

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Підвищення продуктивності коренезбиральної машини з**
обґрунтуванням параметрів пристрою для заповнення бункера

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

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Онофрук В.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня **Магістр**
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю **208 Агроінженерія**
(шифр і назва спеціальності)
студенту **Онофрюку Віталію Івановичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення продуктивності коренезбиральної машини з
обґрунтуванням параметрів пристрою для заповнення бункера

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи

Продуктивність машини за годину основного часу 2,4 га/год;

робоча швидкість на основних операціях 11 км/год;

робоча ширина захвату 2,7 м; потужність двигуна СМД-60-02 – 112 кВт;

довжина шнека – 1,480 м; діаметр шнека $D=320$ мм,

крок навивки – 770 мм, внутрішній діаметр навивки спіралі – 133 мм.

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

Вступ. 1. Загально-технічний розділ.

2. Аналітико-дослідницький розділ.

3. Прєктно-рекомендаційний розділ.

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

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

Мета і задачі дослідження; Огляд конструкцій бурякозбиральних машин;

Бункер в зборі. СК. 3А1; Транспортёр нижній. СК. 1А1;

Шнек СК. Вал шнека. СК. Деталювання. Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загально-технічний розділ	18.11.25	
2.	Аналітико-дослідницький розділ	28.11.25	
3.	Проектно-рекомендаційний розділ	12.12.25	
4.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	15.12.25	
5.	Загальні висновки	16.12.25	
6.	Графічна частина	19.12.25	

Студент

(підпис)

Онуфріук В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу збирання цукрових буряків шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів шнека-розрівнювача бункера бурякозбирального комбайна, що забезпечує рівномірне заповнення об'єму бункера та зниження експлуатаційних втрат.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішено такі завдання: проаналізовано біологічні, фізико-механічні властивості цукрових буряків у період збирання; досліджено особливості технологічної операції збирання та конструктивні рішення сучасних бурякозбиральних комбайнів; виконано аналітичне обґрунтування параметрів шнека-розрівнювача; здійснено інженерні розрахунки елементів приводу та несучих деталей; розроблено рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є технологічний процес збирання цукрових буряків бурякозбиральними комбайнами з бункерною схемою накопичення коренеплодів.

Предметом дослідження є закономірності взаємодії потоку коренеплодів цукрових буряків з робочими органами бункера комбайна, а також конструктивні та кінематичні параметри шнека-розрівнювача, що впливають на повноту та рівномірність заповнення бункера.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні раціональних параметрів шнека-розрівнювача бункера бурякозбирального комбайна з урахуванням фізико-механічних властивостей коренеплодів та умов їх транспортування всередині машини. Уточнено розрахункові залежності навантажень на елементи приводу шнека та визначено вплив конструктивних

параметрів на рівномірність заповнення бункера, що дозволяє підвищити коефіцієнт використання його об'єму.

Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості їх використання при модернізації існуючих та проектуванні нових бурякозбиральних комбайнів. Запропоновані конструктивні рішення та розрахункові параметри шнека-розрівнювача сприяють підвищенню продуктивності машин, зменшенню втрат коренеплодів, зниженню енергетичних витрат і покращенню експлуатаційних показників у виробничих умовах.

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

Ключові слова. Технологічний процес, викопування коренів, шнек-розрівнювач, продуктивність, привод.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Особливості біології та технології вирощування буряків.....	9
1.2 Фізико-механічні властивості цукрових буряків в період збирання	16
1.3 Аналіз особливостей технологічної операції збирання цукрових буряків	21
2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	27
2.1 Аналіз технологічних можливостей комбайна-прототипа та огляд його аналогів	27
2.2 Аналіз методів дослідження бурякозбиральних машин	35
2.3 Обґрунтування параметрів при виборі шнека-розрівнювача	39
2.4 Розрахунок привідної ланцюгової передачі приводу шнека-розрівнювача	41
3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1 Уточнений розрахунок тихохідного вала	44
3.2 Вибір параметрів зварного шва при монтажі приводної цапфи	49
3.3 Розрахунок шпонкового з'єднання зірочки на валу шнека-розрівнювача	51
3.4 Обґрунтування вибору підшипників шнека-розрівнювача.....	52
3.5 Розрахунок міцності витка шнека та кулачкової запобіжної муфти приводу	54
3.6 Розрахунок шліцевого з'єднання вала і втулки запобіжної муфти приводу шнека-розрівнювача	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...	60
4.1 Охорона праці та вимоги техніки безпеки при експлуатації бурякозбиральних комбайнів	60
4.2 Надзвичайні ситуації та способи їх уникнення при експлуатації бурякозбиральних машин	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ВСТУП

Вирощування цукрових буряків традиційно посідає одне з ключових місць у структурі аграрного виробництва України, забезпечуючи продовольчу безпеку держави та формуючи важливий сегмент переробної промисловості. Ця культура є основною сировиною для виготовлення білого кристалічного цукру, який залишається стратегічним продуктом внутрішнього споживання та експорту. Завдяки сприятливим кліматичним умовам, родючим ґрунтам та багаторічному досвіду вирощування, Україна має потенціал бути одним із провідних виробників цукрових буряків у Європі. Водночас успішність роботи бур'яко-цукрового комплексу значною мірою залежить від ефективності збирання врожаю, оскільки саме на цьому етапі формуються кінцеві втрати коренеплодів та якість сировини, що надходитиме на переробку.

Сучасні технології збирання буряків передбачають застосування високопродуктивних бурякозбиральних комбайнів, які поєднують у собі цілий комплекс операцій: підкопування, підбирання, очищення коренеплодів від ґрунту та гички, їх транспортування і накопичення у бункері. Від технічного рівня та експлуатаційного стану таких машин залежить не лише швидкість виконання робіт, але й величина втрат, які нерідко досягають 5–10 % за неправильного налаштування робочих органів. Тому виробничникам особливо важливо забезпечити оптимальні параметри роботи комбайнів, щоб максимально повно використати їх потенціал та скоротити витрати на одиницю продукції.

Одним із ключових показників ефективності функціонування бурякозбиральних комбайнів є повнота заповнення бункера, яка визначає реальний коефіцієнт використання вантажного простору машини. Від того, наскільки раціонально завантажуються бункери, залежить безпосередньо продуктивність техніки в полі. Якщо завантаження є неповним, комбайн змушений частіше зупинятися для вивантаження коренеплодів, що знижує його змінну продуктивність, збільшує час холостого ходу, підвищує витрати

пального і скорочує ефективну робочу зміну. Натомість, висока повнота завантаження забезпечує мінімальну кількість транспортних циклів, дозволяє механізатору реалізувати рекомендовану робочу швидкість і зменшує необхідність у додаткових транспортних засобах для перевезення урожаю.

Для великих господарств, що вирощують цукрові буряки на площах понад 500–1000 гектарів, значення повного використання бункерів зростає у кілька разів. У таких умовах будь-яке збільшення продуктивності на рівні навіть 3–5 % забезпечує істотний економічний ефект, оскільки дозволяє зменшити тривалість збирання, підвищити ефективність використання пально-мастильних матеріалів і знизити потребу в допоміжному транспорті. Окрім того, правильно організоване завантаження мінімізує ризики втрат коренеплодів при перевантаженні на транспортні засоби, оскільки подача буряків здійснюється стабільним потоком, без різких скидань або пересипання, що є важливим для збереження товарного вигляду та зменшення механічних пошкоджень.

Повнота заповнення бункера також визначає рівень завантаження робочих органів комбайна, що впливає на його енергетичні показники. За умови недостатнього завантаження система очищення працює неефективно, оскільки продуктивність підбираючих та очищувальних механізмів розрахована на певну пропускну здатність. Це може призводити до підвищеного зношування робочих органів або до збільшення домішок у зібраній масі, що ускладнює роботу переробних заводів. Навпаки, оптимальне завантаження забезпечує стабільний потік коренеплодів і максимальну ефективність роботи очисних систем, що є важливою умовою отримання якісної сировини з мінімальними технологічними втратами.

Важливість високих експлуатаційних показників бурякозбиральних комбайнів прямо пов'язана з економічною ефективністю вирощування цукрових буряків.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Особливості біології та технології вирощування буряків

Буряк (*Beta*) – це одно- або дворічна трав'яниста культура з родини маревих, яка має велике господарське значення як овочева, кормова та цукрова рослина. Дикі форми буряка людина використовувала в їжу ще з прадавніх часів, а окультурення перших різновидів розпочалося кілька тисячоліть тому. Уже у II–I тис. до н. е. на території Середземномор'я поширилися перші культурні форми листового буряка, які вирощували переважно заради зелені.

Згодом людство перейшло до вирощування коренеплідних форм. До початку нашої ери з'явилися окультурені різновиди буряка звичайного, які в епоху X–XI століть були добре відомі й на землях Київської Русі. У XVI–XVII століттях відбулося подальше розширення різновидів – були сформовані столові й кормові типи. У XVIII столітті з відбірних форм кормового буряка було отримано новий різновид – буряк цукровий. Важливим етапом стало відкриття німецького хіміка Андреаса Зігмунда Маргґрафа, який у 1747 році вперше виділив із коренеплідів буряка кристали цукру, ідентичні тим, що отримували з цукрової тростини. Свою наукову доповідь він представив у Пруській академії наук, чим заклав основу розвитку європейської цукрової промисловості. Уже наприкінці XIX – на початку XX століття культурні форми буряка поширилися практично на всі континенти.

