

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

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення продуктивності протруювача насіння з
удосконаленням компоновальної схеми основних вузлів

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

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Жук Н.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 _____ **бакалавр**
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю _____ **208 Агроінженерія**
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ **Жуку Назарію Володимировичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ **Підвищення продуктивності протруювача насіння з
удосконаленням компоувальної схеми основних вузлів**

Керівник роботи _____ **Бабій Андрій Васильович, д.т.н., професор**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2023

3. Вихідні дані до роботи: продуктивність машини, що необхідно досягнути, за годину основного часу до 25 т/год, експлуатаційного часу до 22 т/год; місткість бака не менше 240 л; подача дозатора 0,5...4,2 л/хв; робоча швидкість 0,7±0,1 м/хв; споживана потужність не більше 5,5 кВт.

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

Вступ. 1. Аналіз технологій протруювання насіння.

2. Рекомендації з покращення технології протруювання насіння зернових культур

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; Протруювач камерний ПК-25 (схема); Протруювач камерний

ПК-25. СК; Рама. СК; Колесо переднє. СК; Розрахунок передньої балки рами протруювача;

Розрахунок балки задніх коліс; Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз технологій протруювання насіння.	25.02.24	
2.	Рекомендації з покращення технології протруювання насіння зернових культур	20.05.24	
3.	Проектна частина.	10.06.24	
4.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	15.06.24	
5.	Загальні висновки	18.06.24	
6.	Графічна частина	20.06.24	

Студент _____
(підпис)

Жук Н.В.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабій А.В.
_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Мета і завдання дослідження – підвищити продуктивність протруювача при зміні компоновальної схеми основних більш продуктивних вузлів.

Мета досягається шляхом модернізації рами протруювача, що дозволяє скомпонувати на ній більш продуктивні вузли.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

проведено аналіз значення протруювання насіння в технологіях виробництва культур;

обґрунтовано, що хімічна обробка насіння зернових культур є найбільш ефективним захистом;

проведено огляд конструкцій машин для протруювання насіння;

наведено та проаналізовано основні відомості про базову конструкцію протруювача;

описано підготовку протруювача до роботи;

розраховано основні елементи при внесенні змін в конструкцію рами протруювача;

розраховано зварні з'єднання приєднувальних елементів до рами;

проведено розрахунок балки задніх коліс.

Об'єктом дослідження – технологічний процес протруювання насіння.

Предмет дослідження – удосконаленням компоновальної схеми основних вузлів протруювача.

Практичне значення – проведене удосконалення протруювача насіння через зміну компоновальної схеми основних вузлів дозволяє підвищити продуктивність протруювача в цілому.

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

Ключові слова. Протруювач, види протруювання, хімічний захист, рама, задня балка, продуктивність, компоновальна схема, технологічний процес.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОТРУЮВАННЯ НАСІННЯ	6
1.1 Значення протруювання насіння в технологіях виробництва культур	6
1.2 Хімічна обробка насіння зернових культур – ефективний захист культури ...	12
1.3 Огляд конструкцій машин для протруювання насіння	18
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОТРУЮВАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	23
2.1 Основні відомості про базову конструкцію протруювача	23
2.2 Підготовка протруювача до роботи	29
2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	35
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	36
3.1 Розрахунок основних елементів при внесенні змін в конструкцію рами протруювача	36
3.2 Розрахунок зварного з'єднання	41
3.3 Розрахунок передньої балки рами протруювача	43
3.4 Розрахунок зварного з'єднання передньої балки до рами	51
3.5 Розрахунок балки задніх коліс	52
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	55
4.1 Небезпечні ситуації, що виникають при протруюванні насіння	55
4.2 Вимоги безпеки при роботі з протруювачем насіння	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

Протруювання насіння відіграє критично важливу роль у сучасному аграрному виробництві. Цей процес не тільки сприяє зниженню ризику втрат врожаю від хвороб та шкідників, але й забезпечує здоровий старт майбутнім рослинам. Ефективне протруювання може значно підвищити життєздатність насіння, поліпшуючи його проростання та витривалість у викликаючих умовах, таких як низькі температури або посуха.

Ключовим аспектом є використання якісних протруювачів, які ефективно борються з цільовими патогенами без шкоди для самого насіння. Вибір і застосування правильного протруйника може не тільки захистити насіння на початкових стадіях зростання, але й знизити потребу у застосуванні додаткових пестицидів після посіву. Це не тільки сприяє стійкості рослин до хвороб, але й позитивно впливає на екологічність аграрних практик.

Таким чином, інвестиції в ефективні протруювачі, обприскувачі [2-5, 7,8] та їх правильне використання можуть виявитися вирішальними для успіху сільськогосподарського виробництва, підвищуючи якість та кількість врожаю, забезпечуючи більшу продуктивність поля і кращий ринковий результат.

Удосконалення машин-протруювачів є ключовим аспектом підвищення ефективності агротехнічних заходів. Сучасні інновації у цій сфері спрямовані на забезпечення більш точного та ефективного нанесення протруйників, що мінімізує втрати препарату і забезпечує краще покриття насіння.

Одним з напрямків удосконалення є використання автоматизованих систем дозування, які дозволяють точно регулювати кількість протруйника, що наноситься на кожну насініну. Це знижує ризик перевантаження насіння хімікатами та покращує умови для їх проростання.

Інша важлива область інновацій – розробка мобільних протруювачів, що можуть бути використані безпосередньо в полі. Це дозволяє обробляти насіння безпосередньо перед посівом, знижуючи ризик деградації протруйників від тривалого зберігання після обробки.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОТРУЮВАННЯ НАСІННЯ

1.1 Значення протруювання насіння в технологіях виробництва культур

Основною метою протруювання насіння є мінімізація чи знищення шкідливих організмів перед початком росту рослин. Особливо важливі заходи для захисту пшениці від хвороб, такі як розробка та впровадження сортів, що стійкі до патогенів. Ці сорти здатні затримувати розвиток хвороб та обмежувати розмноження збудників. Навіть в умовах, сприятливих для хвороб, врожайність стійких сортів залишається стабільною, а хімічна обробка може бути зведена до мінімуму або навіть виключена. При виборі сортів для вирощування в певних регіонах перевагу віддають високопродуктивним і стійким до важливих хвороб видам. Селекціонери і фітопатологи спільно працюють над створенням нових сортів, оскільки сорти можуть з часом втрачати свою стійкість. Тому розробка нових сортів та ротація існуючих має ключове значення для запобігання епідеміям, особливо таким, як ржі та борошниста роса. Для запобігання поширенню хвороб через насіння, елітне насіння пшениці повинне відповідати високим стандартам сортової чистоти – не менше 99,7% для елітного насіння, і 99,5% та 98% для насіння першої і наступних репродукцій відповідно.

При насінні I та II класів не допускається наявність головневих мішечків та їх частин, тоді як у насінні III класу їхня кількість не має перевищувати 0,002%. Вміст спорових ріжків та склероцій інших грибів у насінні I класу обмежено 0,01%, у насінні II класу – до 0,03%, а в III класу – до 0,05%. Насіння I класу має бути вільним від деформованих та щуплих зерен, в той час як у II класі такі зерна можуть становити до 3%, а в III класі – до 5%.

Забороняється використання для посіву насіння пшениці, яке інфіковане карантинними хворобами або галлами пшеничної нематою. Також не можна використовувати насіння з посівів, в яких за результатами апробації виявлено

більше ніж 2% стеблової або карликової голівешки по стеблах (для еліти більше 0,3%) та понад 5% твердої голівешки (для еліти більше 0,1%).

Для забезпечення цих стандартів важливим є термічне знезараження суперелітного та елітного насіння або їх обробка системними фунгіцидами. Профілактика епіфітотій передбачає застосування науково обґрунтованих сівозмін, агротехнічних заходів, збалансоване внесення добрив, вибір термінів та способів сівби, контроль бур'янів тощо.

Під час планування сівозмін слід уникати розміщення посівів озимої та ярої пшениці поруч, а також інших зернових культур, щоб запобігти швидкому розповсюдженню хвороб. Насінні ділянки повинні розташовуватися на відстані не менше 1 км від товарних посівів для зменшення ризику перенесення інфекцій [9, 10, 12].

Внесення органічних та мінеральних добрив не лише сприяє збільшенню урожайності пшениці, але й зміцнює здатність рослин протистояти збудникам таких захворювань, як ржі, головневі захворювання, борошниста роса, коренева гниль, септоріаз, фузаріоз та інші.

Також критично важливим є ретельне підготування насіння перед сівбою. Процеси чистки, сортування та теплової обробки свіжозібраного насіння протягом 5-7 днів виявляються ефективними проти захворювань, таких як голівешка та фузаріоз.

Необхідно здійснювати термічну або хімічну обробку насіння. Термічне знезараження, зокрема, ефективне проти заповненої голівешки та інших захворювань, які локалізуються у зародку або ендоспермі зерна. Цей метод частіше застосовується для обробки насіння супереліти та еліти.

У аграрній практиці популярним є однофазне термічне знезараження насіння: прогрівання у воді при температурі 45°C протягом 3-4 годин або при 47°C на 2 години. Після обробки насіння охолоджують та висушують до необхідного рівня вологості. Для цього використовують устаткування, яке забезпечує гідротермічне знезараження, підтримання заданої температури, сушіння, завантаження, розвантаження та транспортування насіння. Також таке

обладнання може використовуватися для сушіння насіння трав, соняшнику, кукурудзи та інших культур.

Варто зазначити, що термічне знезараження може вплинути на схожість насіння деяких сортів пшениці. Тому перед застосуванням такої обробки рекомендується спочатку перевірити схожість пробної партії насіння. Після термічної обробки уникайте хімічного знезараження насіння, якщо вжито заходів проти повторного зараження. В іншому випадку насіння потрібно протравити хімічними засобами.

Протруювання насіння для боротьби з твердою і стебловою голівешкою, кореневою гниллю, септоріазом, фузаріозом та бактеріозами проводиться відразу після збору врожаю або перед посівом. Насіння може оброблятися сухим способом, але зволожене протруювання є більш ефективним і безпечним для операторів, оскільки при цьому використовуються суспензії препаратів або насіння зволожується. У цьому випадку на 1 тонну насіння використовується від 5 до 10 літрів води, що не призводить до перезволоження зерна, дозволяючи йому довго зберігатися. Для підвищення ефективності протруювання застосовують липучі добавки, такі як концентрат сульфітно-спиртної барди або силікатний клей в дозах 0,7-1 та 0,15-0,2 кг на тонну відповідно.

Для сухого та зволоженого протруювання використовуються барабанні, камерні та шнекові машини. У разі необхідності застосування бактеріальних препаратів, протруювання проводять за 20-30 днів до бактеризації, яка здійснюється в день посіву насіння.

Для підвищення стійкості пшениці до хвороб важливо дотримуватись оптимальних термінів сівби, які визначені для кожної агрокліматичної зони. Посіви, виконані у вузькорядковому та перехресному стилі, менш схильні до ураження іржею та кореневою гниллю. Також слід уважно підходити до встановлення глибини закладення насіння, враховуючи не тільки вологість верхнього шару ґрунту, але й здатність сорту формувати колеоптіль певної довжини. Насіння сортів з довгим колеоптилем можна сіяти глибше, що є особливо важливим для забезпечення стійкості рослин проти кореневої гнилі.

В регіонах із вітровою ерозією та іншими умовами, де озима пшениця страждає від недостатньої вологості, осіннє снігозатримання допомагає підвищити стійкість до кореневої гнилі. Навесні, після танення снігу, для боротьби зі сніжною цвілью, склеротиніозом, кореневою гниллю, іржею та борошнистою росою рекомендується підгодовувати посіви озимої пшениці добривами: суперфосфатом (2 центнери на гектар) і хлористим калієм (1 центнер на гектар) з додаванням аміачної селітри (0,75-1 центнер на гектар) на ослаблені посіви. За потреби в мінеральні добрива можуть додаватися мікроелементи, дози яких регулюються на підставі агрохімічного аналізу ґрунту [14].

В районах, де ґрунти стійкі до вітрової ерозії, весняне боронування посівів озимої пшениці є обов'язковим. Цей агротехнічний прийом покращує аерацію посівів та ґрунту, що сприяє збільшенню стійкості рослин до таких захворювань, як склеротиніоз та сніжна цвіль. Боронування також допомагає видалити нижнє листя, де можуть зимувати спори бурої та жовтої іржі.

Позакореневе добриво рослин фосфорно-калійними добривами (8 кг хлористого калію і 7 кг 19,5%-ного суперфосфату на гектар) виявляється ефективним у контролі бурої та жовтої іржі, які активізувались з осені, та борошнистої роси у фазі трубкування пшениці. Для цієї підгодівлі використовують водні суспензії, які можна вносити за допомогою авіаційної чи наземної техніки [13, 16, 18, 28, 29].

Своєчасне усунення бур'янів та шкідників, особливо у прилягаючих до полів зонах, таких як лісосмути та інші буферні зони, також допомагає знижувати рівень зараження рослин пшениці хворобами.

Для запобігання локальним спалахам стеблової іржі важливо знищувати барбарис у радіусі до 500 метрів від посівів пшениці. Це можна зробити за допомогою обприскування ґрунту суспензією 80%-ного порошку фенурону у дозациї 50–75 кг на гектар.

Також для запобігання ферментативно-мікозному виснаженню зерна та боротьби з оливковою цвілью, критично важливим є своєчасне і оперативне

збирання врожаю. Знищення сходів падалиці допомагає зменшити розповсюдження іржі, борошнистої роси, септоріазу та вірусних захворювань.

Знезараження насіння та посадкового матеріалу проводиться для захисту рослин на початковому етапі їх зростання і розвитку від грибкових, бактеріальних та вірусних хвороб. Протруювання насіння також запобігає проникненню патогенних мікроорганізмів у тканини насіння під час його зберігання, підвищує енергію проростання та схожість, і забезпечує профілактику занесення збудників хвороб разом з насіннєвим матеріалом.

