з токсичністю препаратів, роботою машин і можливістю порушення технологічного процесу. Оскільки такі роботи належать до категорії підвищеної небезпеки відповідно до Закону України «Про пестициди і агрохімікати» та ДСП 8.8.1.2.001-98, будь-які відхилення в організації процесу або технічному стані обладнання здатні створити реальну загрозу здоров'ю працівників, довкіллю та сільськогосподарським угіддям.

Однією з найбільш поширених надзвичайних ситуацій є пролив або витік

нематоцидів під час приготування робочого розчину, заповнення баків чи руху тракторного агрегату. Причиною цього часто стають порушення герметичності дозувальних систем, зношені шланги, несправні з'єднання, перевищення робочого тиску у системі подачі або неправильне закриття клапанів. Витік високотоксичних препаратів у відкритий ґрунт може спричинити локальне забруднення земель та перевищення гранично допустимих рівнів пестицидів, що класифікується як аварійна ситуація відповідно до санітарних норм. Для працівників такий витік становить небезпеку через можливість прямого контакту шкіри з концентрованим препаратом або вдихання токсичних випарів.

Ще одним поширеним видом надзвичайних ситуацій є отруєння персоналу парами або аерозолями нематоцидів. Це може статися внаслідок раптового пошкодження системи подачі, розриву шланга, несправності форсунок, а також при обслуговуванні обладнання без належних засобів індивідуального захисту. За ДСП 8.8.1.2.001-98 працівник, який працює з препаратами II–III класу небезпечності, має бути повністю захищений герметичним спецодягом та протигазом відповідної марки. Порушення цих вимог призводить до гострих інтоксикацій, що проявляються у вигляді запаморочення, нудоти, слъозотечі, утрудненого дихання та загальної слабкості. У тяжких випадках можливе ураження центральної нервової системи та госпіталізація постраждалого.

Надзвичайною ситуацією вважається також займання або пожежа, спричинена роботою техніки з несправною електропроводкою, перегрівом двигуна або утворенням вибухонебезпечних сумішей парів деяких органічних препаратів з повітрям. Хоча більшість сучасних нематоцидів не є легкозаймистими, наявність на гарячих поверхнях техніки концентрованих хімічних речовин, змішаних з мастильними матеріалами, може утворювати небезпечне середовище. Такі ситуації потребують негайного припинення роботи агрегату, відключення живлення та застосування вогнегасників, дозволених для гасіння хімічних речовин.

До надзвичайних ситуацій належить неконтрольоване розповсюдження

робочого розчину внаслідок несприятливих погодних умов. За нормами ДСП внесення пестицидів заборонене при швидкості вітру понад 3–4 м/с. Однак у реальних умовах можливе різке посилення вітру, що призводить до дрейфу частинок препарату за межі оброблюваної площі. Це створює ризик ураження людей, які перебувають поблизу, забруднення пасовищ, водних джерел або сусідніх культур, які є чутливими до хімічних речовин. Якщо препарат був спрямований на обробіток ґрунту, але потрапив на поверхню рослин, можливе їх ушкодження, зниження врожайності або загибель культур.

Надзвичайні ситуації виникають і в разі потрапляння великих доз нематодуциду у ґрунт через неправильне налаштування дозувальних механізмів. Перевищення норми внесення не лише становить загрозу для здоров'я працівників, але й створює руйнівний вплив на біоту ґрунту, включно з дощовими червами, корисними мікроорганізмами та дрібною фауною. Таке забруднення класифікується як екологічна аварія з подальшим необхідним моніторингом ґрунтового середовища.

До категорії потенційно небезпечних ситуацій належить вихід із ладу культиватора або трактора під час роботи, що може призвести до раптової зупинки агрегату, витоку хімікатів або травмування персоналу. Поломка гідравлічних систем, обрив навісного обладнання чи від'єднання шлангів створюють додаткові загрози, оскільки поєднують механічний ризик із хімічним впливом. Такі випадки потребують негайної евакуації людей із небезпечної зони та зупинки роботи двигуна.