Коренеплоди буряка можуть мати різну форму – від округлої та плескатої до видовжено-циліндричної. За хімічним складом вони містять до 2 % білків, близько 14–15 % цукрів, а також значні кількості калію, кальцію, магнію та фосфору. Характерною особливістю буряка є відсутність каротину, який міститься, наприклад, у моркві, проте він багатший на вітамін С, що підвищує його харчову цінність.

У кулінарії використовують і коренеплоди, і молоде листя. З буряка готують широкий асортимент страв: салати, борщі, холодники, запіканки,

оладки, овочеву ікру, маринади тощо. Ранні форми – так званий пучковий буряк – вирізняються ніжною структурою, тому вживаються разом із молодим бадиллям і черешками як у сирому вигляді, так і після варіння чи тушкування.

Буряк – представник роду *Beta*, що охоплює однорічні та дворічні трав'янисті рослини родини лободових. Це важлива овочева культура, яка водночас має кормове та цукрове значення. Використання дикорослих форм буряка як харчової рослини бере свій початок із найдавніших часів, а перші свідомі спроби його окультурення припадають орієнтовно на II–I тисячоліття до н.е., коли на островах Середземномор'я люди навчилися вирощувати листові форми цієї рослини.

До початку нашої ери були сформовані вже й культурні коренеплідні різновиди буряка звичайного, які у X–XI століттях активно вирощували на території Київської Русі. Подальший розвиток культури у XVI–XVII століттях привів до широкого розповсюдження столових та кормових форм. У XVIII столітті з'явився принципово новий різновид – цукровий буряк. Його створення стало можливим завдяки роботі німецького хіміка Андреаса Зігмунда Маргграфа, який у 1747 році вперше виділив із бурякового соку цукрові кристали, аналогічні тим, що отримували з цукрової тростини. Це відкриття стало фундаментом для формування нової галузі – бурякоцукрового виробництва, що швидко поширилося світом у XIX–XX століттях.

Сучасні сорти буряка надзвичайно різноманітні. Коренеплоди можуть мати округлу, сплюснуту або видовжену, циліндричну форму. У складі коренеплоду міститься приблизно 2% білка, понад 14% цукрів, значна кількість мінеральних солей калію, кальцію, магнію та фосфору. Хоча буряк не містить каротину, на відміну від моркви, він багатший на аскорбінову кислоту, що підвищує його харчову цінність.

У харчуванні застосовують як коренеплоди, так і молоде листя. Їх використовують для приготування салатів, борщів, овочевих пюре, запіканок, а також маринують і консервують. Ранні сорти так званого «пучкового буряка» особливо популярні завдяки ніжним листкам і соковитим черешкам, які

вживають у свіжому, вареному або тушкованому вигляді.

Буряк вимогливий до умов вирощування: це культура, що потребує достатнього зволоження та світла, але водночас добре переносить короточасні періоди холоду чи посухи. В Україні буряк культивують у більшості аграрних регіонів, за винятком Кримського півострова. Температурний діапазон +16...+22 °C є оптимальним для формування коренеплідів. Рослина здатна рости на ґрунтах із підвищеною засоленістю, проте найкращі умови забезпечують родючі нейтральні ґрунти з достатнім вмістом поживних речовин.

Тривалість вегетаційного періоду різниться залежно від сорту і становить у середньому 60–120 днів. Багато сортів мають багатонасінні клубочки, що формують одразу декілька проростків, тому культура потребує проріджування. Поряд із цим виведені одноросткові форми, які спрощують технологію вирощування та зменшують трудовитрати.

Відповідно до сучасної систематики всі види культурних і диких форм об'єднані в один рід – *Beta L.*, що нараховує 14 диких і один культурний вид. У межах роду виділяють три природні секції: канарську, гірську та звичайну. Саме до останньої належить культурний вид *Beta vulgaris L.*, який об'єднує листові (*Beta cicla*) та коренеплідні (*Beta crassa*) форми. Коренеплідні різновиди включають столові, кормові та цукрові групи, зокрема й однонасінні.

Для цукрових буряків існує деталізована класифікація різновидів, запропонована І. Я. Балковим у 1978 році. Вона розрізняє форми за рівнем плоїдності, типом плоду (зрослоплідні або роздільноплідні) та фертильністю пилку, виділяючи як диплоїдні, так і тетраплоїдні варіанти. Ці класифікаційні підходи дозволяють чітко систематизувати сорти цукрових буряків та створюють основу для селекції нових високопродуктивних форм.

Коренева система буряків є стрижневого типу й характеризується значною глибинністю проникнення – за сприятливих умов вона сягає 1,5–2 метрів. Її основу становить головний корінь, який формує коренеплід, а також численні бічні відгалуження, що розташовуються переважно на двох протилежних сторонах кореня. Така будова забезпечує рослині високу здатність

засвоювати поживні речовини з глибоких шарів ґрунту та краще переносити посушливі періоди.

Коренеплід буряка прийнято поділяти на три морфологічні зони: головку, шийку та власне кореневе тіло. Кожна з цих частин має різне походження, анатомічну будову та цінність у виробничому використанні.

Головка, що є верхньою ділянкою коренеплоду, фактично являє собою вкорочений стебловий відрізок, який утворюється зі структури зародка – надсім'ядольного коліна. Саме на ній розташовуються листки та бруньки, тоді як бічні корінці тут не формуються. Головка повністю виступає над поверхнею ґрунту й займає близько 10–15% загальної довжини кореня. Це найбільш щільна та здерев'яніла частина коренеплоду, яка містить менший відсоток цукру порівняно з іншими зонами. У її центрі розташований конус наростання, де безперервно формуються молоді листки.

Шийка, що з'єднує головку з основною масою коренеплоду, є коротким перехідним сегментом, на якому не утворюються ані листки, ані бічні корінці. За своїм походженням вона виникає внаслідок розростання підсім'ядольного коліна зародка. У цукрових буряків шийка зазвичай має довжину 1–3 см, тоді як у кормових її розміри можуть досягати 5–10 см. Значна частина шийки розташована над поверхнею ґрунту. Незважаючи на невеликі розміри, вона є повноцінною за вмістом поживних речовин та важливою як для технічної переробки, так і для годівлі худоби.

Основну частину коренеплоду становить кореневе тіло – видовжена нижня ділянка, що має конічну форму й складає близько 65–70% його загальної довжини. Воно розвивається внаслідок активного росту зародкового корінця й повністю розташоване в ґрунті. Саме ця частина має найбільше господарське значення, оскільки тут формується основний запас цукрів та інших поживних речовин. На кореновому тілі масово формуються бічні корінці, які забезпечують рослину вологою та мінералами.

Бічні корінці в буряка розташовуються особливим чином – з двох протилежних боків кореня, утворюючи своєрідні ряди. У кормових сортів, які

мають коротше кореневе тіло, ці ряди також коротші. Їхнє розташування відповідає площині сім'ядольних листків, що формуються на ранніх стадіях розвитку. Уже у фазі двох справжніх листків бічні корінці досягають 8–10 см завдовжки, а в дорослих рослин вони можуть розростатися горизонтально на відстань до 1–1,2 метра, утворюючи розгалужену систему.

Зовнішній вигляд коренеплодів значно варіює залежно від сорту. Вони можуть бути конічними, циліндричними, округлими або овальними. Цукрові буряки мають біле забарвлення як зовні, так і всередині, тоді як у кормових сортів колір може змінюватися від жовтого й оранжевого до червоного чи фіолетового. М'якоть у більшості випадків біла, але трапляються різновиди з легким жовтим або рожевим відтінком. Смакові якості та щільність також суттєво різняться: цукрові буряки мають більш щільну, соковиту та солодку м'якоть порівняно з кормовими, що обумовлює їхню високу цукристість і цінність у цукровиробництві.

Анатомічна структура коренеплоду цукрових буряків істотно змінюється впродовж усієї вегетації. На ранніх етапах розвитку корінь має первинну будову, згодом переходить до вторинної, а на пізніших фазах формується третинний тип, характерний для більшості дводольних рослин.

Первинна будова спостерігається від моменту проростання насінини до формування першої пари справжніх листків, тобто у фазі вилочки або сім'ядольних листків. Якщо розглянути молодий корінь під мікроскопом на поперечному зрізі, можна помітити кілька чітко окреслених зон: первинну кору з двома шарами – екзодермою, що є зовнішнім її шаром, та ендодермою, що лежить із внутрішнього боку; а також центральний циліндр, до якого входять первинна деревина, паренхімні клітини та первинний луб. Центральну частину оточує одношаровий перицикл – тканина, у якій закладаються бічні корені. Після утворення вони поступово збільшуються в об'ємі, проривають первинну кору й виходять назовні. Судини, що забезпечують пересування води й поживних речовин, розміщуються радіально: більші – у центрі циліндра, а дрібніші – біля перициклу, формуючи два серцевинних промені.