Залежно від будови насіння, ступеня його зараженості, біологічних характеристик мікроорганізмів і властивостей протруйників, існують різні методи протруювання: вологе, сухе та напівсухе.

При вологому протруюванні насіння змочують розчином препарату, переважно формаліном, покривають мішковиною чи брезентом і залишають на 2 години, після чого насіння сушать. Цей метод є трудомістким і використовується переважно для малих партій цінних сортів пшениці, ячменю, проса, які заражені голівешкою.

Сухе протруювання полягає у нанесенні на насіння тонкомеленого порошкового протруйника. Цей метод широко застосовується для дезінфекції насіння зернових, овочевих, технічних культур, а також насінних цибулин, коренеплодів і бульб. Однак має недоліки, такі як низька адгезія препаратів до насіння та значне розпилювання, що погіршує санітарно-гігієнічні умови роботи.

Напівсухе протруювання включає нанесення порошкоподібних препаратів на злегка зволене насіння або обробку насіння суспензією, створеною змішуванням порошкового протравлювача з водою.

Для змочування насіння використовується 5-10 літрів суспензії препарату на 1 тону насіння. Для покращення адгезії протруйників до поверхні насіння у воду додаються липкі речовини, такі як концентрат сульфітно-спиртної барди, силікатний клей, борошняний клейстер, меласа, молочний відвійок та інші. За кордоном популярні такі методи напівсухого протруювання як "слурі" –

нанесення густої суспензії протруювача, а також метод "паноген", що включає нанесення ртутьорганічних протруювачів у вигляді розчинів (200 мл на 100 кг насіння).

Напівсухе протруювання є ефективним для насіння плівчастих зернових культур, таких як овес та ячмінь, особливо проти головневих захворювань. Цей метод має переваги, оскільки не вимагає додаткового підсушування насіння – збільшення вологості становить лише 0,5-1%, і є вигідним з санітарно-гігієнічного погляду.

Термічне знезараження насіння, що включає використання підвищених температур (40–90 °С гарячим повітрям або 50–60 °С гарячою водою), також важливе для захисту насіння, особливо пшениці та ячменю, від запорошеної головешки. Цей метод ефективно знищує збудників, які знаходяться глибоко у тканинах сім'я, не погіршуючи посівні якості насіння, коли хімічне знищення неможливе.

Для протруювання насіння та посадкового матеріалу використовують спеціалізоване обладнання та пристрої. Протруювання, проведене в день посіву або посадки, є найменш ефективним, тоді як обробка за 5–8 місяців до висіву чи посадки вважається найбільш ефективною.

Роботи з протруювання слід виконувати в спеціальному одязі, на відкритому майданчику або під навісом, при цьому місце проведення робіт має бути розташоване на відстані не менше ніж 200 метрів від житлових і тваринницьких будівель та джерел питної води. Також рекомендується, щоб тривалість робочого дня не перевищувала 4 години.

1.2 Хімічна обробка насіння зернових культур – ефективний захист культури

Розрахунок майбутнього урожаю слід розпочати ще до моменту сівби. Комплекс патогенів насіння включає десятки видів грибів та бактерій, з якими найбільшу загрозу посівам ярої пшениці та ячменю становлять сажкові хвороби, кореневі гнилі та септоріози, збудники яких передаються через насіння або ґрунт.

За даними УААН, останнім часом зросла частка зерна, ураженого сажковими хворобами (*Tilletia caries*, *Ustilago tritici*, *Ustilago nuda*, *Ustilago hordei*), що спричинене вологою та помірно теплою погодою. У деяких районах спостерігалася ураженість до 10% рослин, що зумовлює підвищену тривогу щодо розвитку сажкових хвороб, особливо у південних районах.

Згідно з держстандартами, елітне та суперелітне насіння не повинно містити інфекцію сажкових хвороб. Проте, на практиці, навіть під час фітоекспертизи, виявляються випадки зараження сажкою в елітних посівах.

Окрім сажкових хвороб, особлива увага потребує боротьба з кореневими гнилями, які стають однією з найбільш розповсюджених та шкідливих хвороб зернових колосових культур.

Протруєння насіння визначається як найбільш цілеспрямований, економічно вигідний та екологічно безпечний метод захисту посівів від хвороб, що передаються насінням та через ґрунт. Цей метод є обов'язковим у технології вирощування ярої пшениці та ячменю, дозволяючи захистити молоді проростки на ранніх етапах розвитку. Протруєння є також єдиним ефективним засобом захисту від сажкових хвороб, оскільки обробка рослин під час вегетації не блокує розвиток збудників.

В Україні доступний великий вибір протруйників насіння для ярих зернових колосових культур, які діють системно або мають контактано-системний ефект і можуть містити одну або декілька активних речовин. Однією з контактних діючих речовин є тирам, який виступає як захисний фунгіцид. Ця речовина не проникає всередину рослини чи насіння, але ефективно блокує

проростання спор і ріст міцелію на поверхні. Тетраметилтіурам дисульфат, активний компонент тираму, транслокується до клітин патогена та інгібує активність важливих ферментів. Препарати на основі тираму, такі як Вітавакс 200ФФ, Вітакласік, Вітарос, Вікінг, Гарант, Гранівіт, Раксил екстра, Стиракс, використовуються для захисту насіння від кореневих гнилей та інших поверхневих захворювань.

Флудіоксоніл, представник класу фенілпіролів, є контактним фунгіцидом із тривалою захисною дією та слабкою системною активністю. Він ефективно пригнічує фосфорилування глюкози під час клітинного дихання, впливаючи на ріст грибниці, розмноження патогенів та формування клітинних мембран. Флудіоксоніл активно бореться з патогенами різних родів, включаючи *Altemaria*, *Ascochyta*, *Aspergillus*, *Fusarium* та інші. Ця речовина є основою для протруйника Максим Стар 025 FS.

Для протруєння насіння ярих зернових колосових культур в Україні використовуються похідні бензімідазолу, такі як карбендазим, тіабендазол та беноміл. Ці сполуки є системними фунгіцидами, які забезпечують захисну та викорінюючу дію. Як інгібітори біосинтезу тубуліну, вони ефективно блокують розвиток міцелію та утворення ростових трубочок спор, впливаючи на поділ клітини та формування клітинних мембран. Ці речовини ефективні проти таких захворювань, як борошниста роса, септоріоз, фузаріоз, склеротініоз, та інші грибкові інфекції.

Особливістю бензімідазолів є їх висока вибірковість, однак їхня спеціалізованість може призвести до швидкого розвитку резистентності у патогенів після регулярного застосування протягом 3-4 років. Стійкі популяції до цих фунгіцидів були виявлені по всьому світу.

Беноміл, який має низьку хімічну стабільність, швидко гідролізується у водному середовищі до карбендазиму, більш стійкої речовини. На основі беномілу виробляється протруйник Фундазол, широко використовуваний для захисту насіння.

Карбендазим має тривалий час зберігання активності на рослині, але

проникає і переміщується в ній відносно повільно. Він сумісний з багатьма іншими препаратами і має такий самий спектр дії, як беноміл. Карбендазим включений до складу таких фунгіцидів як Абсолют, Гарант, Дерозал, Дітокс, Колфуго Супер, Колфуго Дуплет, Сарфун Т 65 DS, ТЕРРмінатор, Феразим, Штефазал, Форсаж 500 S C, Сарфун 500 S C.

Тіабендазол відомий своєю високою хімічною стабільністю і здатністю утворювати на поверхні насіння тривалий захисний шар. Цей фунгіцид ефективний проти широкого спектру грибів, включаючи роди *Aspergillus*, *Botrytis* та інші. Тіабендазол входить до складу препаратів Вінцит SC 050, Віал, Віал ТТ.

Фуберідазол має високу специфічну активність проти фузаріозу, тому його застосування зазвичай обмежене і він використовується у комбінації з іншими речовинами, зокрема входить до складу Байтан Універсал.

Карбоксин, похідний оксатіїнів, використовується для боротьби з грибковими захворюваннями насіння та молодих рослин. Він проявляє фунгіцидну дію як при безпосередньому контакті з патогеном, так і в процесі розвитку рослини, інгібуючи мітохондріальний комплекс II та негативно впливаючи на дихальні процеси грибів.

Діючі речовини, що належать до інгібіторів синтезу стеринів, широко представлені на ринку України. Цей клас фунгіцидів об'єднує сполуки різних хімічних груп, які блокують біосинтез ергостерину та інших стеринів – ключових компонентів внутрішньоклітинних мембран. Ці речовини відзначаються високою біологічною активністю, економічною витратою, системною, захисною та викорінюючою дією на патогени, а також високою вибірковістю стосовно корисних організмів. Вони ефективні проти таких захворювань, як борошниста роса, септоріоз, іржа та інші грибкові інфекції.

Серед фунгіцидів класу інгібіторів синтезу стеринів, азоли займають провідне місце. В Україні зареєстровані препарати на основі імідазолів, такі як імазаліл (Байтан Універсал), прохлораз (Кінто дуо); тріазоли, включно з диніконазолом (Віал, Сумі-8 ФЛО), дифенконазолом (Дивіденд Стар, 036 FS),

тебуконазолом (Бункер, Вега, Віал ТТ, Діксил, Класік, Кольчуга, Моріон, Раксил, Раксил екстра, Раксил Ультра FS, Раксон, Раназол, Росток, Тебузан, ТЕРРАсил, Хелмсил), тетраконазолом (Лоспел), триадименолом (Байтан універсал, Росток), тритіконазолом (Кінто дуо, Корріоліс, Преміс 25), ципроконазолом (Дивіденд Стар, 036 FS, Максим Стар 025 FS).

Азоли, інгібуючи синтез ергостерину, не тільки захищають мембрани клітин від розриву, але і блокують розвиток грибкових інфекцій, зупиняючи подовження ростових трубок та клітинну диференціацію. Їхня хімічна стабільність гарантує довготривалий захист, а хороша розчинність у воді забезпечує ефективне переміщення від коренів до надземних частин рослини.

Коли азоли потрапляють у рослину у великих кількостях, вони можуть впливати на синтез гіберелінів, виступаючи як регулятори росту. Типовим прикладом є їхній ретардантний ефект, який призводить до гальмування росту міжвузлів у зернових культурах, а також до зменшення транспірації через порушення синтезу стерину.

Серед системних фунгіцидів на основі азолів, особливо поширені триазоли. Ципроконазол швидко вбирається рослиною і активний до 45 днів. Дифеноконазол спеціалізується на боротьбі з сажковими хворобами, корневими гнилями і пліснявінням насіння. Диніконазол відомий високою ефективністю проти хвороб, які передаються насінням і через ґрунт, забезпечуючи захист проростків на кілька тижнів.

Тебуконазол при обробці насіння впливає на сажкові гриби та пліснявіння насіння, меншою мірою діє на кореневі гнилі. Триадименол має виразний ретардантний ефект, тоді як тритіконазол вирізняється широким спектром дії та тривалим захисним ефектом, при цьому менше впливаючи на рослини.

Серед імідазолів, імазаліл відомий високою активністю проти фузаріозної та гельмінтоспоріозної корневих гнилей. Прохлораз, як контактний-системний фунгіцид, зберігає активність до чотирьох тижнів після проникнення у рослину.

Морфоліни, які є одними з перших інгібіторів синтезу стеринів, блокують реакції ізомеризації та поновлення стеринів, уповільнюючи формування

резистентності патогенів. Фенпропіморф, належить до цієї групи, має системну захисну та лікувальну дію та впливає на гриби так само, як і азоли.

Для забезпечення максимальної ефективності протруювання, активна речовина має бути рівномірно розподілена по насінню. Отже, важливо використовувати не тільки високоефективні препарати, але й дотримуватися правильної технології обробки. Необхідно слідувати встановленим нормам споживання препарату та води для обробки заданої кількості насіння, а також гарантувати, що насіннєвий матеріал перед протруюванням є каліброваним і очищеним від домішок.

Усі процедури протруювання мають проводитись з дотриманням техніки безпеки при роботі з пестицидами та агрохімікатами.

Протруєне насіння слід зберігати у прохолодному, сухому місці з гарною вентиляцією. Важливо пам'ятати, що тривале зберігання може вплинути на схожість та енергію проростання насіння, тому перед висіванням потрібно перевірити його якість [23, 27,30].

Також рекомендується висівати протруєне насіння в добре підготовлений та достатньо вологий ґрунт для оптимального росту.

В Україні зареєстровано широкий асортимент протруйників насіння для ярої пшениці та ячменю, які включають фунгіциди, інсектициди та багатокомпонентні препарати. Протруйники використовуються для захисту насіння та молодих сходів від шкідників та хвороб, а також для підвищення загальної врожайності.

Деякі з основних протруйників, які активно використовуються для ярої пшениці та ячменю, включають продукти на основі діючих речовин, таких як тирам, тебуконазол, а також більш комплексні формуляції, що містять кілька активних інгредієнтів для широкого спектра дії.

Протруйники на ринку пропонують як однокомпонентні, так і комбіновані формуляції. Однокомпонентні препарати, як правило, спеціалізуються на конкретних типах хвороб або шкідників, тоді як багатокомпонентні протруйники надають більш універсальний захист,

комбінуючи фунгіциди та інсектициди для комплексної дії.

Ефективне використання протруйників також залежить від правильної дозування та методу застосування. Важливо дотримуватися інструкцій виробника щодо кількості та техніки нанесення препарату на насіння перед посівом.

З огляду на обговорення, стає очевидно, що хімічний метод залишається провідним у боротьбі з хворобами та шкідниками у сільському господарстві, особливо коли мова йде про протруювання насіння. Цей метод демонструє свою ефективність завдяки можливості глибокого і ретельного захисту рослин вже на самому ранньому етапі їх розвитку. Така практика виявляється важливою не лише для забезпечення здорового початку життєвого циклу культур, але й для мінімізації використання пестицидів на пізніших етапах вирощування.

Вдосконалення технологій протруювання, зокрема в плані розробки та впровадження інноваційних протруйників, є критично важливим. Такі інновації можуть включати в себе розробку більш ефективних формул, які забезпечують краще прилипання препаратів до насіння, зниження ризику утворення пилу та забезпечення рівномірнішого покриття.