Окрему групу надзвичайних ситуацій становлять випадки забруднення водних об'єктів, що можуть відбутися під час промивання баків або аварійного виходу робочого розчину на ділянках поблизу водойм, каналів чи меліоративних систем. Санітарні норми забороняють будь-які операції з пестицидними розчинами ближче ніж 200 м від відкритих водойм. Однак порушення або недооцінка рельєфу місцевості можуть призвести до стікання токсичних речовин у канали, що становить загрозу для рибних ресурсів та якості води.

Надзвичайною ситуацією вважається також порушення правил зберігання нематодцидів, особливо при перевезенні їх до місця обробітку. Неправильне закриття тари, змішування препаратів, перевезення у необладнаному транспорті або вплив високих температур можуть призвести до хімічної деструкції, утворення токсичних парів та небезпечних реакцій. У разі аварій під час транспортування виникає потреба в локалізації хімічного забруднення та повідомленні компетентних органів згідно з процедурою, визначеною Законом України «Про пестициди і агрохімікати».

Таким чином, надзвичайні ситуації при механізованому внесенні нематодцидів можуть мати різну природу – технічну, організаційну, метеорологічну або хімічну. Вони становлять загрозу для здоров'я працівників, навколишнього природного середовища та ефективності виробничого процесу. Запобігання таким ситуаціям передбачає постійний контроль технологічних параметрів, дотримання санітарно-гігієнічних вимог, своєчасне технічне обслуговування техніки, а також належну підготовку персоналу щодо дій у разі аварій. Виконання цих вимог дозволяє мінімізувати ризики й забезпечити безпечне проведення агрохімічних робіт навіть із високотоксичними препаратами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основним завданням є вивчення проблеми базової конструкції машини для внесення рідких нематицидів у ґрунт. Виявлено недостатню міцність поперечини на якій кріпиться елемент монтування гідроциліндра навіски. Тут спостерігається її деформування та наступне руйнування, особливо, при частому транспортуванні робочої машини. Крім того, її міцністю обмежується використання більш широкозахватної машини при агрегуванні всієї машини з енергозасобом більшої потужності. Рішенням даного питання є, найперше, це дослідження реального навантаження та в результаті цього підсилення перетину, що забезпечить необхідну міцність із обґрунтування його параметрів.

Для реалізації ідеї роботи було проведено аналіз ефективних методів боротьби з нематодами на виконано ряд розрахунків, де встановлено наступне:

навантаження на гідроак не перевищує 7,0 кН. Сумарна сила тяжіння машини для внесення рідких нематицидів до ґрунту знаходиться в межах допустимих параметрів;

приведений розрахунок балансу тяги показує, що при агрегуванні машин для внесення рідких нематицидів в ґрунт з трактором МТЗ-80/82 (за важких умов роботи) можуть використовуватися культиватори типу КРН з числом лап до 10. У легших умовах кількість лап, і відповідно робоча ширина захоплення може бути збільшена. У агрегаті з тракторами МТЗ-142, ЛТЗ-145 можуть бути використані культиватори типу КРН-5,6, обладнані повним комплектом лап для глибокого рихлення. При цьому забезпечується гранична ширина захвату, $B = 4.8$ м;

на першому етапі після ряду досліджень виявлено, що найбільш вірогідною причиною до руйнування кутник-балки є саме дія крутного моменту. Виходячи з цього, прийнято рішення підсилити перетин, замінивши його закритим профілем, шляхом приєднання ще одного такого кутника, що разом утворює квадрат;

отримані напруження в перетині нової балки є повністю задовільними і

вони витримують умову міцності, навіть, при динамічних перевантаженнях крутним моментом від ваги навісної машини з обладнанням;

При обґрунтуванні параметрів об'єкту розробки з врахуванням ефекту стисненого кручення встановлено, що це призводить до кількісної зміни розподілів внутрішніх силових факторів на елементах рами машини.