Коли на рослині з'являються перші справжні листки, у коренеплоді починаються вторинні анатомічні зміни. У клітинах паренхіми центрального циліндра, безпосередньо під первинним лубом, починають формуватися камбіальні клітини у вигляді двох дуг. Згодом вони зливаються в суцільне камбіальне кільце. Воно дає початок вторинній деревині (в напрямі до центра) та вторинному лубу (в напрямі до периферії). У цих тканинах формуються радіальні промені. Вторинний луб утворює вторинну кору, поверх якої закладається тонкий шар пробкової тканини. Розростаючись, пробка розриває первинну кору, що спричиняє характерне для цієї фази «линяння» коренеплоду.

Третинна будова коренеплоду виникає на більш зрілих етапах розвитку рослини. У цей період у паренхімі вторинної кори формуються клітини другого камбіального кільця. Після завершення активності перших двох кілець утворюються нові – третє, четверте, п'яте і далі. У зрілому коренеплоді їх може бути від шести до дванадцяти. Саме ці концентричні шари, утворені в результаті діяльності кількох генерацій камбію, містять найбільшу кількість цукру й визначають технологічну цінність цукрових буряків.

При аналізі поздовжнього зрізу коренеплоду чітко простежуються судини первинної деревини, які вгорі розходяться до сім'ядольних листків. Навколо них розташовані провідні елементи наступних камбіальних кілець, що у верхній частині коренеплоду значно розгалужуються. У ділянці шийки відбувається складне переплетення та перегруповання судин: провідні пучки переходять від кореня до листкових черешків, а між ними утворюються численні анастомози – з'єднання, що забезпечують безперервний рух речовин. У кормових буряків кількість провідних пучків менша, а відстані між ними більші порівняно з цукровими, у яких зазвичай формується від шести до дванадцяти камбіальних кілець, тоді як у кормових їх лише п'ять-шість.

Цукрові буряки належать до найбільш вимогливих польових культур щодо живлення, оскільки формування високої врожайності та нагромадження цукру в коренеплодах потребує значних запасів макро- і мікроелементів у ґрунті. Порівняно з іншими культурами, буряк інтенсивніше споживає поживні

речовини, адже створення однієї тонни коренеплодів разом із відповідною масою гички супроводжується значним виносом елементів живлення. Для отримання врожаю на рівні сучасних технологічних стандартів із ґрунту зазвичай поглинається 50–60 кг/га азоту, 15–20 кг/га фосфору та 55–75 кг/га калію. Поряд із цими елементами культура активно засвоює кальцій, магній, сірку та широкий спектр мікроелементів, таких як бор, марганець, цинк, мідь, молібден і кобальт. Хоча їх потреба вимірюється грамами або десятками грамів на гектар, їх нестача позначається на рості рослин не менш суттєво, ніж дефіцит основних макроелементів.

Для ефективного живлення буряків важливе оптимальне співвідношення катіонів у ґрунтовому вбирному комплексі. Культура добре розвивається, коли частка обмінного кальцію становить близько 60–70% ємності поглинання, що забезпечує сприятливу реакцію ґрунтового розчину, повітряний режим і доступність інших елементів. Оптимальна кількість обмінного магнію в межах 10–15% сприяє формуванню фотосинтетичного апарату, адже магній – центральний атом хлорофілу. Калій у структурі поглинання на рівні 3,5% відповідає за регуляцію водного балансу і вуглеводного обміну, що особливо важливо для культури, чутливої до нестачі вологи.

Особливістю цукрових буряків є дуже гостра реакція на нестачу бору. Дефіцит цього мікроелемента спричиняє порушення формування коренеплоду, розвиток сухої гнилі та зниження цукристості. Марганець також має ключове значення, адже він бере участь у процесах фотосинтезу та дихання, і його брак швидко призводить до появи міжжилкового хлорозу та зниження темпів росту. У відносно меншій, але все ж важливій мірі буряк реагує на нестачу міді, цинку, молібдену та кобальту, що впливають на ферментативну активність, азотний обмін і здатність рослин ефективно використовувати поживні речовини.

Практика показує, що навіть за задовільного агрохімічного стану ґрунтів вміст мікроелементів у доступних для рослин формах може бути недостатнім. Тому сучасні технології вирощування передбачають застосування мікродобрив

– як у вигляді передпосівної обробки насіння, так і шляхом позакореневих підживлень. Ефективність такої корекції живлення базується на результатах ґрунтової та листкової діагностики, що дозволяє визначати потреби рослин на конкретних полях і в конкретні фази їх розвитку.

Застосування мікродобрих не лише сприяє підвищенню врожайності, але й покращує загальну стійкість буряків до хвороб, зокрема коренеїду та гнилей, а також підвищує стійкість рослин до посухи. Для буряків, які є вологолюбною культурою, можливість ефективніше використовувати доступну вологу має вирішальне значення в умовах кліматичних змін та періодичних літніх посух. Важливу роль у формуванні цукристості відіграють магній, сірка, бор і марганець, адже вони беруть участь у синтезі вуглеводів, транспорті цукрів та накопиченні сухих речовин у коренеплодах.

Таким чином, система живлення цукрових буряків повинна бути збалансованою і ґрунтуватися на точних діагностичних даних. Забезпечення рослин необхідними мікро- та макроелементами є ключовою умовою для отримання стабільних високих урожаїв та підвищеної цукристості, а відповідно – економічної ефективності виробництва буряків у сучасних агротехнологічних умовах.

1.2 Фізико-механічні властивості цукрових буряків в період збирання

Збирання коренеплодів цукрових буряків належить до найбільш ресурсозатратних операцій у рослинництві, адже потребує значних витрат праці, енергії та застосування високопродуктивної техніки. Успішність цієї технологічної операції визначається не лише конструктивними можливостями машин, але й специфічними властивостями ґрунтів та фізико-механічними характеристиками самих коренеплодів, які істотно змінюються на момент збирання. Особливо великі труднощі виникають у періоди, коли строки

виконання робіт зміщуються через несприятливі погодні умови. Підвищена вологість орного шару на рівні 26–30% або ж надмірна твердість ґрунту, що сягає 3,5–4,5 МПа, помітно ускладнюють роботу машинно-тракторних агрегатів. У таких умовах різко знижується технічна та технологічна надійність коренезбиральних комбайнів, падає їх робоча швидкість і пропускна здатність. Серійні машини при цьому демонструють істотний рівень пошкоджень коренеплодів, який може досягати 60%, а забрудненість буряків частками ґрунту нерідко перевищує 40%, що суттєво ускладнює подальше транспортування та переробку врожаю.

На момент збирання буряк має сформований потовщений головний корінь конусоподібної форми, який є основним органом накопичення цукру. Від нього у боки відходять численні тонкі корінці, що можуть поширюватися на відстань 25–30 см. Основна частина цукру – до 95–97% – локалізується в тілі коренеплоду, що й обумовлює велике значення такого показника, як технічна довжина кореня. Нижня, або хвостова частина, проникає в ґрунт на значну глибину – понад один метр – та під дією робочих органів машини зазвичай відривається на діаметрі приблизно 8–10 мм, залишаючись у ґрунті без істотних втрат цукристості для товарної частини врожаю.

Гичкова маса на час збирання представлена 10–30 добре розвиненими листками, які формують розетку у вигляді перекинутого конуса. Її структура та щільність впливають на якість роботи гичкорізальних та очисних механізмів, оскільки комбайн повинен забезпечити точне зрізання гички без значних втрат маси коренеплоду.

Розміщення коренів у ґрунті визначається міжряддям B , відстанню між рослинами в рядку – кроком c , а також положенням головки коренеплоду відносно поверхні ґрунту, що виражається величиною h . Ширина міжрядь, з технологічного погляду, формує обмеження щодо конструктивних параметрів машини та визначає її прохідність між рослинами. Ширші міжряддя (60 см і більше) забезпечують кращі умови для роботи комбайна, знижують ризик пошкодження рослин і дають змогу використовувати більш габаритні витяжні

та очисні органи.

Крок рослин у рядку та висота розташування головки мають безпосередній вплив на режими роботи підкопувальних і витяжних робочих органів. Головка коренеплоду може знаходитися як нижче рівня ґрунту на глибині до 30 см, так і значно вище – до 80 см і більше, що створює додаткові вимоги до відлагодження очисних систем та налаштування висоти зрізу. Маса коренеплоду також змінюється в широких діапазонах – від 0,2 до 5 кг, що відбивається на рівномірності навантаження робочих органів, ефективності сепараційних систем і загальній продуктивності машини.

Усі ці чинники в комплексі формують технологічні труднощі збирання та визначають необхідність точного налаштування робочих органів комбайнів, адаптації їх параметрів до конкретних умов поля й застосування сучасних систем автоматичного регулювання. Тільки при синхронній роботі комбайнових вузлів, з урахуванням властивостей ґрунту та біологічних особливостей коренеплодів, можна забезпечити високу якість виконання операції, мінімізувати пошкодження та забруднення продукції і гарантувати отримання високого економічного результату.