Розглянемо далі, як саме працює протруйник. В основі його дії лежить нанесення хімічного розчину на насіння перед посівом. Це дозволяє не тільки захистити насіння від впливу зовнішніх шкідливих факторів, але й сприяє кращому проростанню. Протруйник має бути сумісним з насінням і не завдавати шкоди його життєздатності, одночасно ефективно знищуючи патогени та шкідників, які можуть зустрічатися в ґрунті або на самому насінні.

1.3 Огляд конструкцій машин для протруювання насіння

Оглянемо ринок протруювачів, зосередивши увагу на їхніх технічних можливостях та аналізі вартості обладнання [34-36].

Протруювач насіння ПСК-15 призначений для нанесення пестицидів у формі розчинів, емульсій, або суспензій на сільськогосподарське насіння. Процес включає кілька технологічних етапів: приготування робочої рідини, автоматичне завантаження насіння, їх протруювання та розвантаження обробленого насіння у транспортні засоби чи мішки.

Продуктивність: до 20 тонн за годину;

Рівень протруювання насіння: $100\pm 10\%$;

Габарити (довжина x ширина x висота): 6200 x 2050 x 3020 мм;

Маса: 750 кг;

Висота вивантаження: мінімум 3,0 м.

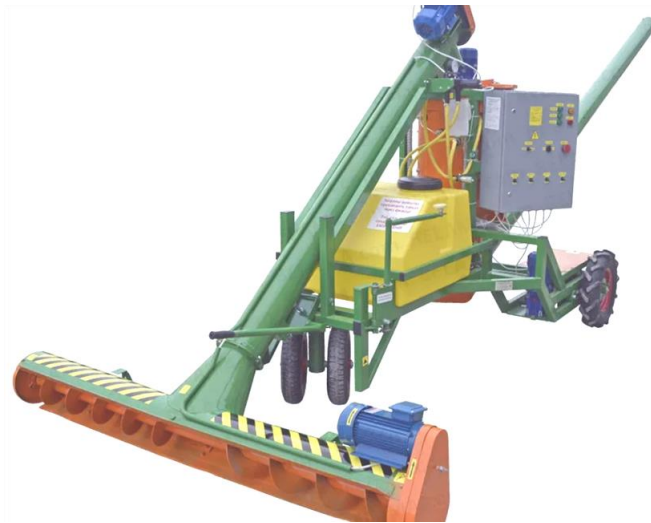


Рисунок 1.1 – Протруювач насіння камерний ПСК-15

Протруювач насіння камерний ПС-20К-4 є самопересувним обладнанням, призначеним для обробки насіння зернових, зернобобових та технічних культур водними суспензіями пестицидів з метою захисту від збудників хвороб і

шкідників, рис. 1.2. Дисковий розпилювач на камерному вузлі забезпечує високоякісне та рівномірне протруювання насіння.



Рисунок 1.2 – Протруювач насіння камерний ПС-20К-4

Давайте детальніше розглянемо ключові характеристики даного обладнання та зазначимо нові доповнення:

Традиційна компоновка на чотирьох колесах з кермовим управлінням та сидінням. Машина обладнана двома швидкостями: транспортною та робочою, а також має нейтральну передачу для більшої універсальності.

Транспортна швидкість для переміщення між об'єктами, робоча швидкість для оптимальної продуктивності під час виконання завдань; нейтральна передача дозволяє оператору безпечно зупинити обладнання без вимкнення двигуна.

Два автоматичні режими роботи для адаптації до різних умов роботи:

- а) Високий бурт – для роботи з великими об'єктами;
- б) Низький бурт – для стандартних умов, та ручний режим для індивідуальних налаштувань.

Великий і зручний герметичний щит управління, оснащений дистанційним дротяним пультом управління довжиною 15 метрів, що мінімізує вплив пилу і пестицидів на оператора під час роботи.

Професійна ємність 300 літрів зі зручною горловиною та вбудованим фільтром для проціджування робочого розчину. Кришка оснащена дихальним клапаном, що забезпечує оптимальний тиск і запобігає проливанню.

Використання професійного італійського насосу PEDPOLLO та високоякісних комплектуючих від італійської фірми ARAG, включаючи фільтри, крани та шланги, гарантує надійність і довговічність.

Гідромішалка для робочого розчину забезпечує його однорідність та ефективність обробки.

Обладнання оснащено простою та надійною системою налаштування подачі робочого розчину. Вона включає в себе калібрований жиклер та манометр для точного контролю, а також мірний стакан для швидкої перевірки. Налаштування регулюються згідно з зрозумілою таблицею, що дозволяє легко адаптувати процеси під конкретні потреби.

Для синхронізації подачі суспензії та насіння використовуються надійні натискні датчики, що автоматизують процес протруювання. Дозатор насіння регулюється від 3 до 20 тонн, що дозволяє збільшити продуктивність.

Привід здійснюється за допомогою професійного італійського мотор-редуктора SITI або BONFIGLIONI, заправленого синтетичним маслом SHELL. Також оснащення включає підшипникові вузли на маточинах коліс для забезпечення стійкості руху.

Унікальна особливість – висота вивантажувального шнека, яка дозволяє проводити завантаження протравленого насіння в кузови вантажних автомобілів ГАЗ та ЗІЛ з нарощеними бортами до 2,7 метрів. Всі органи управління розміщені на одній стороні для зручності оператора.

Комплексний захист електродвигунів від перевантажень забезпечує безпеку використання. Ширина захоплення підбирача становить 2,0 метри, що оптимізує процеси обробки. Місткість бака досягає 300 літрів, а продуктивність

обробки пшениці може досягати 20,0 тонн на годину. Витрата робочого розчину коливається від 3 до 20 літрів на тонну, а споживана потужність складає 6,0 кВт. Маса устаткування становить 850 кг, що робить його стабільним під час роботи.

І на завершення розглянемо ще стаціонарний протруювач, рис. 1.3.

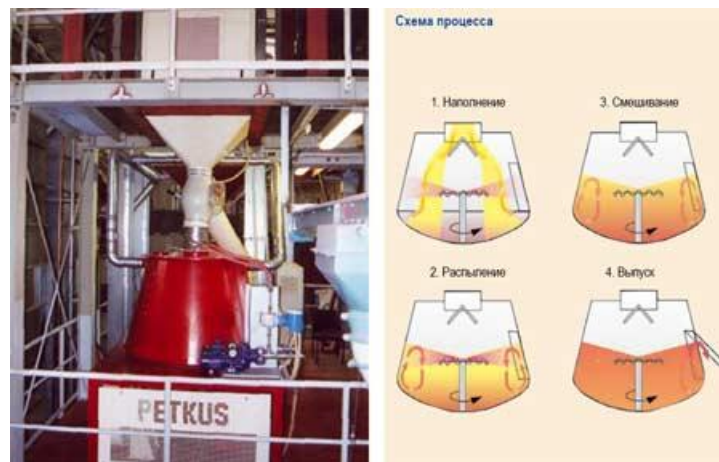


Рисунок 1.3 – Протруювач порційної дії СТ 200

Протруювачі порційної дії СТ 200 базуються на принципі роторного статора, що забезпечує високоефективне покриття насіння завдяки унікальному виконанню конструкції ротора і статора. Ця система дозволяє досягти рівномірного розподілу оброблювальних речовин по поверхні насіння, забезпечуючи його повне покриття. Стійкість обладнання до інтенсивного використання гарантується завдяки надпотужним неіржавіючим стінкам циліндра, що витримують навантаження при протравленні великих партій зернових – до 10 000 тонн за сезон.

Технологічний процес передбачає ефективну первинну обробку насіння. Подвійна завіса насіння формується від увігнутого у формі блюда ротора і конічного статора, що сприяє кращому розподілу хімікатів. Порція насіння відважується автоматично під час обробки попередньої порції, забезпечуючи неперервність процесу. Одночасно з завантаженням насіння, хімічна речовина високошвидкісно розпилюється на нього у вигляді дрібнодисперсного туману

за допомогою диска, що обертається. Це забезпечує глибоке проникнення препаратів у тканини насіння, що є критичним для ефективності протруювання.

У процесі змішування насіння ефективно рухається по траєкторії, яка утворює зовнішню завісу, повторюючи форму конічного статора. За цим насіння переходить до внутрішньої завіси, зменшуючи свій діаметр і падаючи назад до ротора. Ця технологія дозволяє забезпечити ефективне змішування без ризику пошкодження насіння, при цьому пил віддаляється на всіх етапах процесу. Завершення обробки кожної порції насіння контролюється за допомогою електропневматичної заслінки на виході. Програмне управління забезпечує можливість налаштування та контролю всіх операцій через сенсорну панель управлінської шафи, дозволяючи користувачу використовувати прості формули для задавання параметрів процесів.

Технічні характеристики цієї системи включають широкий спектр можливостей обробки насіння, включаючи протруювання, інкрустацію та дражування різних видів зернових культур. Завдяки високій швидкості обробки та точності вагової подачі насіння, обладнання гарантує рівномірне та повне покриття поверхні насіння, оптимізуючи якість кінцевого продукту.

Протруювачі, які ми розглядаємо, оснащені повністю автоматизованою системою управління, яка дозволяє точно дозувати хімікати та зберігати документацію про дані процесу. Ці машини забезпечують подвійний ефект завіси та дбайливе поводження з насінням, що мінімізує ймовірність пошкодження насіння під час обробки. Також, завдяки функції саморозвантаження, операції з вивантаження стають більш ефективними.

Ці протруювачі, будучи продуктами закордонного виробництва, мають високу ціну, що є їхнім значним недоліком. Це обумовлює важливість вдосконалення та поліпшення машин вітчизняного виробництва, спрямованого на підвищення якості роботи та обслуговування. Розробка та адаптація вітчизняних технологічних рішень можуть допомогти досягнути більшої вигоди та зменшити залежність від дорогого імпортного обладнання, забезпечуючи при цьому високу якість та надійність в роботі.

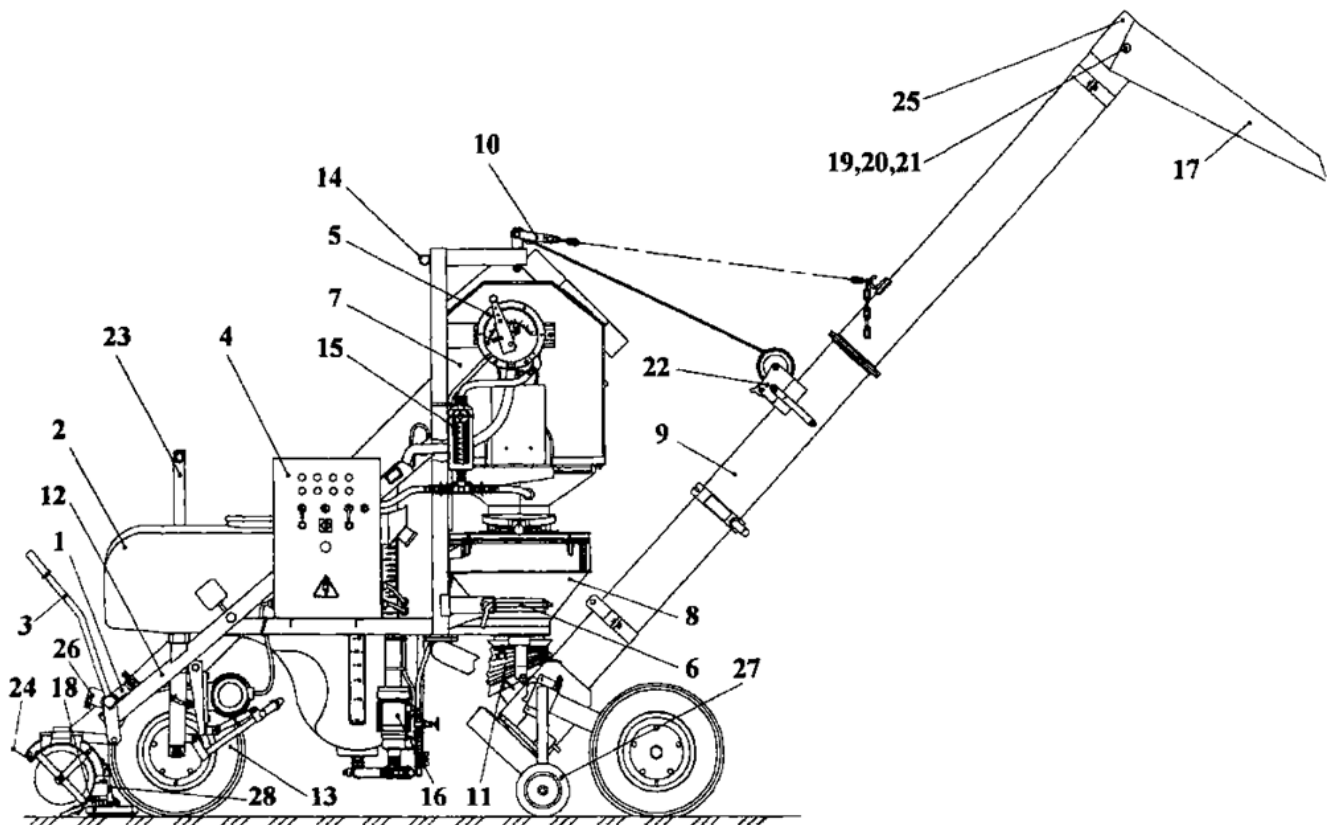
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОТРУЮВАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

2.1 Основні відомості про базову конструкцію протруювача

Структура та механізм дії протруювача ПК-25 були розроблені з метою покращення його технологічних характеристик та збільшення продуктивності на базі попередньої моделі, ПК-20 «Супер». Ця модель отримала значні удосконалення, що були інтегровані в нову конструкцію протруювача ПК-25. Детальний огляд внесених змін та їх вплив на роботу машини буде представлено у подальшому аналізі параметрів розробки [33].