Знайдений бімомент для пропонованого швелера № 16а ГОСТ 8240-72 замість двох кутників становить $B_2 = 15.2 \text{ Н}\cdot\text{м}^2$ при $\delta = 0.0182 \text{ м}$, напруження від ефекту стисненого кручення для даної конструкції балки додає 11.4 МПа до нормальних напружень.

Загалом нормальні напруження швелерної балки з врахуванням коефіцієнта динамічності 2 становлять 68,7 МПа.

Якщо порівняти маси балок після пропонованих вдосконалень:

- за першим варіантом – два кутники №16, їх маса 36,8 кг плюс маса більшої довжини кріпильних болтів, ще 1,3 кг, тоді разом 38.1 кг ;
- за другим варіантом – швелер №16а, його маса 11.4

Отже, звідси добре видно, що другий варіант вдосконалення підходить за допустимими напруженнями та в три рази має меншу масу. Його і будемо пропонувати на виробництво.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I.Ya., and Matviiv Yu.Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56. No. 1, July, 2020. P. 112–118.
2. Andreikiv, O.Y., Dolinska, I.Y., Babii, A.V. et al. Residual life of the folded bimetal plate taking into account degradation of materials at high temperature and under long-term loading. *Mater Sci* 60, 650–656 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00932-9>.
3. 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, P. 36-42. (ISSN 24523216, DOI 10.1016/j.prostr.2021.12.080).
4. 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.
5. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
6. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 98. No 2. P. 99–109.
7. Babii A., Babii M. 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.
8. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч.ІІ. С. 165-174.
9. Babii A., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian*

Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2024. Vol. 10(41)_I. P. 200-212. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.200-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.200-212).

10. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. (2024) Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 116, no 4, pp. 78–89. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078.

11. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091.

12. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. Procedia Structural Integrity, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.

13. 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. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.

14. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ihor Tkachenko, Mykola Stashkiv, Andrii Babii, Maria Pankiv, Zhanna Babiak, Alexander Marunych, Oleg Lakh, Artur Starikh. Investigation of the bulk material movement kinematics in conical screw conveyor. INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 74, 2024. No. 3. pp. 732-744.

15. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine / Andrii Babii, Bohdan Blashchak // Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2025. Vol 118. No 2. P. 117–127.

16. 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.

17. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. *Науковий журнал «Інженерія природокористування*, 2019. №3 (13) С. 87–91.

18. Бабій А., Вовк І., Гладь Ю. Багатофункціональний ротаційний робочий орган. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Рівне, 9-10 квітня 2025 року. Рівне: НУВГП, 2025. С.6-8.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. Бабій А.В., Брощак 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.

25. Бабій А.В., Вовк І.В., Бабій В.А. Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 17-19 квітня 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 9-10.

26. 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)_I. С. 216-226.

27. 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.

28. 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.

29. Вовк І., Бабій В., Бубняк Р. Переваги використання багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С.28-29.

30. Вовк І.В., Бабій А.В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. Актуальні задачі

сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.96-97.

31. Вовк І.В., Бабій А.В., Малевич Н.Ю., Новацький П.І. Обґрунтування частоти обертання вала ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.80-81.

32. Вовк І.В., Бойко В.В., Бабій А.В., Дем'янчук А.В. Критерії руйнування стебел рослин билом мульчувача при підготовці поля до збирання. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С. 61-63.

33. 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.

34. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.

35. 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.

36. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.

37. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко.

К.:Вища школа, 1974. 304 с.

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

39. 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.

40. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 384 с.

41. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень; За ред. М.І. Черновола. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

42. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.

43. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк , М.Я. Сташків, А.В. Бабій, Т.А. Довбуш. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 106 с.

44.

ДОДАТКИ