Характеристики цукрового буряка, що мають значення для процесу його збирання, узагальнені в таблиці 1.1. Серед усього комплексу фізико-механічних параметрів особливий інтерес становлять показники, які безпосередньо впливають на роботу технічних засобів під час підкопування, витягування та первинного очищення коренеплодів. Передусім це зусилля зв'язку кореня з ґрунтом, міцність гички та величина тимчасового опору коренеплоду згину. Саме ці характеристики визначають, яким чином коренезбиральна машина має впливати на рослину, щоб забезпечити ефективне, але водночас делікатне відокремлення коренеплоду від ґрунту та гички.

Зусилля зв'язку кореня з землею є ключовим параметром при проєктуванні підкопувальних і витяжних робочих органів. Його величина залежить від типу ґрунту, ступеня його зволоження, глибини залягання кореня та розвитку бічних корінців. Чим міцніший зв'язок коренеплоду з орним

шаром, тим більшим має бути піднімальне зусилля робочого органа, що впливає на конструкцію лап, підкопувальних ножів, вібропідкопувачів та механізмів витягування. Неврахування цього параметра може призвести до часткового виривання кореня, значних пошкоджень, а інколи навіть до зрізання хвостової частини вище допустимого рівня.

Таблиця 1.1 – Характеристики цукрового буряка

Показник	Значення показника при обробці ділянок	
	Неполивних	Поливних
Міжряддя B , мм	450 ± 30	600 ± 40
Крок c , мм	200-300	250-350
Висота h розміщення головки над рівнем землі, мм	15-20	20-35
Загальна довжина кореня L , мм	1200-1600	1200-1600
Діаметр кореня d_K , мм	80	85-100
Технічна довжина кореня L_T , мм	220	250-300
Висота h_2 зрізу головки, мм	8-12	10-20
Довжина стебла l_B , мм	300-400	400-600
Діаметр d_B пучка гички, мм	50-60	70-90
Маса, кг:	0,4-0,6	0,5-0,8
Кореня		
Гички		
Щільність, кг/м ³	550-650	550-650
Кореня		
Гички		
Урожайність коренів, ц/га	250-350	400-550

Не менш важливою є характеристика міцності гички. Від неї залежить

ефективність роботи апаратів для зрізання або обламування листової маси, а також точність відокремлення головки кореня. Слабка або ламка гичка погіршує роботу різальних механізмів, тоді як надмірно міцна листова маса потребує більшої енергії для її видалення й може викликати додаткові навантаження на гичкорізальні вузли.

Тимчасовий опір кореня згину є характеристикою, яка визначає здатність коренеплоду сприймати деформаційні навантаження під час підкопування, транспортування всередині комбайна та сепарації. Оскільки коренеплід має нерівномірну структуру й неоднорідну внутрішню міцність, його згинальна стійкість безпосередньо впливає на рівень пошкоджень. Робочі органи повинні забезпечувати таке механічне навантаження, яке дозволяє відділити корінь від ґрунту та гички, не руйнуючи його тіла і зберігаючи товарні якості.

Визначені характеристики є фундаментальними для інженерного обґрунтування конструкції коренезбиральних машин. Вони дають змогу оптимізувати роботу підкопувальних, витягувальних, гичкорізальних та очисних систем і забезпечують максимально ефективне та безпечне збирання коренеплодів у різних виробничих умовах.

У практичних умовах збирання цукрових буряків часто спостерігається, що зусилля, необхідне для витягування непідкопаного кореня з ґрунту, у більшості випадків дорівнює або перевищує величину, при якій відбувається розрив гички. Це пояснює, чому на практиці лише 40–50% непідкопаних коренів можна підняти за допомогою листової маси; у решті випадків гичка відривається, а корінь залишається в ґрунті. Тому ефективне підкопування кореня, яке супроводжується розпушенням ґрунту та відокремленням бічних корінців і хвостової частини, значно знижує необхідне зусилля для витягування кореня і забезпечує його цілісність.

Тимчасовий опір коренеплодів цукрового буряка до згину є порівняно невеликим. Ця особливість робить коренеплоди вразливими до механічних пошкоджень під час роботи викопуючих і гичкорізальних органів комбайнів. Часті випадки поломок, сколювання або тріщин у тілі кореня знижують товарну

якість врожаю та підвищують втрати при транспортуванні. Особливо чутливими коренеплоди стають при падінні з висоти близько 1,5 м, що відповідає швидкості співудару приблизно 5,4 м/с – у таких випадках виникає значне руйнування тканин, що також спричиняє втрати цукристих компонентів.

Для забезпечення високої якості збирання і мінімізації пошкоджень коренеплодів ключовим є поєднання підкопування, правильного налаштування робочих органів та контролю швидкості транспортування. Це дозволяє оптимізувати механічний вплив на буряки, зберегти їх товарну і технологічну цінність, а також підвищити загальну продуктивність збирання.

1.3 Аналіз особливостей технологічної операції збирання цукрових буряків

Цукрові буряки можуть збиратися як комбайновим способом, так і роздільними дво- та трифазними методами, залежно від наявності техніки, стану поля та технологічних вимог.

При комбайновому способі збирання всі операції виконуються одним агрегатом у безперервному циклі. Спочатку здійснюється зрізання гички, часто одночасно з її подрібненням, після чого вона або укладається у валок, або розкидається на полі для подальшого використання як кормової маси. Далі комбайн викопує коренеплоди, очищає їх від ґрунту, залишків гички та сторонніх домішок, після чого безпосередньо завантажує у транспортні засоби або тимчасово накопичує у власному бункері, який періодично вивантажується. Цей метод забезпечує високу продуктивність, скорочує витрати на ручну працю та мінімізує втрати продукції, однак потребує складного агрегату та відповідної потужності трактора.

Двофазний роздільний спосіб передбачає розділення операцій на два етапи. На першому етапі гичка зрізується та подається у транспортні засоби, що

забезпечує її швидкий збір і мінімізацію псування. На другому етапі викопуються коренеплоди, які очищаються від ґрунту та залишків листя, після чого також завантажуються у транспорт для доставки на промислову переробку. Такий метод дозволяє більш гнучко регулювати процес і зменшує навантаження на агрегати, але потребує синхронізації роботи декількох машин.

Трифазний роздільний спосіб збирання є найбільш розчленованим і включає три основні етапи. Спершу проводиться суцільне збирання гички з подальшим її складанням або укладанням у валок, одночасно виконують дообрізування головок пасивними робочими органами. Потім викопуються коренеплоди та тимчасово укладаються у валки. Останній етап здійснюють спеціальні підбирачі-очисники, які через певний час підбирають коренеплоди, очищають їх від ґрунту, залишків гички та сторонніх домішок, після чого передають у транспортні засоби, що рухаються поруч з агрегатом-вантажником. Такий метод дозволяє розподілити навантаження на техніку та знизити пошкодження коренеплодів, особливо у складних ґрунтових умовах.

З точки зору організації процесу, цукрові буряки збирають із використанням потокової, перевалочної або потоково-перевалочної технологій. Потокова технологія передбачає безперервне транспортування коренеплодів і гички з поля до проміжних або кінцевих пунктів обробки. Перевалочна технологія передбачає тимчасове накопичення продукції у спеціальних валках чи бункерах з подальшим її перевантаженням у транспортні засоби. Потоково-перевалочна система поєднує обидва підходи, забезпечуючи високу продуктивність та гнучкість у регулюванні процесу збирання, одночасно знижуючи втрати продукції та пошкодження коренеплодів.

При поточковій технології збирання цукрових буряків здійснюється комплексна механізація всього процесу. Спочатку гичка збирається спеціальними машинами та відвозиться транспортом на ферму або направляється на силосування. Після цього викопуються коренеплоди, які транспортуються безпосередньо на приймальний пункт цукрового заводу. Такий метод забезпечує безперервність процесу та високу продуктивність

агрегатів.

Перевалочна технологія відрізняється тим, що після викопування коренеплоди тимчасово накопичуються на спеціально підготовлених майданчиках у вигляді валків, куп або кагатів. Для подальшого перевезення на завод використовують високопродуктивні навантажувачі-очисники. Цей підхід застосовують у разі недостатньої кількості транспорту або великої забрудненості коренеплодів, що ускладнює їх безпосереднє транспортування.

Потоково-перевалочна технологія поєднує обидва підходи: частина коренеплодів відразу відправляється на завод, а решта тимчасово зберігається на перевалочному майданчику для подальшого транспортування. Це дозволяє оптимально розподіляти навантаження на транспортні засоби та обладнання, знижуючи втрати продукції.

Валкова технологія передбачає зрізання гички з її укладанням у валки або розкиданням по поверхні поля. Коренеплоди викопуються та укладаються у валки, які підбираються спеціальними підбирачами-очисниками і передаються у транспортний засіб, що рухається поруч з агрегатом. Експериментально застосовується також широковалкова технологія, при якій формується потужний валок коренеплодів з 30 рядків за п'ять проходів агрегату, що значно підвищує продуктивність та зменшує механічні пошкодження.