Протруювач ПК-25, який можна побачити на рисунку 2.1, представляє собою високоавтоматизовану, самопересувну машину з електроприводом, що забезпечує високу ефективність та надійність у роботі. Машина складається з декількох ключових елементів: завантажувального шнека, який транспортує насіння в машину; бака для зберігання та перемішування робочої рідини; вивантажувального шнека, що забезпечує ефективне та рівномірне вивантаження обробленого насіння; бункера для насіння; камери протруювання, де відбувається безпосередньо обробка насіння; пульта управління, що дозволяє оператору керувати всіма процесами; насосної установки, яка забезпечує подачу робочої рідини; дозатора робочої рідини та дозатора насіння, які гарантують точність та рівномірність дозування.

Кожен з цих компонентів спроектований так, щоб оптимізувати робочі процеси та мінімізувати час, необхідний для обробки насіння, забезпечуючи при цьому його високу якість обробки. Такий підхід дозволяє не тільки підвищити продуктивність, але й забезпечити високу надійність управління та зручність обслуговування, роблячи ПК-25 ідеальним рішенням для сучасних аграрних потреб.

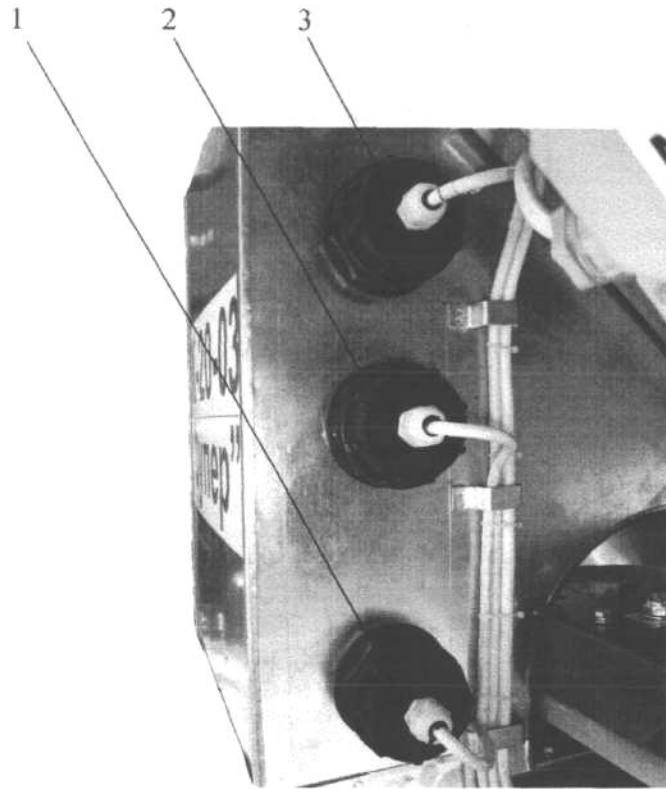


1 - завантажувальний шнек; 2 - резервуар для рідин; 3 - важіль для піднімання завантажувального шнека; 4 - пульт керування; 5 - дозатор для робочої рідини; 6 - засувка для фіксації вивантажувального шнека у транспортабельному стані; 7 - контейнер для насіння; 8 - камера для протруювання; 9 - вивантажувальний шнек; 10 - ланцюг; 11 - рукав; 12 - основна рама; 13 - самохідна установка; 14 - втулка; 15 - мірний бак; 16 - насосна станція; 17 - лоток; 18 - очисник; 19 - ось; 20 - шайба розміром 10; 21 - шплінт 3,2x32; 22 - лебідка; 23 - кермове колесо; 24 та 25 - козирки; 26 - опора; 27 - опорне колесо; 28 - фіксуєчий болт

Рисунок 2.1 – Протруювач камерний ПК-25

Усі ці компоненти монтуються на раму, яка підтримується колесами з пневматичними шинами, забезпечуючи мобільність установки.

Протруювач здійснює ряд технологічних операцій, які включають приготування робочої рідини, завантаження насіння, його протруювання та вивантаження після обробки. Ці операції виконуються з високою точністю та ефективністю, що забезпечує якісну підготовку насіння до посіву.



1 - нижній; 2 - середній; 3 – верхній
Рисунок 2.2 – Датчики керування

Процес протруювання насіння в протруювачі відбувається за чітко визначеною послідовністю. Спочатку, насіння автоматично завантажується зі стогу за допомогою завантажувального шнека і потрапляє до бункера. Далі, через спеціалізований дозатор насіння переміщується до камери протруювання, де вже чекає виміряна кількість робочої рідини, подана іншим дозатором. У цій камері відбувається безпосередньо обробка насіння, після чого воно вивантажується вивантажувальним шнеком.

Контроль за точністю подачі насіння та робочої рідини в камеру протруювання забезпечується завдяки встановлені трьом датчикам рівня в бункері для насіння. Ці датчики дозволяють синхронізувати процеси і гарантувати безперервність протруювання. Якщо насіння у бункері закінчується, система автоматично зупиняє процес протруювання, запобігаючи непотрібному споживанню робочої рідини.

Протруювач може функціонувати у трьох режимах. Перший - налагоджувальний, призначений для перевірки та налаштування електронного обладнання та механічних компонентів. Два інші - автоматичні режими, призначені для безпосереднього протруювання. Основний автоматичний режим "3 датч." використовує три датчики для забезпечення стабільності процесу, тоді як допоміжний режим "2 датч." активується лише у випадках, коли особлива сипучість або велика кількість насіння перевантажує завантажувальний шнек, що може призвести до затримок у подачі насіння в бункер. Цей режим задіює лише два датчики і застосовується для умов з високою продуктивністю завантаження.

У автоматичному режимі "3 датч." функціонування протруювача здійснюється з використанням трьох рівневих датчиків насіння. Верхній датчик контролює роботу завантажувального шнека, середній керує приводом самохода, а нижній забезпечує управління приводами дозатора рідини, дозатора насіння та розпилювача. При старті в цьому режимі активуються електродвигуни завантажувального і вивантажувального шнеків, самохода та насосної установки, при цьому індикаторні лампочки (13... 15) не світяться.

У режимі "2 датч." використовуються лише два датчики: верхній продовжує керувати завантажувальним шнеком, а нижній - приводами самохода, дозатора рідини, дозатора насіння і розпилювача. Середній датчик у цьому режимі не задіяний, що дозволяє оптимізувати роботу обладнання при змінних умовах завантаження насіння.

Протруювач поступово просувається вперед, при цьому бункер (позначений як 7 на рисунку 2.1) поступово наповнюється насінням. Коли рівень насіння в бункері досягає нижнього датчика, активуються приводи дозаторів рідини та насіння і розпилювач, що ініціює подачу насіння та робочої рідини у камеру протруювання (позначену як 8), де починається процес протруювання та вивантаження насіння.

Якщо насіння досягає рівня середнього датчика, зупиняється самохід машини, а досягнення верхнього датчика призводить до припинення подачі

насіння у бункер. Коли рівень насіння опускається нижче верхнього датчика, відновлюється завантаження бункера. Якщо рівень насіння опускається нижче середнього датчика, самохід знову вмикається і протруювач продовжує рух, а коли рівень опускається нижче нижнього датчика, вимикаються приводи дозаторів і розпилювача, зупиняючи процес протруювання. Подача насіння і робочої рідини в камеру протруювання припиняється, але завантаження бункера продовжується.

На панелі управління відображаються візуальні індикатори стану бункера: при досягненні нижнього датчика загоряється лампочка (15), вказана на рисунку 1.3 як „Нижній датчик”, при досягненні середнього датчика – лампочка (14) „Середній датчик”, а при досягненні верхнього датчика – лампочка (13) „Верхній датчик”.

Таким чином, в автоматичному режимі "3 датч.", керування приводами протруювача розподілене наступним чином: нижній датчик контролює електродвигун дозаторів рідини, насіння та розпилювача; середній датчик відповідає за електродвигун самохода; верхній датчик управляє електродвигуном завантажувального шнека.

У режимі "2 датч." протруювач працює на основі сигналів від верхнього і нижнього датчиків. При запуску в цьому режимі активуються електродвигуни завантажувального та вивантажувального шнеків, самохода і насосної установки, при цьому індикаторні лампочки (13...15) не світяться.

Коли протруювач починає рухатися вперед, насіння поступово наповнює бункер (позначений як 7 на рис. 2.1). Якщо рівень насіння досягає нижнього датчика, відбувається вимкнення двигуна самохода, і протруювач зупиняється, одночасно активуючи приводи дозаторів рідини, насіння та розпилювача, що ініціює початок процесу протруювання і вивантаження насіння.

Коли бункер заповнюється до рівня верхнього датчика, подача насіння тимчасово призупиняється. Якщо рівень насіння опускається нижче верхнього датчика, завантаження бункера відновлюється. Коли рівень насіння опускається нижче нижнього датчика, вмикається самохід, одночасно вимикаються приводи

дозаторів, зупиняючи процес протруювання. Таким чином, подача насіння і робочої рідини в камеру протруювання припиняється, протруювач пересувається до нового бурта, і бункер продовжує завантажуватися насінням.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика протруювача [33]

Назва параметра та розміру	Норма
Марка	ПК-25
Тип	самопересувний
Продуктивність за 1 год. (на насінні пшениці), т/год: - основного часу - експлуатаційного часу	3,0 – 25 2,0 – 22
Габаритні розміри у робочому/транспортному положенні, мм: довжина ширина висота	5120/2620 2980/1940 3050/2200
Місткість бака, л, не менше	240
Подача дозатора, л/хв	0,5...4,2
Робоча швидкість, м/хв	0,7±0,1
Споживана потужність, кВт, не більше	5,5
Кількість персоналу для обслуговування, люд: - при протруюванні насіння - при переїздах в межах складу (площадки)	1 оператор 1 оператор і 2 допоміжні робітники
Маса суха (конструкційна), з повним комплектом робочих органів та пристроїв, кг, не більше	655
Строк служби, років, не менше	5

2.2 Підготовка протруювача до роботи

Перед використанням протруювача необхідно провести детальний огляд, щоб переконатися в належному стані всіх компонентів. Важливо перевірити міцність кріплень і з'єднань, а також правильність закріплення електричних проводів у пульті управління. Це забезпечить безпеку та надійність протруювача під час експлуатації.

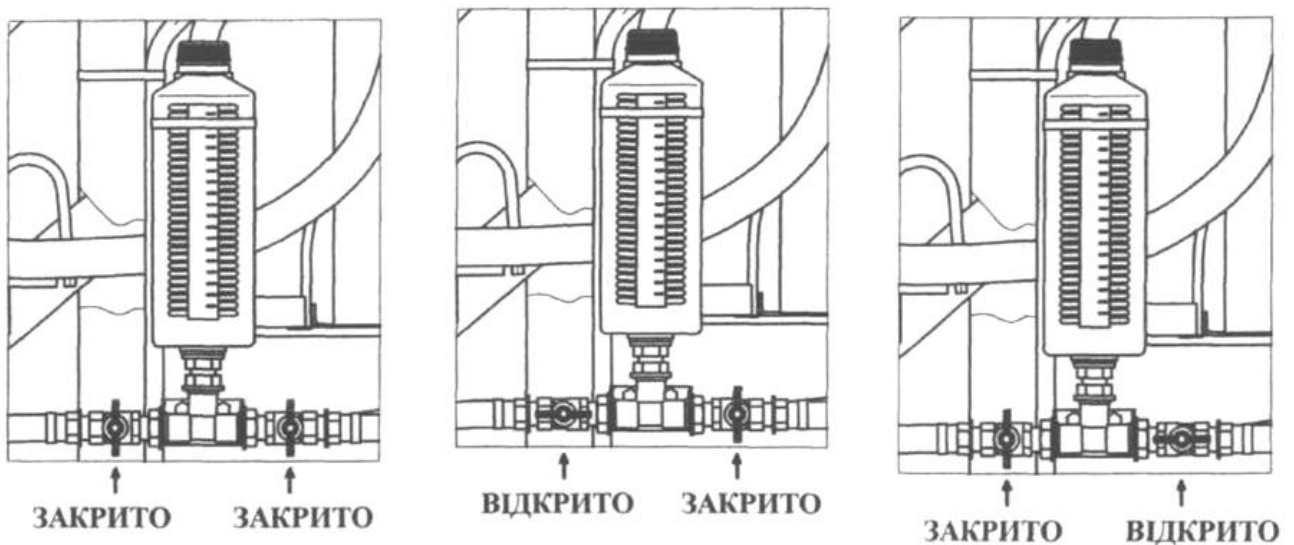


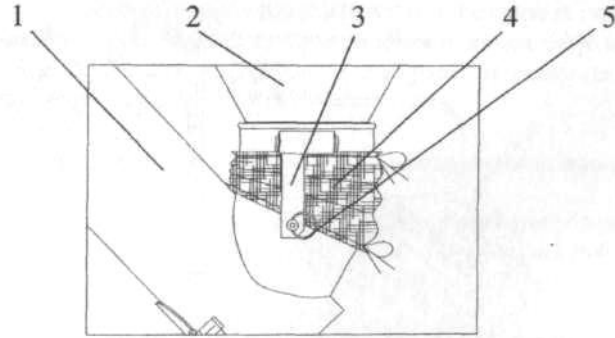
Рисунок 2.3 – Положення ручок кранів

Окрему увагу слід звернути на тиск повітря в шинах, який повинен відповідати стандартам для забезпечення стабільності протруювача. Нормальний тиск у колесах самохода становить $0,33 \text{ МПа} \pm 0,01$ ($3,3 \text{ кгс/см}^2$), а у задніх коліс – $0,3 \text{ МПа} \pm 0,01$ ($3,0 \text{ кгс/см}^2$). Недостатній тиск може спричинити пробуксовування.

Перед початком роботи також потрібно адаптувати вивантажувальний шнек для операційних завдань. Зокрема, шнек має бути переведений з транспортного положення у робоче. Для цього слід виконати наступні кроки: зняти хомут (8) на (рис. 2.4, а), викрутивши болт (1) і гайку (5), опустити шнек до збігу нижнього краю трафарета (7) з верхнім краєм хомути (9) та затягнути кріплення. Верхню точку кріплення шнека на рамі слід розфіксувати,

викрутивши болт (4) (рис. 2.5, б) і гайку (5). Після цього встановіть з'єднувальний рукав (4) (рис. 2.4) на камері (2) та розверніть підвіски (3).

Закінчуючи підготовку, переконайтеся, що всі захисні кришки на місці, і перевірте, чи всі системи готові до роботи.



1 - шнек; 2 - камера; 3 - підвіски; 4 - з'єднуючий рукав; 5 - пружинне кільце

Рисунок 2.4 – Встановлення вивантажувального шнека на камері протруювання

При установці шнека необхідно дотримуватись наступних кроків:

1. Тримайте шнек (1) у вертикальному положенні і нахиліть його на себе. Потім розташуйте підвіски (3) так, щоб отвори на осі горловини шнека (1) співпали, і закріпіть їх за допомогою пружинних кілець (5).

2. Притримуючи шнек, розфіксуйте його нижню точку кріплення на рамі, витягнувши фіксатор (6) (рис. 2.1). Потім закріпіть шнек у крайньому нижньому положенні, використовуючи ланцюг (10), який зачепить за гачки на обичайці шнека.

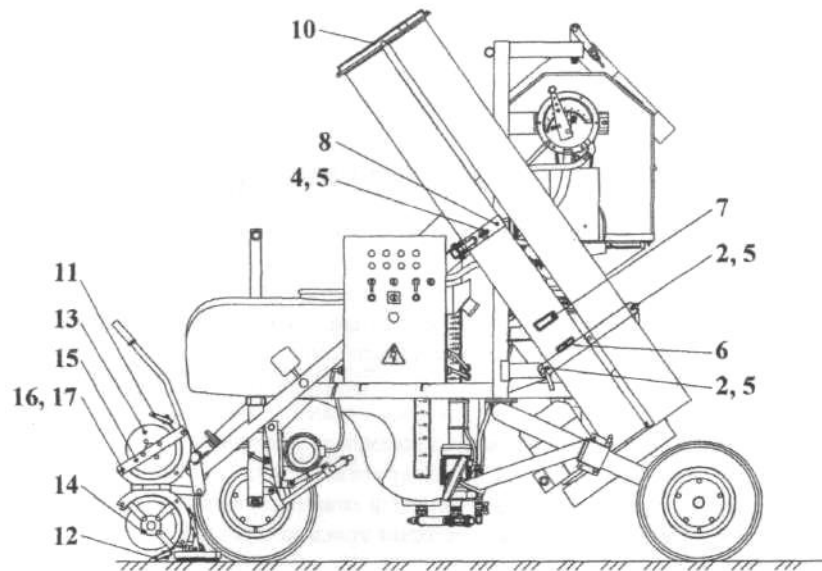
3. Від'єднайте кріплення між нижньою і верхньою частинами шнека, викрутивши болт (3) (рис. 2.5) та гайку (5).

4. Розкладіть шнек так, щоб нижня і верхня частини спіральних шнеків були центровані за допомогою конусного з'єднання, а отвори на фланцях кожухів співпали.

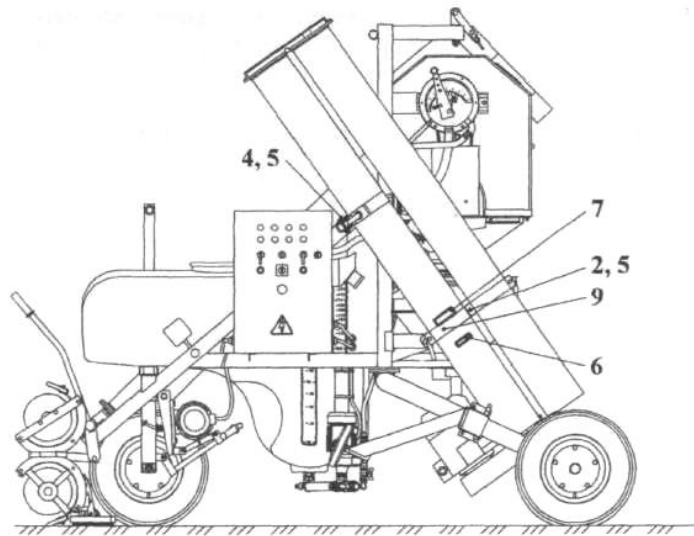
5. Закріпіть фланці циліндричних кожухів за допомогою трьох болтів і гайок, які входять у комплект протруювача.

6. Встановіть лоток (17) (рис. 2.1) і козирок (25) на осях (19) шнека вивантажувального (9) за допомогою шайб (20) і шплінтів (21).

Ці кроки дозволять правильно встановити і закріпити шнек, забезпечуючи безпеку і ефективність під час його використання.



а)



б)

а) при транспортуванні з заводу;

б) під час підготовки до експлуатації;

1 -3 болт М10х30; 4 - болт М10х60; 5 - гайка М10; 6 – транспортний кронштейн; 7, 8- хомут; 9 – відкидна секція; 10 - центральна секція; 11 – шнек; 12 – півмуфта; 13 – пластина; 14 – болт М8х20; 15-гайка М8

Рисунок 2.5 – Транспортне положення машини

Для коректної установки та регулювання шнека вивантажувального (9) виконайте наступні дії:

1. За допомогою лебідки (22) підніміть шнек вивантажувальний (9) у крайнє верхнє положення. Закріпіть його, перекинувши ланцюг (10) через гачок. Після цього приєднайте вільний кінець з'єднувального рукава (4) (рис. 2.4) до горловини шнека (1).

2. Встановіть штир кріплення кабелю живлення у втулку (14) (рис. 2.1) та зафіксуйте його за допомогою шплінта 4,0x36, який йде в комплекті з протруювачем.

3. Розфіксуйте кріплення відкидних секцій (11) (рис. 2.5) та центральної секції (12), викрутивши відповідні болти та гайки, які потім встановіть назад на центральній секції.

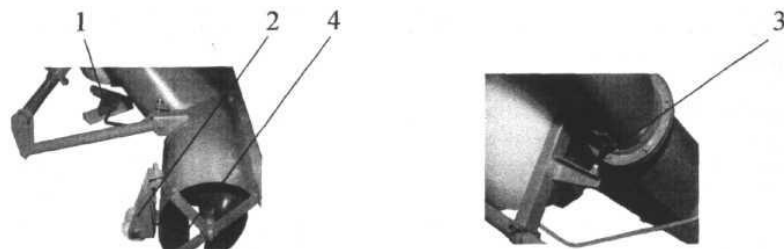
4. Викрутіть болти (16) з гайками (17) (по два на кожній відкидній секції (11)) та зніміть пластини (15).

5. Розкладіть шнек так, щоб шнеки (13) вступили в зачеплення з півмуфтами (14), а отвори на фланцях відкидних секцій (11) точно співпали з отворами на фланцях центральної секції (12).

6. Скріпіть фланці секцій раніше викрученими болтами (16) та гайками (17).

7. Відрегулюйте положення роликів (3) (рис. 2.6) та упорного болта (4) завантажувального шнека, забезпечуючи оптимальну роботу і стабільність протруювача.

Ці дії допоможуть правильно налаштувати протруювач для надійної та ефективної роботи.



1 - чистик; 2 - ролик; 3 - упорний болт; 4 - гумовий комір
Рисунок 2.6 – Шнек завантажувальний (підготовка до роботи)

Для забезпечення плавного руху протруювача по бурту насіння і забезпечення відсутності ривків чи перешкод, необхідно виконати наступні дії:

Ролики (3) завантажувального шнека повинні вільно котитися на пазах кронштейнів. Для цього підніміть ролики, послабивши їх кріплення.

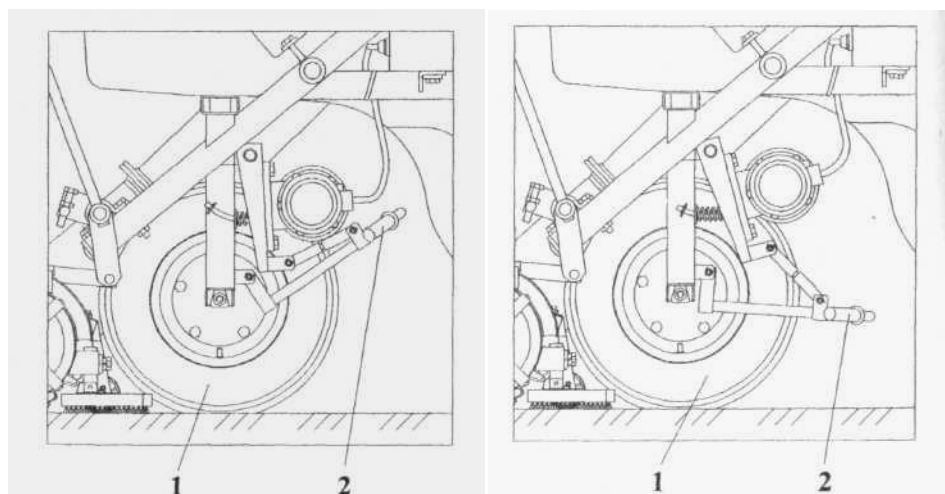
Перемістіть завантажувальний шнек у робоче положення за допомогою важеля, так щоб гумовий комір (5) щільно притискався до площадки і забезпечував підбір залишків насіння. Потім опустіть ролики на пазах, забезпечивши повний контакт коліс з землею, і закріпіть їх затягнутими гайками.

Викрутіть упорний болт (4), розташований під завантажувальним шнеком, до моменту повного контакту з обичайкою шнека і зафіксуйте його контргайкою.

Відпустіть фіксуєчий болт (28) (рис. 2.1) і опустіть підгортач (24) на землю. Підгортач використовується для того, щоб запобігти попаданню насіння під шини самоходу (13) під час роботи.

На завантажувальному шнеку (1) (рис. 2.1) встановіть козирок (24), закріпіть його використовуючи два болти М8 і гайки з комплекту протруювача.

Ці кроки допоможуть налаштувати протруювач для ефективної роботи і забезпечать безперешкодний рух по бурту насіння.



а)

б)

а) робоче положення; б) транспортне положення;

1 – колесо; 2 – важіль

Рисунок 2.7 – Положення важеля самохода

Для переведення важеля (1) з транспортного положення (рис. 2.7,б) у робоче положення (рис. 1.8,а), забезпечте, щоб ролик самохода вступив у зачеплення з шиною колеса (2). Ролик повинен зачепити шину на глибину від 15 до 20 мм для забезпечення надійного контакту і стабільності руху.

Для безпечного переїзду протруювача виконайте наступні кроки:

1. Вимкніть основний вимикач струму "Мережа" (7) (рис. 2.2) для запобігання несподіваного запуску обладнання під час переміщення.

2. Встановіть опорні колеса (27) (рис. 2.1) відповідно до інструкцій на рисунку, забезпечивши стабільність протруювача на новому місці.

3. Переведіть завантажувальний шнек (1) у транспортне положення за допомогою важеля (3), а важіль управління (1) (рис. 2.7,б) опустіть в нижнє положення.

4. Штовхаючи протруювач, керуйте колесом самохода за допомогою керма (23) (рис. 2.1) і перевезіть обладнання у потрібне місце.

Перед наступним включенням обладнання переконайтеся в наступному:

- Перевірте міцність кріплення всіх пристроїв та комунікацій.
- Впевніться у відсутності пошкоджень внутрішніх компонентів і з'єднань.

- Перевірте положення всіх перемикачів на пульті управління (рис. 2.2). Перемикач "Мережа" (7) повинен бути у положенні "Вимкнено" (0), перемикач "Режим" (1) та "Самохід" (4) також повинні бути вимкнені, перемикач "Автоматичні режими" (3) налаштований на "3 датч", а перемикач "Налагодження" (2) також вимкнено.

Ці дії забезпечать безпечний переїзд та належне функціонування протруювача після переміщення.

2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Базова конструкція протруювача камерного спочатку не забезпечувала задовільну продуктивність, що не відповідає сучасним вимогам ефективності та якості технологічних процесів. З огляду на потребу в більш продуктивних машинах, також важливим є покращення якості виконання технологічних процесів, оптимізація зручності та надійності управління, а також вдосконалення ергономічних характеристик обладнання.

Для вирішення цих проблем було ініційовано проєкт модернізації рами протруювача. Цей проєкт передбачає використання більш продуктивних компонентів та введення нових елементів у конструкцію, що дозволить значно підвищити ефективність машини. Підвищення продуктивності при модифікації машини здійснюється через детальний аналіз та уточнюючі розрахунки базових елементів. Це не тільки забезпечує вищу продуктивність, але й підвищує загальну надійність та ефективність роботи обладнання, зробивши його більш привабливим для сучасних аграрних виробництв.

Загалом, ці вдосконалення спрямовані на те, щоб зробити протруювач більш конкурентоспроможною машиною на ринку, здатною задовольнити найвищі стандарти якості та продуктивності, що вимагаються сьогодні.

На основі цього була сформована тема кваліфікаційної роботи у наступній редакції «Підвищення продуктивності протруювача насіння з удосконаленням компоувальної схеми основних вузлів».

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок основних елементів при внесенні змін в конструкцію рами протруювача

При проєктуванні рами протруювача ПК-25 рекомендується використання змішувального пристрою, закріпленого на двох консолях без застосування розкосів. Це рішення дозволяє оптимізувати конструкцію, використовуючи балки однакового опору, що забезпечують належну міцність та стабільність.