Залежно від виконуваних технологічних операцій, техніка для збирання цукрових буряків поділяється на гичкозбиральні машини, коренезбиральні машини, бурякозбиральні комбайни, підбирачі-навантажувачі та очисники головок коренеплодів. Гичкозбиральні агрегати можуть бути причіпними, напівначіпними та самохідними. Коренезбиральні машини, бурякозбиральні комбайни, підбирачі-навантажувачі та очисники головок представлені у самохідному, начіпному та причіпному виконанні, що дозволяє адаптувати їх до різних площ і умов поля.

При застосуванні роздільних дво- та трифазних способів збирання цукрових буряків найчастіше використовують чотирьох- та шестирядні комплекси машин, що дозволяє оптимально обробляти поля середньої та

великої площі. У країнах Західної Європи переважно віддають перевагу комбайновому способу збирання, тоді як роздільний метод із використанням валкової технології застосовується рідше.

Для забезпечення своєчасного та якісного збирання буряків техніка повинна відповідати низці агротехнічних вимог. Так, гичкозбиральні машини повинні зрізати гичку на висоті не нижче рівня нижніх зелених листків та не вище 2 см від верхньої частини головки коренеплоду. Зріз має бути рівним і горизонтальним. Допустима кількість коренеплодів з необрізаною гичкою не повинна перевищувати 8%, а з косим зрізом – 10%. Втрати частин головок коренеплодів у гичку не повинні перевищувати 5%, а забрудненість зрізаної гички ґрунтом – 0,5%. Загальні втрати зеленої маси на полі допускаються до 10%.

Коренезбиральні машини повинні забезпечувати підкопування та вибирання з ґрунту щонайменше 98,5% коренеплодів. При цьому можливі втрати до 1,5% коренеплодів та їх частин, а кількість сильно пошкоджених коренеплодів не повинна перевищувати 5–8%. Забрудненість вороху коренеплодів гичкою допускається до 3%, а частка ґрунту – до 1%.

Навантажувачі-очисники повинні забезпечувати підбирання не менше ніж 99,5% коренеплодів. При цьому забрудненість продукції рослинними рештками під час навантаження в транспортні засоби допускається до 1%, а кількість сильно пошкоджених коренеплодів не повинна перевищувати 3–4%.

Дотримання цих агротехнічних вимог дозволяє забезпечити високу якість збирання, мінімізувати втрати коренеплодів і гички, а також знизити пошкодження продукції під час транспортування та первинного очищення. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності роботи бурякозбиральних агрегатів і економічної віддачі від вирощування цукрових буряків.

Основними викопуючими робочими органами бурякозбиральних машин є різні типи копачів: дводискові з одним активним диском, пасивні сферичні диски, ротаційно-вилчасті, лемішного типу, вібруючі, а також пасивні диски з опорними полوزками та інші конструкції.

Дводисковий копач складається з двох штампованих дисків діаметром 680 мм, встановлених на осях під невеликим кутом відносно напрямку руху та вертикальної осі. Один з дисків є активним і приводиться в рух через редуктор від механізмів приводу машини. Частота обертання активного диска становить близько 92 об/хв. Між кромками ободів дисків у нижній частині встановлюють зазор 30–46 мм, який регулюють за допомогою спеціальних регулювальних шайб.

Таке конструктивне рішення дозволяє ефективно підкопувати коренеплоди, відділяти їх від ґрунту та мінімізувати пошкодження під час роботи агрегату, забезпечуючи високий коефіцієнт збору буряків і стабільність роботи викопуючих органів у різних ґрунтових умовах.

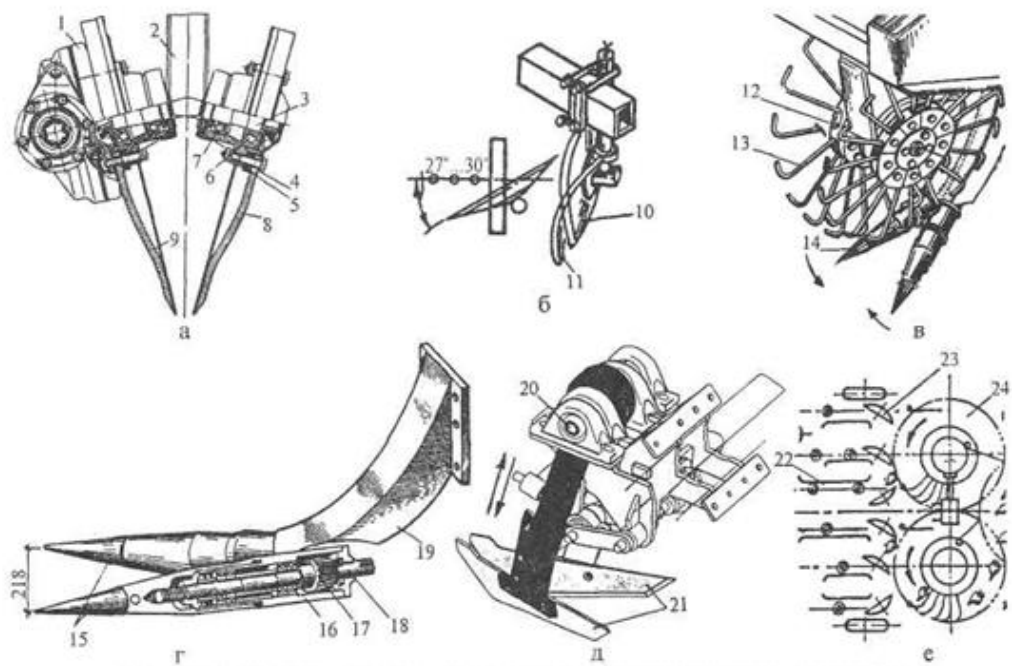


Рисунок 1.1 – Викопуючі робочі органи бурякозбиральних машин

Пасивні дискові копачі складаються з сферичного диска діаметром 450–600 мм та спрямовувача-напрямника. Диски зазвичай встановлюють під кутом 30–40° до напрямку руху агрегату і вони вільно обертаються на осі. Під час роботи пасивні диски підрізують ґрунт на глибину 60–100 мм, піднімають коренеплоди та спрямовують їх до кулачкових валів, бітерів або приймальних

транспортерів, забезпечуючи рівномірне подання продукції для подальшої обробки.

Ротаційно-вилчасті копачі складаються з двох конусних роторів у вигляді вилок, які обертаються назустріч одна одній у нижній частині. Вони встановлені на хвостовиках валів і приводяться в рух за допомогою редуктора та конічної зубчастої передачі. Діаметр циліндричної частини вилки становить 72 мм, довжина активної частини – 332 мм, а частота обертання роторів – 423 об/хв. Відстань між носками роторів – 218 мм. Під час обертання вилки конічними наконечниками підкопують коренеплоди, спрямовують їх між дисками коренезабірників, які розташовані під кутом і обертаються зі швидкістю 99 об/хв, а далі коренеплоди потрапляють на приймальний транспортер. Глибина ходу активних вилок становить 6–12 см.

Лемішні вібруючі копачі складаються з двох плоских лемешів – лівого та правого, стояків і ексцентрикового вала з підшипниковими вузлами. Лемеші встановлюють під кутом до напрямку руху, і під час роботи вони здійснюють коливальні вертикальні рухи. Така вібрація дозволяє підкопувати коренеплоди, порушувати їх зв'язок із ґрунтом, піднімати вгору і направляти до бітерів або шнеків. Частота коливання лемешів складає 10–12 циклів на секунду.

Дисково-полозоподібні копачі пасивного типу включають сферичний диск та вертикально встановлений полозок. Диск обертається вільно на осі і розташовується під кутом 40° до напрямку руху. Пасивні диски підрізують ґрунт і підкопують коренеплоди, піднімаючи їх угору, тоді як полозки утримують коренеплоди від зміщення, активізують процес викопування і сприяють їх ефективному підйому з ґрунту. Цей тип копачів зазвичай застосовується на машинах для збирання кормових коренеплодів.

2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз технологічних можливостей комбайна-прототипа та огляд його аналогів

Бурякозбиральний комбайн КБ-6 виконує цілий комплекс технологічних операцій: зрізання гички, доочищення головок коренеплодів від залишків гички, викопування, очищення коренеплодів від ґрунту, транспортування та завантаження їх у транспортні засоби.

Бункерний самохідний комбайн КБ-6 (рис. 2.1) призначений для реалізації однофазної технології збирання цукрових буряків. Машина складається з шасі з об'ємним гідроприводом на ходову частину, гичкозрізувального апарату, підбирача коренів, автомата водіння та системи автоматичної сигналізації.