Для розрахунку балок змінного перетину, необхідно сформулювати робоче рівняння для визначення напружень і перевірки міцності. Зазвичай, припущення про плоскі поперечні перетини може бути некоректним для стержнів зі змінним перетином. Однак, дослідження в області теорії пружності показують, що якщо кут нахилу твірної до осі стержня є невеликим (до 15-20°), розподіл нормальних напружень можна приблизно вважати прямолінійним вздовж висоти перетину. Це спрощення дозволяє застосовувати стандартні методи міцності та використовувати диференціальне рівняння пружної лінії для розрахунків, що є прийнятним для інженерної практики [20, 31].

$$\sigma_{\max} = \frac{M(x)}{W(x)} \leq [\sigma] \quad (3.1)$$

і

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EJ(x)}. \quad (3.2)$$

Розрахунок тангенціальних напружень у стержнях зі змінним перетином є більш складним завданням через чутливість цих напружень до нахилу твірної поверхні. Використання формули Журавського в таких випадках може призводити до значних помилок, оскільки вона не враховує зміну перетину вздовж довжини стержня.

Складність розрахунку на міцність та жорсткість стержнів зі змінним перетином також посилюється через змінність моменту опору та моменту інерції перетину, які залежать від його положення вздовж осі стержня. Це підтверджується зазначенням у формулах (3.1) і (3.2).

Для більш точного розрахунку можна використовувати поняття приведенного згинного моменту. Введемо також момент інерції J_0 характерного перетину (наприклад, найбільшого або найменшого), що допоможе уточнити розрахунки і зменшити потенційні похибки. Цей підхід дозволяє врахувати змінні характеристики стержня і забезпечити більш надійне проектування конструкцій.

$$M_{np}(x) = M(x) \frac{J_0}{J(x)}. \quad (3.3)$$

Тоді, помноживши на J_0 чисельник і знаменник правої частини формули (3.2), отримаємо

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M_{np}(x)}{EJ_0}. \quad (3.4)$$

Особливим випадком у конструкції балок, що мають постійно змінні розміри перетинів уздовж їх довжини, є балки рівного опору. У таких балках максимальне напруження у всіх перетинах відповідає допустимим нормам. Це дозволяє вирішити рівняння (3.5) для визначення розмірів таких балок.

Вибравши певну форму перетину, який характеризується одним змінним параметром, можна використовувати рівняння (3.5) для визначення закону зміни цього параметра вздовж балки.

$$W(x) = \frac{|M(x)|}{[\sigma]}. \quad (3.5)$$

Такий підхід дозволяє точно визначити розміри всіх перетинів. Для розрахунку переміщень у таких балках корисно застосовувати диференціальне рівняння пружної лінії (3.4).

Щоб уникнути використання додаткових розкосів і надійно закріпити змішувач на рамі протруювача, розробляється консоль рівного опору до згину. Розглянемо перетин, який має прямокутну форму зі сталою шириною та змінною висотою, як показано на (рис. 3.1). Це забезпечить достатню міцність і стабільність конструкції.

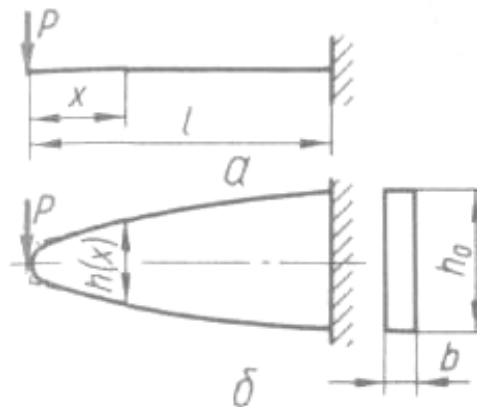


Рисунок 3.1 – Розглядувана модель теоретичної балки змінного опору

Позначимо висоту балки в довільному перетині через $h(x)$. Тоді

$$W(x) = \frac{bh^2(x)}{6}, \quad (3.6)$$

крім того, розглядаючи більш критичний випадок, коли вагу змішувача, що припадає на одну консоль, зосередити на краю цієї консолі, будемо мати

$$|M(x)| = Px. \quad (3.7)$$

Тому, згідно рівнянню (3.5)

$$\frac{bh^2(x)}{6} = \frac{Px}{[\sigma]}, \quad (3.8)$$

звідки

$$h(x) = \sqrt{\frac{6P}{b[\sigma]}} \sqrt{x}. \quad (3.9)$$

Отже, висота даної балки рівного опору змінюватиметься по параболічному закону (рис. 3.1, б). При цьому

$$h_0 = h(l) = \sqrt{\frac{6P}{b[\sigma]}} \sqrt{l}. \quad (3.10)$$

Відмітимо, що в околиці кінцевого перетину ($x = 0$) згинні моменти, малі, тому висоту перетину слід визначати з умови міцності по τ_{\max}

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{bh} \leq [\tau], \quad (3.11)$$

звідки

$$h \geq \frac{3P}{2b[\tau]}. \quad (3.12)$$

Балка з параболічним контуром є найбільш ефективною з точки зору економії матеріалу, однак її складна форма часто не відповідає технологічним вимогам. Внаслідок цього на практиці частіше використовуються не ідеальні балки рівного опору, а їх спрощені аналоги [1].

У нашому конкретному випадку також застосовано спрощену конструкцію балки змінного опору. Для виготовлення цієї балки використовується кутник, до полиці якого буде кріпитися змішувач. Втім, хоча ця балка містить технологічні розрізи по своїй ширині, що може знижувати її міцність, міцність конструкції загалом залишається достатньою для

використання в запасі. Основний фокус дослідження буде зосереджено на полиці, яка приварена вертикально.

Розрахунок міцності та інших характеристик такої конструкції може бути виконаний згідно з формулою (3.7) $|M(x)| = Px$

$$|M(x)| = 3000x,$$

де P – робоча вага змішувача, що припадає на дану консоль при врахуванні коефіцієнта динамічності 2;

x – змінна координата, $x = 0..l$,

тут l – конструктивна довжина балки, $l = 0.395$ м,

момент при цьому змінюватиметься в межах

$$M(0) = 0, \quad M(l) = M(0.395) = 3000 \cdot 0.395 = 1185 \text{ Нм.}$$

Звичайно розрахунок вестимемо за максимальним згинним моментом.

Тепер, використовуючи рівняння (3.10), отримаємо максимальну висоту балки при основі

$$h_0 = h(0,395) = \sqrt{\frac{6 \cdot 3000}{0,008 \cdot 160 \cdot 10^6}} \sqrt{0,395} = 0,075 \text{ м.}$$

В даній формулі було задано ширину полки $b = 8$ мм допустиме напруження $[\sigma] = 160$ МПа.

Максимальна висота балки змінного опору, яка визначена для конструкцій з постійною шириною полки мм, потребує корекції у зв'язку зі способом її кріплення до рами машини. Оскільки балка кріпиться методом зварювання, зварний шов може послабити поперечний перетин балки. Замість проведення складних досліджень щодо впливу зварювання на міцність балки,

прийнято рішення збільшити ширину балки в місці зварювання на 10 мм, тобто до мм. Це забезпечить додаткову міцність конструкції в критичних зонах і компенсує потенційне послаблення від зварного шва.

3.2 Розрахунок зварного з'єднання

Основною вимогою при проектуванні зварних конструкцій є забезпечення однакової міцності як зварних швів, так і з'єднаних елементів. Це вимагає, щоб в залежності від розмірів і взаємного розташування зварюваних деталей вибиралися адекватні розміри швів для кожного конкретного з'єднання.

У практичному застосуванні розміри та типи зварних швів зазвичай визначаються на основі форми і конструкції деталей, і тому розрахунок зварних з'єднань здебільшого є перевірочним. Припускається, що якість швів відповідає встановленим технічним нормам, що гарантує їх надійність і довговічність.

Окремий аспект розрахунків стосується напусткових з'єднань, де кутові шви традиційно розраховуються на зріз. Цей розрахунок базується на найменшому перерізі шва, що знаходиться у бісектрисній площині прямого кута у поперечному перерізі шва. Висота кутового шва береться за розрахункову у цих розрахунках.

Для з'єднань, що піддаються значним навантаженням, міцність швів формулюється у вигляді специфічної формули, залежної від конструкційних особливостей і вимог до міцності.

$$\tau = \frac{F}{0.7kl} \leq [\tau], \quad (3.13)$$

Через велику кількість факторів, які впливають на міцність зварних з'єднань, а також через приблизний характер та умовність розрахункових формул, існує потреба в експериментальному визначенні допустимих рівнів напружень. Встановлення норм допустимих напружень для зварних швів здійснюється з урахуванням специфіки якості зварювання та характеристик навантаження, які вони витримують. Зазвичай, допустимі напруження для зварних швів визначають як частку від допустимого напруження розтягу для основного металу [17].

На кресленні об'єкту розрахунку, яке можна переглянути нижче, представлено на рис. 3.2.

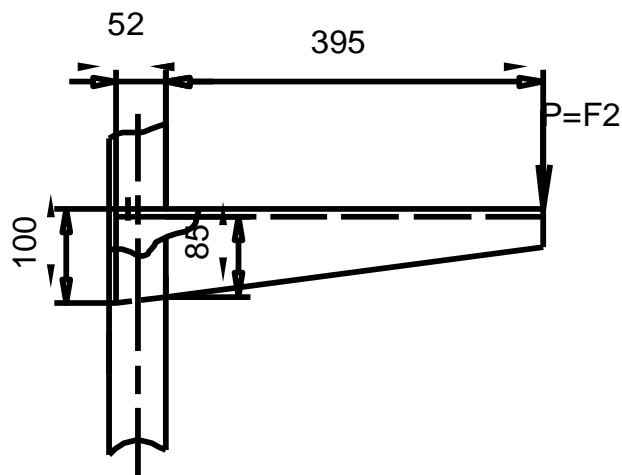


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема зварного з'єднання

В нашому конкретному випадку до рами приварено ручною дуговою зваркою консольні кріплення для монтування змішувача протруювача. Дане з'єднання сприймає навантаження від дії сили $F_2 = 3000$ Н і моменту, що цією силою утворюється. Сила F_2 прикладена на краю консолі і відстань до середини швів

$$h = 0.395 + \frac{0.052}{2} = 0.418 \text{ мм.}$$

Шви сприйматимуть навантаження від дії сили F_2 та моменту

$$M = F_2 \cdot h = 3000 \cdot 0.418 = 1254 \text{ Нм.}$$

Тоді напруження в швах знаходитимемо за формулою (3.18), причому $F_1 = 0$.

Напруження від сили F_2

$$\tau_{F_2} = \frac{3000}{0.70 \cdot 0.004 \cdot (0.1 + 0.085 + 0.052)} = 4.5 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

$$\tau_M = \frac{1254}{0.7 \cdot 0.004 \cdot (0.1 + 0.085 + 0.052) \cdot 0.052} = 36.3 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

Тоді сумарне навантаження за формулою (3.18)

$$\tau_{\max} = \sqrt{(24.3)^2 + 3.01^2} = 36.6 \text{ МПа} \leq [\tau],$$

де $[\tau]$ – допустиме напруження зрізу зварного шва [17], $[\tau] = 80 \text{ МПа}$.

Отже, при зварюванні кріплень змішуючого пристрою протруювача до рами ручною дуговою зваркою із катетом 6 мм повністю виконується умова міцності для зварних швів, тому таке з'єднання можна вважати надійним.

3.3 Розрахунок передньої балки рами протруювача

Даний розрахунок виконується з метою перевірки міцності і жорсткості спроектованої передньої балки протруювача камерного ПК-25. Основні елементи розробленої рами протруювача виконані за аналогією до базової

конструкції рами. Тепер постає питання перевірки на міцність та жорсткість окремих елементів, оскільки параметри навантаження дещо змінилися.

Розглядувана балка має наступний вигляд, рис. 3.3.

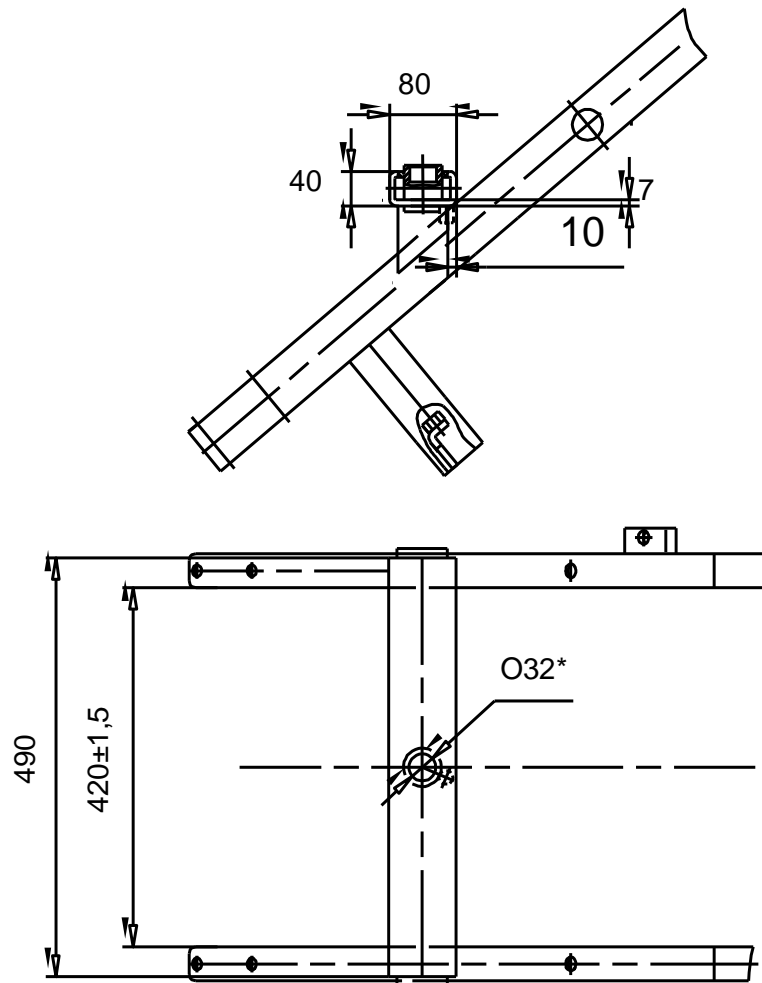


Рисунок 3.3 – Фрагмент рами, де монтується передня балка

Матеріал балки ст.3, для якого $[\sigma]=160$ МПа, профіль – профільна труба 80x40x7 мм. Посередині прольоту вварена втулка механізму повороту протруювача, але отриманий вузол є достатньо жорстким і вважаємо, що він не послаблює перетину.