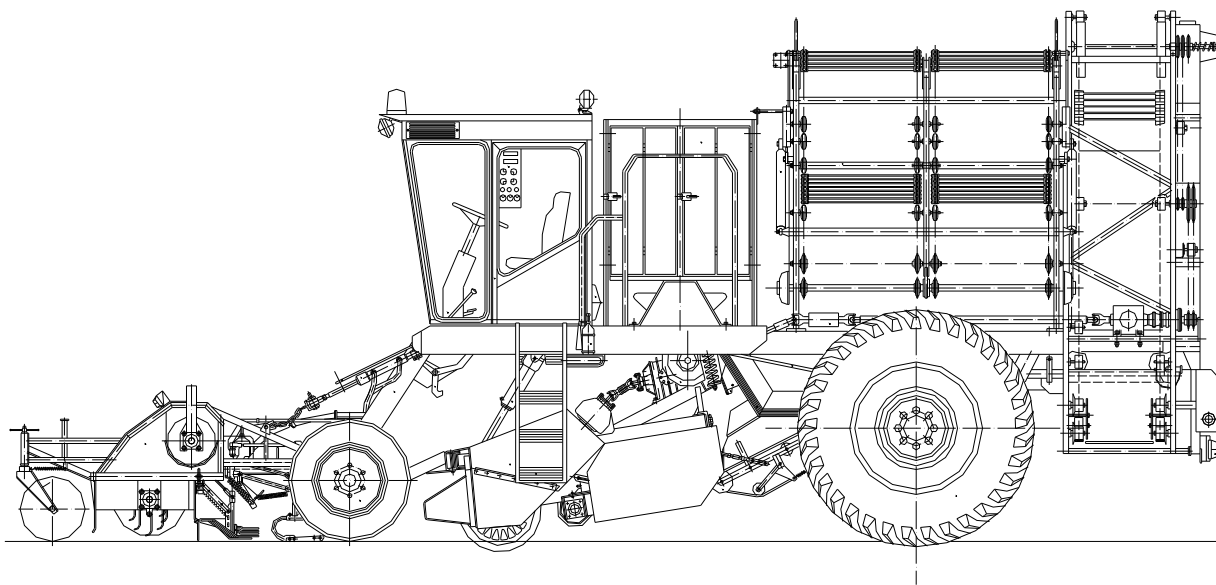


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд бункерного самохідного комбайну КБ-6

Шасі комбайну включає несучу раму, що спирається на мости ведучих і керованих коліс, силовий агрегат, платформу водія з кабіною, а також електричні та гідравлічні системи.

Підбирач коренів містить викопуючий пристрій, поздовжній і кільцевий транспортери, бункер та вивантажувальний транспортер. Його вузли змонтовані на основній рамі: поздовжній і кільцевий транспортери, бункер і вантажний транспортер. Копачі та шнековий очисник встановлені на окремій рамі, яка приєднана до несучої рами шасі через шаровий шарнір.

У робочому положенні викопуючого пристрою, коли копачі заглиблені в ґрунт, рама спирається на міст керованих коліс за допомогою кронштейнів. У транспортному положенні рама утримується гідроциліндром і фіксується механічним замком.

Комбайн оснащений автоматичною системою контролю роботи основних вузлів, яка сигналізує водію про можливі порушення в роботі агрегатів. Крім того, машина обладнана автоматом керування. Капоти та щитки, що легко відкриваються, забезпечують безпечний доступ до вузлів комбайну для обслуговування, огляду та ремонту.

Для роботи в темну пору доби та пересування по дорогах комбайн оснащено зовнішніми освітлювальними приладами.

Схема технологічного процесу роботи комбайна КБ-6 наведена на рис. 2.2 і демонструє послідовність виконання всіх операцій – від зрізання гички до завантаження очищених коренеплодів у транспортний засіб.

Гичка цукрових буряків зрізується за допомогою гичкоріза, який навішений на міст ведучих коліс і розташований у передній частині комбайна. Після зрізання гичка потрапляє на шнек і виводиться на попередньо зібрану ділянку поля. Пасивний дообрізувач повторює форму головок коренеплодів і здійснює остаточну дообрізку залишків гички.

За допомогою автомата керування передні колеса комбайна автоматично спрямовуються точно по центру міжрядь буряка. Завдяки цьому встановленню диски копачів під кутом один до одного ефективно витягують корені із ґрунту і перекидають їх на шнековий очисник за допомогою бітера. Під дією обертання шнеків із різною швидкістю коренеплоди очищаються від залишків рослинності і подаються на поздовжній транспортер.

Передавальний вал забезпечує рівномірне заповнення міжскребкового простору транспортера, що підвищує його продуктивність. Далі коренеплоди надходять на кільцевий транспортер, який виконує доочищення і подачу коренеплодів у бункер. Бункер комбайна об'ємом 10 м³ виконує функцію накопичення буряка і має рамну просторову конструкцію. Постійно обертаючийся шнек розрівнює коренеплоди в праву частину бункера, а при її заповненні дно бункера зсувається вліво, забезпечуючи рівномірне наповнення всього об'єму.

Після заповнення бункера коренеплоди вивантажуються за допомогою навантажувального транспортера у транспортні засоби або формуються у польовий кагат для тимчасового зберігання [40-42].

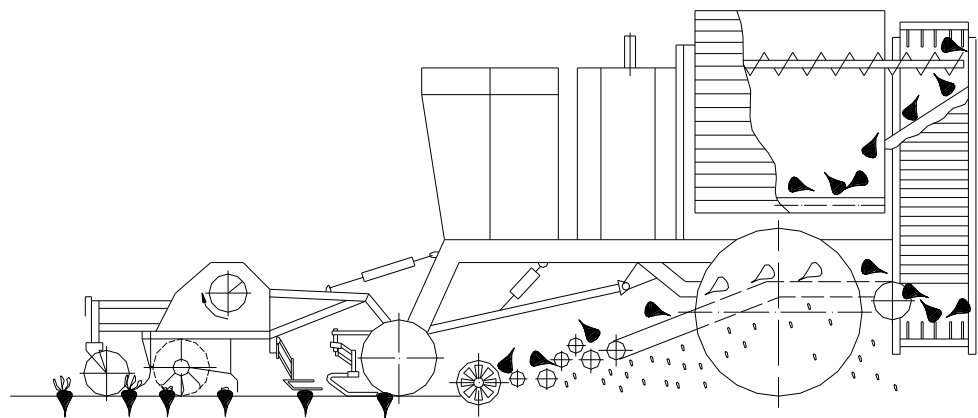


Рисунок 2.2 – Технологічна схема бурякозбирального комбайну КБ-6

Дно бункера та вивантажувальний транспортер виконані у вигляді здвоєних транспортуючих механізмів. Дно бункера приводиться в дію за допомогою важеля, розташованого в кабіні водія, що дозволяє оператору керувати його рухом безпосередньо під час роботи. Для оптимізації процесу завантаження допускається короткочасне включення реверсу дна бункера, коли об'єм заповнення не перевищує 25%. Це забезпечує рівномірний розподіл коренеплодів та зменшує можливість їх пошкодження під час накопичення у бункері.



Рисунок 2.3 –Бурякозбиральні комбайни Kleine SF 10

Самохідний бурякозбиральний комбайн Кляйне СФ-10 (рис. 2.3) оснащений бункером місткістю 9 т, що дозволяє накопичувати зібрані коренеплоди та перевантажувати їх у транспортні засоби, які рухаються поруч. Така конструктивна особливість відокремлює процес збирання буряків від процесу транспортування, що значно підвищує продуктивність, оскільки відпадає необхідність виконувати розвантажувальні рейси комбайна від поля до бурякового кагату. Завдяки великій місткості бункера відпадає потреба постійно тримати поруч із комбайном додатковий транспортний засіб, що дозволяє економити ресурси та зменшувати витрати пального.

Усі агрегати комбайна, включаючи гичкоріз та копач, оснащені гідроприводом. Керування глибиною викопування та бокова компенсація гичкоріза і копача на схилах здійснюється автоматично, що забезпечує рівномірне виконання технологічних операцій. Для очищення коренеплодів встановлена система, що складається з п'яти роторних турбінних очисників. Валковий очисник та роторні турбінні очисники змонтовані на рамі, яка обертається на шарнірах перед заднім мостом і може підніматися та опускатися перед переднім мостом за допомогою двох гідроциліндрів.

Потік коренеплодів після валкового очисника розділяється на два роторні турбінні очисники з однаковим напрямком обертання і знову об'єднується при

подачі на наступні вузли. Подовжений шлях проходження буряків через очисники забезпечує інтенсивне очищення з мінімальними пошкодженнями коренеплодів. Валковий механізм і роторні очисники оснащені гідроприводом з безступінчатим регулюванням швидкості обертання.

Проміжний бункер комбайна може розвантажуватися як у рухомий транспорт, так і у польові кагати, що забезпечує гнучкість у організації процесу збирання [40].

Бурякозбиральний комбайн СФ-10 від фірми «Кляйне» є сучасним самохідним агрегатом, розробленим для високопродуктивного збирання коренеплодів із мінімальними втратами та пошкодженнями. Довжина машини становить 10 метрів, а ширина залежно від обраного міжряддя – 3,15 м при міжрядді 45 см та 3,30 м при міжрядді 50 см. Висота агрегату сягає 3,80 м, що дозволяє ефективно працювати навіть із високими рослинами буряка.