Визначимо навантаження, яке сприймає ця балка. Таким навантаженням буде рівномірно розподілене від частини ваги бака з робочою рідиною та основне – вісь опорного колеса, де сконцентрована значна частина ваги машини. Розберемо більш детально ці складові навантаження [6, 11].

Визначимо навантаження від бака з рідиною. Спрощена схема

навантаження від бака, рис. 3.4.

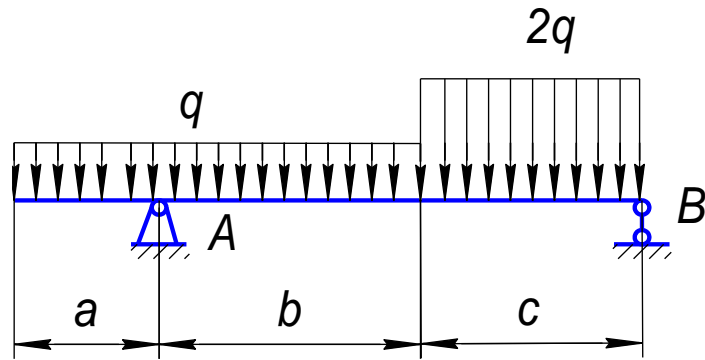


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема навантаження від дії бака з робочою рідиною

Аналізуючи розроблену конструкцію бака, місткістю 240 л, встановлено: $a = 0.285$ м, $b = 0.395$ м, $c = 0.535$ м. Рівномірно розподілене навантаження $q = 1980$ Н/м.

В даному випадку нас цікавить тільки опора А, оскільки тою опорою є розглядувана балка. Щоб знайти опорну реакцію в точці А, то необхідно скласти рівняння моментів відносно іншої опори – т. В.

Для цього запишемо

$$\sum M_B = 0, \quad (3.14)$$

а в розгорнутому вигляді

$$R_A(b+c) - q(a+b+c) \frac{(a+b+c)}{2} - q \cdot c \cdot \frac{c}{2} = 0,$$

звідки

$$R_A = \frac{q(a+b+c) \frac{(a+b+c)}{2} + q \cdot c \cdot \frac{c}{2}}{b+c} =$$

$$= \frac{1980(0.285 + 0.395 + 0.535) \frac{(0.285 + 0.395 + 0.535)}{2} + 1980 \cdot 0.535 \cdot \frac{0.535}{2}}{0.395 + 0.535} = 1876 \text{ Н.}$$

На цьому розрахунок можна завершити, але щоб виконати перевірку правильності знайдених реакцій необхідно знайти другу опорну реакцію і зробити перевірку.

Складаємо аналогічно рівняння моментів відносно опори А

$$\sum M_B = 0, \quad (3.15)$$

в розгорнутому вигляді

$$-R_B(b+c) + q(b+c)\frac{(b+c)}{2} + q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + b\right) - q \cdot a \cdot \frac{a}{2} = 0.$$

Звідки опорна реакція R_B

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{q(b+c)\frac{(b+c)}{2} + q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + b\right) - q \cdot a \cdot \frac{a}{2}}{b+c} = \\ &= \frac{1980(0.395 + 0.535)\frac{(0.395 + 0.535)}{2} + 1980 \cdot 0.535 \cdot \left(\frac{0.535}{2} + 0.395\right) - 1980 \cdot 0.285 \cdot \frac{0.285}{2}}{0.395 + 0.535} = \\ &= 1589 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Тепер виконуємо перевірку, проектуючи всі діючі сили на вертикальну вісь

$$\sum Y = 0, \quad (3.16)$$

тобто

$$-q(a+b+c) - q \cdot c + R_A + R_B = -1980(0.285 + 0.395 + 0.535) - 1980 \cdot 0.535 + \\ + 1876 + 1589 = 0.$$

Отже, опорні реакції знайдені вірно. Звідси ми знаємо, що рівнодійна від навантаження вагою бака на передній балці протруювача рівна $R_A = 1876$ Н. Цю рівнодійну представимо рівномірно розподіленим навантаженням в перпендикулярній площині до поздовжньої осі бака, тобто в площині балки

$$R_A = q'l', \quad (3.17)$$

де l' – довжина навантаженої частини балки (ширина бака), $l' = 420$ мм.

Тоді з формули (3.17)

$$q' = \frac{R_A}{l'} = \frac{1876}{0.42} = 4362.8 \text{ Н/м.}$$

Крім розглянутого навантаження на балку діє зосереджена сила від ваги машини, що припадає на передню вісь. З розгляду компоновочної схеми машини, при повному експлуатаційному навантаженні на передню вісь припадає 6500 Н ваги машини в статиці. Звичайно для розрахунку потрібно врахувати той момент, що машину переміщують при повному експлуатаційному навантаженні до місця безпосередньої роботи і траплялося так, що при наїзді на вибоїни чи виступи при таких переїздах фіксували динамічне перевантаження майже в два рази, іншими словами потрібно в розрахунках використовувати коефіцієнт динамічності, що рівний 2 [15, 32]. Розрахункова схема досліджуваної балки представлена на рис. 3.5.

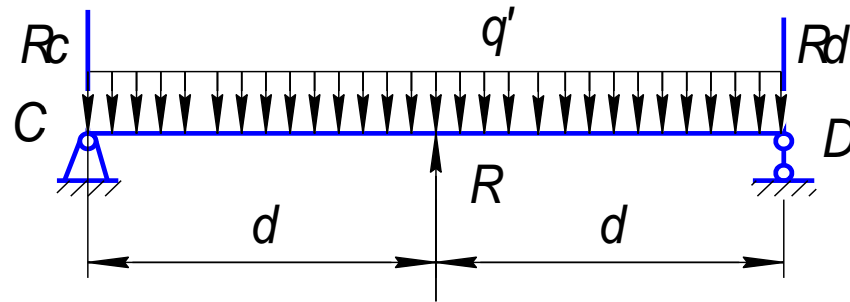


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема передньої балки

Цю балку будемо розраховувати як статично визначену, бо нас цікавить, в першу чергу, сама балка (стержень), а спосіб закріплення її на рамі машини буде вже на наступному етапі.

Отже, знаходимо опорні реакції.

Дана схема навантажена симетрично, а це означає, що опорні реакції будуть рівними

$$-R_C - R_D + R - q' \cdot 2d = 0, \quad (3.18)$$

або при $R_C = R_D$

$$-2R_C + R - q' \cdot 2d = 0.$$

Звідки

$$R_C = R_D = \frac{R - q' \cdot 2d}{2} = \frac{6500 - 4362.8 \cdot 2 \cdot 0.21}{2} = 2312 \text{ Н.}$$

Для перевірки міцності розглядуваного елемента необхідно знати максимальний момент в небезпечному перетині. Зрозуміло, що такий перетин буде посередині прольоту балки. максимальний момент буде становити, використовуючи метод перетинів

$$M_{\max} = -R_c \cdot d - q' \frac{d^2}{2} = -2312 \cdot 0.21 - 4362.8 \cdot \frac{0.21^2}{2} = 581.7 \text{ Нм.}$$

За максимальним моментом і моментом опору перетину встановлюємо нормальні напруження, що виникають в балці при згині і перевіряємо умову міцності

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_0} \leq [\sigma]. \quad (3.19)$$

Тут момент опору перетину відповідно до розміщення балки буде становити [32]

$$W_y = W_0 = \frac{\delta B^2}{3} \left(3 \frac{H}{B} + 1 \right) = \frac{0.007 \cdot 0.04^2}{3} \left(3 \frac{0.08}{0.04} + 1 \right) = 2.61 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3,$$

де δ – товщина стінки труби, $\delta = 0.007$ м;

B – висота труби, $B = 0.04$ м;

H – ширина труби, $H = 0.08$ м;

Тоді нормальне напруження при згині за формулою (3.19)

$$\sigma = \frac{581.7}{2.61 \cdot 10^{-5}} = 2.23 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

або $\sigma = 22.3$ МПа.

Отримане напруження множимо на коефіцієнт динамічності і отримаємо фактичне напруження

$$\sigma = 2 \cdot 22.3 = 44.6 \text{ МПа.}$$

Тут добре видно, що міцність запропонованої балки повністю забезпечується.

Зробимо перевірку її ще на жорсткість, визначивши прогин посередині прольоту за формулою [20], що адаптовано до схеми, рис. 3.5

$$f = -\frac{R'(2d)^3}{EJ}, \quad (3.20)$$

де R' – сумарне навантаження посередині прольоту,

$$R' = R - q \cdot 2d = 6500 - 4362.8 \cdot 2 \cdot 0.21 = 4668 \text{ Н};$$

E – модуль пружності 1-го роду, для матеріалу балки $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа;

J – момент інерції перетину,

$$J = \frac{\delta B^3}{6} \left(3 \frac{H}{B} + 1 \right) = \frac{0.007 \cdot 0.04^3}{6} \left(3 \frac{0.08}{0.04} + 1 \right) = 5.23 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Прогин за формулою (3.20)

$$f = -\frac{4668 \cdot (2 \cdot 0.21)^3}{2.1 \cdot 10^{11} \cdot 5.23 \cdot 10^{-7}} = -0.003 \text{ м.}$$

При максимальному перевантаженні (вдвічі) прогин балки становить 3 мм, що є припустимим, але цей прогин не повинен перевищувати 5 мм. Якщо запас міцності є чотирикратний, то по жорсткості ми знаходимося на межі, тому рекомендувати зменшити товщину стінки профілю не будемо. Прийmemo саме вибраний профіль труби.

3.4 Розрахунок зварного з'єднання передньої балки до рами

Вихідним параметром до розрахунку зварного з'єднання будуть опорні реакції, що визначені при розрахунку балки (рис. 3.5), тобто

$$R_C = R_D = 2312 \text{ Н.}$$

За пропонованим варіантом приєднання балки рис. 3.3, видно, що з'єднання відноситься до напусткових.

Конкретизуємо саме з'єднання: зварювання проходить по периметру і довжини швів становлять 2×80 мм та 2×35 мм, катет шва 4 мм.

Шви піддаються дії відриваючої сили, яка рівна знайденим опорним реакціям, тобто $R_C = R_D = 2312$, рис. 3.3.

Напруження при цьому будемо визначати за формулою (3.13) [32]

$$\tau_R = \frac{R_C}{0.7kl_{\text{сум}}} = \frac{2312}{0.7 \cdot 0.004 \cdot 0.23} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

де $l_{\text{сум}}$ – сумарна довжина швів

$$l_{\text{сум}} = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 35 = 230 \text{ мм.}$$

З врахуванням прийнятого коефіцієнта динамічності

$$\tau'_R = 2\tau_R = 2 \cdot 3.6 \cdot 10^6 = 7.2 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Порівнюючи отримані значення напружень з допустимими, що становлять $[\tau] = 80$ МПа, рекомендовано зменшити катет шва до 3 мм.

Перевіримо міцність нового з'єднання

$$\tau''_R = \frac{2R_C}{0.7kl_{\text{сум}}} = \frac{2 \cdot 2312}{0,7 \cdot 0,003 \cdot 0,23} = 9.6 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

де $k = 3$ мм.

Отримане напруження ще у 8-м разів є меншим за допустиме, тому доцільним буде скоротити довжини швів, крім того, за вказаними параметрами довжин швів їх забезпечити практично є важко.

Пропонується з торця балку не заварювати, а поперечний шов виконати 60 мм, а два флангові – 30 мм. Сумарна довжина швів тепер становитиме

$$l'_{\text{сум}} = 60 + 2 \cdot 30 = 120 \text{ мм.}$$

Напруження зрізу для такої конструкції буде становити

$$\tau'''_R = \frac{2R_C}{0.7kl'_{\text{сум}}} = \frac{2 \cdot 2312}{0,7 \cdot 0,003 \cdot 0,12} = 18.3 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Отже, пропоноване зварне з'єднання має достатню міцність.

3.5 Розрахунок балки задніх коліс

Для виконання задньої балки протруювача використаємо трубу зовнішнім діаметром 76 мм і товщиною стінки 5 мм. Такий матеріал використовувався у базовій конструкції протруювача і є в наявності на заводі. Виконаємо перевірку міцності і жорсткості при навантаженні від зміненої ваги модифікованого протруювача.

На рис. 3.6 подано фрагмент цієї конструкції. З аналізу компоновочної схеми протруювача відомо, що на задні колеса припадає 5500Н, а при

динамічному перевантаженні – 11000 Н.

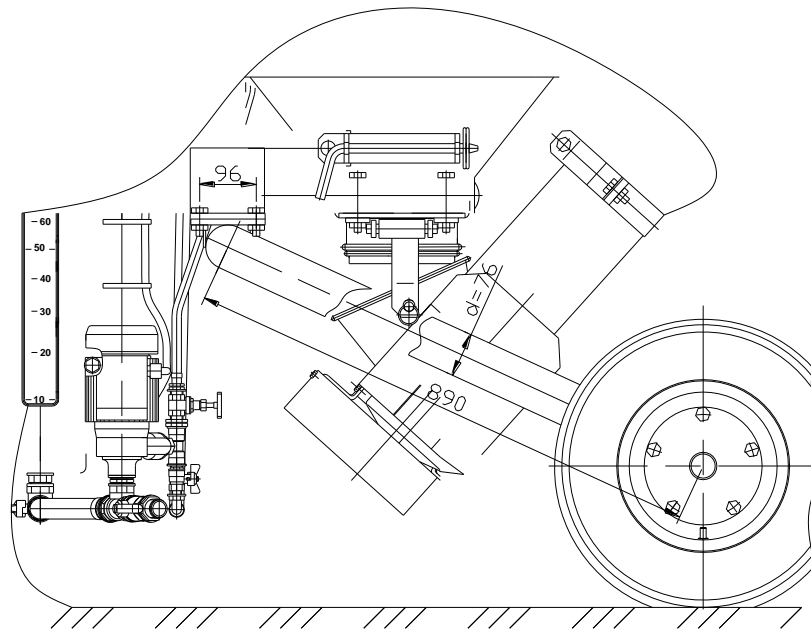


Рисунок 3.6 – Фрагмент протруювача (задня балка)

Представимо розрахункову схему даної конструкції, рис. 3.7.