Маса комбайна – 13 900 кг, що забезпечує його стабільність під час роботи на різних ґрунтах. Привід ведучих коліс гідростатичний із трьохступінчастим редуктором, що дозволяє безступінчато регулювати швидкість руху як вперед, так і назад: перша швидкість – від 0 до 6 км/год, друга – до 12 км/год. Передній міст виконаний порталним із поворотним кругом, а задній – нерухомий. Рульове керування здійснюється через задні колеса та систему «собачий хід», з підтримкою рульової автоматики для точного проходження міжрядь.

Силова установка комбайна – шестициліндровий дизельний двигун Volvo Pento TWD1030ME потужністю 285 к.с., що забезпечує достатню енергію для приводу всіх робочих органів та пересування по полю. Паливний бак об'ємом 710 літрів гарантує тривалу роботу без необхідності частих дозаправок.

Об'єм бункера для зібраних коренеплодів складає 13,5 куб. м, а його конструкція дозволяє перевантаження у транспортні засоби на висоту від 2,5 до 4,3 м, при цьому ширина при перевантаженні становить 1,40 м. Гідравлічні приводи забезпечують роботу всіх ключових механізмів: вала подрібнювача, валу очисника, гичкокидача, роторних очисників та елеватора.

Комбайн оснащений автоматикою рульового керування з сенсорами для точного визначення рядів буряка, що підвищує точність проходження міжрядь та знижує ризик пошкодження коренеплодів. Шини переднього мосту мають розмір 710/70R38AS, заднього – 700/50R26AS, а міжцентрова відстань дорівнює 3,82 м, що забезпечує гарну прохідність і стійкість на полі.



Рисунок 2.4 – Бурякозбиральні комбайни Holmer Terra Dos T2

Самохідні бурякозбиральні комбайни фірми «HOLMER» (рис. 2.4) відрізняються високою продуктивністю та сучасною конструкцією. Машина оснащена потужним дизельним двигуном МАН D2876LF03 із віддачею 338 кВт, що забезпечує надійне живлення всіх робочих органів і ходової частини. Привід передньої та задньої осі реалізований через механічну систему з двошвидкісною роздільною коробкою передач та гідравлічним приводом. Передній міст виконаний порталним із планетарним механізмом, керованими колесами та гальмами, а задній міст також планетарний з керованими колесами і гальмами; обидва мости оснащені поперечним блокуванням диференціала, що підвищує прохідність і стійкість на різних типах ґрунту.

Комбайн обладнаний роторним гичкорізом, висота зрізу якого регулюється автоматично і централізовано з кабіни водія. Додатково передбачені ножі-дообріжчики для підрізання головок коренів буряків, висоту

яких також можна налаштовувати безпосередньо з кабіни. Зрізана гичка може рівномірно розсіюватися по полю або збиратися на причепи для подальшого транспортування.

Гичкоріз і викопуючий механізм підвішені на рамі комбайна за допомогою шарнірних вузлів, що дозволяє їм точно повторювати рельєф поля, забезпечуючи рівномірне зрізання гички, дообрізку та ефективне викопування коренеплодів. Викопування здійснюється за допомогою підкопуючих віброшпательних із автоматичним регулюванням глибини, що дозволяє уникати пошкоджень коренеплодів. Можливе налаштування робочих органів під різні міжряддя – 45, 48, 50 та 60 см, що робить комбайн універсальним для різних схем посадки буряків.

Очисна система комбайна складається з комплексного набору робочих органів, що забезпечують якісне очищення коренеплодів. Вона включає шість подовжених шнекових валів та два коротких шнеки, один реверсивний сепаруючий елеватор і три зірчасті турбінні сепаратори з автоматичним регулюванням частоти обертання. Коренеплоди транспортуються до бункера за допомогою шнека, встановленого всередині нього, а їх вивантаження здійснюється через спеціальний вивантажувальний транспортер. Для прискорення процесу подачі буряка передбачені приводні подовжні транспортери та поперечне скребкове дно, що забезпечує рівномірний рух коренів у бункері.

Комбайн обладнаний централізованою системою змащення, що полегшує обслуговування робочих вузлів. Кабіна водія виконана з високим рівнем комфорту та оснащена комп'ютером, який контролює потік коренеплодів, роботу гідросистеми та двигуна. Загальна місткість бункера становить 24 м³, а продуктивність комбайна сягає 1,5 га за годину, що забезпечує ефективну роботу на великих площах.

Інші бурякозбиральні комбайни.



Рисунок 2.5 – Бурыкозбиральні комбайни Matrot M2001, Matrot M41, M31, S30



Рисунок 2.6 – Бурыкозбиральні комбайни Grimme Maxtron 620



Рисунок 2.7 – Бурыкозбиральні комбайни фірми ROPA

Особливою конструктивною рисою комбайнів фірми ROPA є наявність спеціального розрівнюючого шнека в бункері (рис. 2.8). Цей шнек забезпечує рівномірне розподілення коренеплодів всередині бункера, що дозволяє повністю використовувати його об'єм і підвищує ефективність роботи машини.



Рисунок 2.8 – Бурякозбиральні комбайни фірми ROPA з розрівнюючим шнеком

2.2 Аналіз методів дослідження бурякозбиральних машин

Підбір конструкції робочих органів та схем розташування вузлів коренезбиральних машин значною мірою обумовлюється типом ґрунту, його вологісним режимом та рівнем урожайності коренеплодів.

Суттєві коливання умов роботи бурякозбиральних машин і обмежена адаптованість наявних конструкцій гичкозрізувальних, викопувальних і очисних робочих органів до таких змін не дозволяють підтримувати стабільні агротехнічні показники. Це особливо помітно при високих врожаях, надмірно сухому або вологому ґрунті, нерівномірному розташуванні коренеплодів у рядках, незадовільному стані гички та високій забур'яненості полів.

Збирання високоврожайних буряків (500–700 ц/га) супроводжується погіршенням якості зрізання гички та підбирання коренеплодів. Втрати коренів на поверхні ґрунту можуть досягати 6–12 %, а продуктивність шестирядних агрегатів знижується до 3,0–4,5 га/зміну. Значне підвищення вологості ґрунту до 24–28 % особливо наприкінці агротехнічного строку збирання може

зменшити ефективність роботи машини у 2–6 разів та погіршити якість виконання технологічних операцій.

Виконавчі робочі органи становлять ключову частину технічних вузлів коренезбиральних машин. Від їх конструктивної побудови, взаємного розташування з очисними механізмами та оптимального підбору технологічних параметрів відповідно до ґрунтово-кліматичних умов значною мірою залежить ефективність викопування коренеплодів, ступінь їх пошкодження та обсяги втрат.

Відповідно до агротехнічних вимог МСМ (Міжнародної системи машин), втрати коренеплодів цукрових буряків, що не були викопані або загублені під час виконання технологічного процесу, не повинні перевищувати 1,5% від загальної врожайності. Допустимий рівень забрудненості коренеплодів ґрунтом складає до 8%, при цьому максимально допустима частка легких пошкоджень (до глибини 5 мм) становить 20%, а важких пошкоджень (глибше 5 мм) – 5%.

На практиці загальні втрати значно перевищують нормативні показники і зазвичай складають 3–5%, а у важких умовах роботи можуть сягати понад 10%. Основними причинами таких втрат є конструктивні недоліки робочих органів, невідповідний вибір типу копача під конкретні умови та стан плантації, зокрема розташування коренеплодів у рядках.

До втрат, що виникають у процесі викопування, відносяться не викопані корені, падіння коренеплодів перед входом на очисні механізми, обрив хвостової частини, розрізання або дроблення коренів. Основні причини цих втрат включають недостатнє заглиблення копачів для конкретного стану ґрунту або, навпаки, надмірне заглиблення через глибокі корені, відхилення центральної осі копача від лінії рядка, природні відхилення коренів або зміщення через колеса трактора перед викопуванням, скупчення землі та коренеплодів на копачі, невідповідні відстані між елементами копача щодо розмірів коренів, неправильну конструкцію переходу від копача до очисного механізму та заглиблення окремих коренів у рельєфі поля.

Окрему групу втрат становлять пошкодження на очисних робочих органах. Проте і вони тісно пов'язані з роботою копачів, оскільки ефективність очищення безпосередньо залежить від обсягу ґрунту, що надходить разом із коренеплодами.

Слід зазначити, що обсяги втрат при застосуванні різних типів робочих органів значною мірою залежать від кількості рядків копача, способу його кріплення до рами, а також конструктивних особливостей сепаруючого вузла. Крім того, на втрати впливають швидкість руху машини, тип ґрунту та його вологість.

Аналіз причин виникнення втрат дозволяє виділити дві основні групи: перша пов'язана з технологічною якістю обробки поля, друга – з конструкцією копача та загальною компоновкою машини. Механічні процеси збирання цукрових буряків представляють собою складний комплекс технологічних і виробничих операцій, що включає викопування коренів, обрізку гички, очищення коренеплодів та їх завантаження разом із гичкою у транспортні засоби. Ці процеси визначають не лише характеристики врожаю, але й конструкцію робочих органів та компоновочно-технологічні схеми машин.