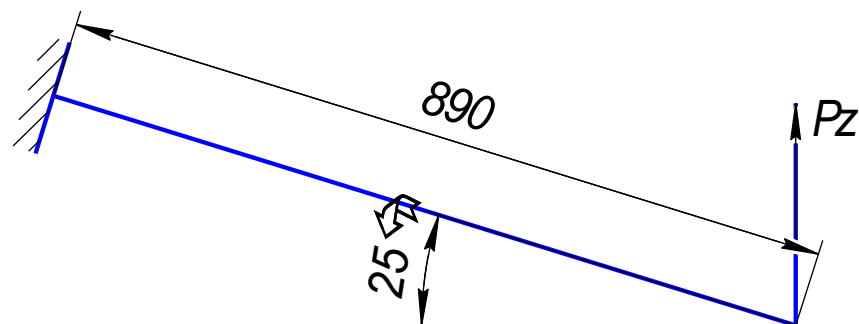


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема задньої балки

Сила $P_z = 11000$ Н. Для визначення максимального моменту силу P_z необхідно розкласти на дві складових – в площині балки та перпендикулярній до неї [17]. Через останню визначимо максимальний момент.

Отже,

$$P_z' = P_z \cdot \cos \alpha = 11000 \cdot \cos 25^\circ = 10337 \text{ Н.}$$

Момент від даної сили

$$M = Pz \cdot 0.89 = 10337 \cdot 0.89 = 9200 \text{ Нм.}$$

Нормальне напруження в місці защемлення

$$\sigma = \frac{M/2}{W_0} = \frac{9200/2}{1.86 \cdot 10^{-5}} = 2.47 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

$$\text{де } W_0 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{3.14(0.076^4 - 0.066^4)}{32 \cdot 0.076} = 1.86 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Момент поділено на два, оскільки є два опорних колеса. Умова міцності для матеріалу труб при коефіцієнті динамічності та повному експлуатаційному навантаженні не виконується.

Тому приймаємо рішення, все ж таки, замінити дану трубу більш товстостінною при збереженні зовнішніх параметрів кріплення.

Беремо трубу з товщиною стінки 8 мм і перевіряємо її міцність.

Момент опору перетину

$$W_0 = \frac{3.14(0.076^4 - 0.06^4)}{32 \cdot 0.076} = 2.63 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Напруження

$$\sigma = \frac{9200/2}{2.63 \cdot 10^{-5}} = 1.75 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Враховуючи, те що всі величини вибрані по максимуму і при визначенні допустимого напруження врахований певний коефіцієнт запасу міцності. вважаємо що даний перетин буде задовільним. Тому для задньої балки використовуватимемо товстостінну трубу із зовнішнім діаметром 76 мм, внутрішнім - 60 мм.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Небезпечні ситуації, що виникають при протруюванні насіння

Протруювання насіння – це процес обробки насіння хімічними речовинами для захисту від шкідників, хвороб та інших зовнішніх впливів, які можуть негативно вплинути на сходи та розвиток молодих рослин. Хоча цей процес є важливим інструментом в сучасному агрономії, він також супроводжується значними ризиками та може породжувати небезпечні ситуації, зокрема для людей, що безпосередньо працюють з протруйниками, а також для навколишнього середовища [21, 22, 24].

Однією з основних небезпек, що виникає під час протруювання насіння, є токсичність використовуваних хімічних речовин. Багато протруйників містять інсектициди, фунгіциди та інші біологічно активні компоненти, які можуть бути небезпечними при вдиханні, поглинанні або контакті зі шкірою. Вдихання парів чи пилу від протруйників може спричинити респіраторні розлади, алергічні реакції або навіть хронічні захворювання дихальних шляхів. Контакт зі шкірою може викликати дерматити, виразки або інші шкірні захворювання, особливо якщо протруйник застосовується без належного захисту.

Крім особистої безпеки, протруювання насіння може мати значні наслідки для довкілля. Неправильне використання чи зберігання протруйників може призвести до їх випадкового виливу або витоку, що спричинить забруднення ґрунтів та водойм. Такі витіки можуть знищити мікрофлору ґрунту, негативно вплинути на водних організмів та зменшити біорізноманіття в даній місцевості.

Також, надмірне або неконтрольоване використання протруйників може призвести до розвитку стійкості у шкідників і хвороботворних організмів. Це, в свою чергу, може зробити неефективними традиційні методи боротьби з цими проблемами та спонукати до використання ще більш токсичних хімікатів, подальше погіршуючи ситуацію з безпекою та впливом на довкілля.

Для запобігання виникненню небезпечних ситуацій під час протруювання насіння необхідно дотримуватися строгих процедур безпеки, зокрема носити захисне обладнання, використовувати протруйники відповідно до інструкцій та стандартів безпеки. Також важливо проводити регулярні навчання та інструктажі для осіб, які займаються протруюванням насіння, забезпечуючи їх обізнаність з правильними методами роботи та першою допомогою у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Завдяки ретельному підходу до використання та зберігання протруйників, можна значно знизити ризики для здоров'я та довкілля, забезпечивши при цьому ефективність аграрного виробництва. Такі дії не тільки покращать безпеку та здоров'я працівників, але й забезпечать стійке використання природних ресурсів.

4.2 Вимоги безпеки при роботі з протруювачем насіння

Протруювання насіння — нанесення пестицидів на насіннєвий та садивний матеріал для захисту насіння і рослин від ураження й пошкодження шкідливими організмами. Застосовується переважно проти хвороб.

Хімічний метод захисту рослин полягає у застосуванні пестицидів хімічного синтезу (хімічних засобів захисту рослин), які здатні викликати загибель різноманітних видів шкідливих організмів або порушувати їх розвиток.

Для уникнення можливого негативного впливу пестицидів на людину і навколишнє середовище, необхідно суворо дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з ними, що викладені в Законі України «Про пестициди і агрохімікати» від 02.03.1995 р. № 87/95-ВР та Державних санітарних правил «ДСП 8.8.1.2.001-98 «Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві», затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 03.08.1998 р. № 1.

Процес протруювання насіння в господарствах організують на спеціальних майданчиках під навісом (пункти протруювання) із застосуванням спеціальних машин для протруювання як вітчизняних, так і зарубіжних марок або в спеціальних приміщеннях відповідно до відомчих інструкцій, погоджених МОЗ. Майданчик, на якому проводять протруювання, має бути розташований не ближче ніж за 200 м від житлових та тваринницьких приміщень, зернохосвищ, комор, водойм, пасовищ тощо.

Для протруювання насіння комплектують спеціальну бригаду працівників, яких готують та забезпечують необхідними засобами індивідуального захисту відповідно до установлених норм і правил.

Забороняється використовувати для протруювання насіння ртутьорганічні пестициди.

Необхідно здійснювати вологе протруювання посівного матеріалу з використанням плівкоутворюючих препаратів. Сухе протруювання не допускається.

Відкривати тару, заправляти машини пестицидами слід обережно, аби не допустити розсипання (розливання) препаратів. Під час роботи машин постійно стежать, аби не була порушена їхня герметизація і пил препарату не виходив назовні. Протруєне насіння із протруювача має механічно подаватись безпосередньо у зерноавантажувачі сівалок або у непошкоджені з цупкої тканини мішки з написами: «Протруєно» чи «Отруйно», які потім одразу механічно зашивають.

Видавати протруєне насіння для сівби потрібно лише з письмового дозволу керівника господарства або особи, що його заміщає, з обов'язковим обліком у спеціальному журналі.

Протруєне насіння транспортують на поле лише у зашитих (міцно зав'язаних) мішках спеціальним транспортом, або в бункері зерноавантажувача, який герметично й надійно закривається. Вивантажувальний шнек зерноавантажувача має бути забезпечений справним рукавом такої довжини, аби унеможливити розсипання протруєного насіння під

час завантаження сівалок.

Забороняється перевезення людей разом із протруєним насінням.

Для сівби протруєного насіння слід користуватися тільки справними сівалками. Кришка насінневого ящика повинна бути весь час щільно закрита. Не допускається вирівнювати рівень протруєного насіння у сівалці руками, для цього використовуються дерев'яні лопатки.

Після закінчення робіт протруювачі, зернозавантажувачі сівалок, сівалки й тару знезаражують. Для цього відповідну машину або транспортний засіб поміщають на спеціальний майданчик, за допомогою струменя води змивають залишки препарату з її робочих органів. До того ж забруднену препаратами воду слід збирати у спеціальній ямі, де вона буде знезаражена.

Категорично забороняється змішувати протруєне насіння з не протруєним, здавати його на хлібоприймальні пункти, використовувати в якості харчового продукту, корму сільськогосподарських, домашніх тварин і птиці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основним завданням кваліфікаційної роботи є підвищення продуктивності протруювача камерного. Це досягнули за рахунок зміни деяких конструктивних змін рами машини для використання більш продуктивних вузлів.

В результаті проведення розрахунків встановлено, що:

при підвищенні продуктивності протруювача камерного з 20 до 25 т/год було використано більш продуктивний змішувач, через що виникла необхідність у зміні конструкції рами для його закріплення;

отримана максимальна висота балки змінного опору $h_0 = 0.075$ м для кріплення змішувача справедлива при постійній ширині полки $b = 8$ мм, але дана конструкція до рами машини кріпиться приварюванням, а зварний шов, звичайно послаблює поперечний перетин балки. Тому, обходячи складні дослідження, приймаємо максимальну ширину балки в місті приєднання (приварювання) до рами збільшену на 10 мм, тобто $h_0 = 85$ мм;

при зварюванні кріплень змішуючого пристрою протруювача до рами ручною дуговою зваркою із катетом 6 мм повністю виконується умова міцності для зварних швів, тому таке з'єднання можна вважати надійним. Сумарне напруження сягає $\tau_{\max} = 36.6$ МПа, при допустимому $[\tau] = 80$ МПа;

для передньої балки використано профільну трубу 80x40x7 мм, матеріал балки ст.3, для якого $[\sigma] = 160$ МПа. Посередині прольоту вварена втулка механізму повороту протруювача, але отриманий вузол є достатньо жорстким і вважаємо, що він не послаблює перетину;

напруження в балці при використанні коефіцієнту динамічності 2 становить $\sigma = 44.6$ МПа;

при перевірці даної балки на жорсткість, визначивши прогин посередині прольоту, становить при максимальному перевантаженні (вдвічі) 3 мм, що є припустимим, але цей прогин не повинен перевищувати 5 мм. Якщо запас міцності є чотирикратний, то по жорсткості ми знаходимося на межі, тому рекомендувати зменшити товщину стінки профілю не будемо;

пропонується з торця балку не заварювати, а поперечний шов виконати 60 мм, а два флангові – 30 мм. Сумарна довжина швів тепер становитиме $l'_{\text{сум}} = 120$ мм. Напруження зрізу для такої конструкції буде становити $\tau'''_R = 18.3 \cdot 10^6$ Па. Отже, пропоноване зварне з'єднання має достатню міцність; для виконання задньої балки протруювача використаємо трубу зовнішнім діаметром 76 мм і товщиною стінки 5 мм. Такий матеріал використовувався у базовій конструкції протруювача і є в наявності на заводі. Виконавши перевірку міцності і жорсткості при навантаженні від зміненої ваги модифікованого протруювача, встановлено нормальне напруження в місці защемлення

$$\sigma = 2.47 \cdot 10^8 \text{ Па,}$$

умова міцності для матеріалу труб при коефіцієнті динамічності та повному експлуатаційному навантаженні не виконується. Тому приймаємо рішення, все ж таки, замінити дану трубу більш товстостінною при збереженні зовнішніх параметрів кріплення. Беремо трубу з товщиною стінки 8 мм і перевіряємо її міцність. Напруження при цьому становить

$$\sigma = 1.75 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Враховуючи, те що всі величини вибрані по максимуму і при визначенні допустимого напруження врахований певний коефіцієнт запасу міцності, вважаємо, що даний перетин буде задовільним. Тому для задньої балки використовуватимемо товстостінну трубу із зовнішнім діаметром 76 мм, внутрішнім – 60 мм.

В роботі у розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» розглянуто питання: небезпечні ситуації, що виникають при протруюванні насіння; вимоги безпеки при роботі з протруювачем насіння.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Andrii Babii, Bohdan Levytskyi, Taras Dovbush, Mariia Babii, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Volodymyr Valiashek. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 609-616.
3. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU*, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
4. 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.
5. 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.
6. Бабий, А. Математическая модель нагрузки привода режущего аппарата косилки [Текст] / А. Бабий, М. Бабий, Т. Рыбак // *Motrol*, 2014. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. Vol. 16, No 4. – С.275–284.
7. 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.
8. 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.

9. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту 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.

10. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту 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.

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

12. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проєктування 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.

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

14. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей X Міжнародної науковопрактичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль 24-25 листопада 2021 року. ФОП Паляниця ВА. Т.1. С. 25-26.

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

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

17. 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.

18. 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.

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

20. 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.

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

22. Заверуха Н.М. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник. Львів: „Новий світ–2000”, 2003. – 264 с.

23. Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. Машиновикористання в землеробстві. К.: Урожай, 1996. 384 с.
24. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.
25. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41939>.
26. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
27. Ластівка М.М. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти аграрних технікумів і коледжів зі спеціальності 208 Агроінженерія. Ладизинський коледж, 2019. 374 с.
28. 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.
29. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.
30. Лімонт А.С., Мельник І.І., Малиновський А.С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.
31. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.
32. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.
33. Протруювач камерний ПК-25. Інструкція з експлуатації. Львів. 2006. 60с.
34. 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.

35. 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.

36. 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.

37. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 163 с.