На сучасному етапі намітилась тенденція до створення енергомістких самохідних бурякозбиральних комбайнів, здатних охоплювати шість рядків одночасно при робочій швидкості 7–10 км/год для підвищення продуктивності та технологічної ефективності. Типові рішення включають ешелоноване розміщення робочих органів, використання несучої рами самохідної машини для монтажу всіх агрегатів, застосування керованих передніх коліс, а також оснащення машин бункерами-накопичувачами об'ємом 8–20 м³.

Водночас значні коливання умов роботи бурякозбиральних машин і обмежена пристосованість існуючих конструкцій гичкозрізувальних, викопувальних та очисних робочих органів до цих змін не дозволяють досягати стабільних агротехнічних показників. Це особливо помітно при високих врожаєх, різній вологості ґрунту, нерівномірному розташуванні коренеплодів у рядках, поганому стані гички та засміченості посівів.

Складнощі в удосконаленні робочих органів бурякозбиральних машин насамперед пов'язані з тим, що від них залежить якість обрізки гички на коренеплодах та ступінь забрудненості коренеплодів залишками гички, ґрунту й іншими рослинними рештками. Через динамічні властивості гичкозбиральних робочих органів робоча швидкість більшості відомих типів гичкорізальних машин обмежується 5,4–7 км/год. У деяких випадках підвищення якості обрізки і зменшення забрудненості коренеплодів досягається ціною небажаного збільшення втрат маси коренеплодів зі зрізаними головками – від 3–4 до 5–8% і більше.

Для поліпшення якості обрізки коренеплодів як в Україні, так і за кордоном бурякозбиральні машини обладнують роторними подрібнювачами для попереднього зрізання гички. Подальша обрізка головок здійснюється спрощеними пасивними ножами-дообрізниками, а доочистка коренеплодів роторним очисником дозволяє значно зменшити забрудненість маси коренів.

Особливу увагу приділяють підвищенню загального інженерно-технічного рівня конструкції бурякозбиральних машин: зниженню енергомісткості допоміжних та вібраційних вузлів, підвищенню коефіцієнта корисної дії та зносостійкості, а також забезпеченню комфортних умов праці механізатора.

Ці вимоги мають комплексний характер і охоплюють широкий спектр завдань конструкторського, технічного та організаційного рівня, що зводяться до єдиної проблеми – вдосконалення компоновочно-технологічних схем, робочих органів та ергономічних конструктивних елементів бурякозбиральних машин.

2.3 Обґрунтування параметрів при виборі шнека-розрівнювача

Основне призначення шнека-розрівнювача полягає в тому, щоб забезпечити рівномірне транспортування коренеплодів з зони вигризки поздовжнього транспортера, особливо коли бункер завантажений і коренеплоди під дією власної ваги не скочуються, а накопичуються в нижній частині бункера. Шнек примусово переміщує коренеплоди по ширині бункера, дозволяючи більш ефективно використовувати його об'єм. Крім того, він виконує додаткову очисну функцію, видаляючи залишки ґрунту з поверхні коренеплодів.

При підборі діаметра шнека, параметрів навивки та частоти обертання необхідно враховувати, що контактні напруження в коренеплодах під дією сил руху не повинні перевищувати допустимі значення для їх матеріалу. Це особливо важливо, оскільки в потоці можуть зустрічатися коренеплоди з різними розмірами, формою, а також різною вологістю і фізичними властивостями ґрунту під час збирання. Тому точне визначення оптимальних параметрів шнека ускладнене.

Вирішення цього завдання проводиться на основі конструктивних міркувань та з урахуванням технологічних обмежень. Оскільки до очисної функції навивки шнека не висуваються суворі вимоги, розрахунки виконуються виходячи з переміщення шнеком шару коренеплодів товщиною 1,5–2 кореня, що дозволяє мінімізувати пошкодження при транспортуванні.

Для розробки використано як аналог шнек-розрівнювач комбайна «Збруч» КС-6Б, який виконує подібні функції в бункері. Основною відмінністю є довжина вала та шнекової частини, яка підбирається індивідуально під умови нашого комбайна. Виходячи з потужності на погонний метр шнека, визначеної методом тензометрування в режимі експлуатації, буде розрахована необхідна потужність шнекового валу для ефективної роботи в бункері.

$$N = N_k \cdot L_m = 3.2 \text{ кВт} , \quad (2.1)$$

де N_k – потужність погонного метра шнека взято за аналог;

$L_m = 1,480$ м – довжина шнека, що впроваджується в метрах.

Отже, приймаємо діаметр шнека $D = 320$ мм, довжину шнекової частини $L_m = 1480$ мм., крок навивки $S = 770$ мм, внутрішній діаметр навивки спіралі $d = 133$ мм.

Прийнявши умовно, що шнек працює в русі, діаметр якого рівний зовнішньому діаметру спіралі шнека наближено визначимо продуктивність шнека по формулі [39, 41]

$$Q = 47,1 [D^2 - d^2] \cdot S \cdot \chi \cdot n \cdot \gamma \cdot c, \quad (2.2)$$

де – D – зовнішній діаметр спіралі шнека, $D = 320$ мм;

d – внутрішній діаметр спіралі шнека, $d = 133$ мм;

S – крок спіралі шнека, $S = 770$ мм;

χ – коефіцієнт заповнення шнека, враховуючи, що шнек розраховано для транспортування шару коренеплодів в 1,5...2 діаметра коренеплода, цей коефіцієнт приймаємо рівним 0,82;

$n = 96,11$ хв – кількість обертів шнека;

$\gamma = 0,6 \text{ т/м}^3$ – густина вороху коренеплодів;

c – коефіцієнт зниження, в залежності від кута нахилу витка спіралі шнека;

$c = 0,1$ (враховуючи відсутність жорсткого русла)

$$Q = 47,1 \cdot (0,32^2 - 0,133^2) \cdot 0,77 \cdot 0,82 \cdot 96,11 \cdot 0,6 \cdot 0,1 = 14,6 \text{ т/год}.$$

Беручи до уваги, що середня продуктивність машини становить близько 1 га за годину, а середня врожайність – 600 ц/га, параметри шнека розроблені таким чином, щоб ефективно транспортувати коренеплоди з зони завантаження позовжнього транспортера до віддалених ділянок бункера. Це забезпечує

рівномірне заповнення об'єму бункера та запобігає скупченню коренів у нижній його частині, зменшуючи ризик пошкодження коренеплодів під час накопичення.

2.4 Розрахунок привідної ланцюгової передачі приводу шнека-розрівнювача

Привід шнека – розрівнювача виконується від елементів трансмісії приводу транспортуючих і очисних органів встановлених в бункері за допомогою карданної передачі і ланцюгової передачі. Ведуча зірочка ланцюгової передачі встановлена на спеціальній опорі, привідна на валу шнека, який встановлено на даній конструкції бункера на під шнекових опорах. Розташування привідної зірочки консольне. Розрахунок проводимо згідно ОСТ23.2.472-84.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Назва параметру	Величина
1. Кількість валів в контурі, W	2
2. Кількість обертів ведучого вала, об/хв.	86
3. Кількість обертів веденого вала, об/хв.	96,11
4. Потужність на веденому валі N, кВт	3.2
5. Розрахунковий ресурс, T, год	1500
6. Коефіцієнт динамічності K_d	1,4
7. Умови експлуатації по запиленості	Запиленість повітря

Таблиця 2.2 – Розрахунок передачі [39]

Назва параметру	Розрахункова формула	Величина
1	2	3
ККД передачі η (мащення періодичне)	Табл. 1	0,93
Потужність, що передається N_1 , кВт	$N = \frac{N}{\eta}$	$N = \frac{3.2}{0.93} = 3.4$
Коефіцієнт рядності	Табл. 2	1
Коефіцієнт типу ланцюгової передачі, (для типу ПР), C_t	Табл. 3	1
Коефіцієнт регулювання натягу ланцюга C_H	Табл. 4	1
Коефіцієнт валів, C_v	$C_v = 0,9^{W-2}$ (ст. 11)	1
Передавальне число передачі, J_1	конструктивно	1,12
Число зубів ведучої зірочки, Z_1	конструктивно	19
Коефіцієнт викиду, C_i	Табл. 5	0,51
Число зубів веденої зірочки, Z_2	конструктивно	$Z_2 = 17$
Граничне збільшення середнього кроку ланцюга, Δt_{cse} , %	ОСТ 23.2.54-82	3
Ресурс еталонного ланцюга, T_e , год	Табл. 6	15000

Закінчення табл. 2.2

1	2	3
Коефіцієнт довговічності, Сд	$C_d = \sqrt[3]{\frac{T_e}{T}}$ (стор. 16)	2,2
Розрахункова потужність, кВт	$N_p = \frac{N_i}{C_p \cdot C_m \cdot C_i \cdot C_v \cdot C_d}$	$N_p = \frac{3,2}{1 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,5} = 4,7$
Коефіцієнт навантаження, Сс (v<4м/с)	Табл. 7	0,3
Таблична потужність для ланцюга при $n_1 = 86 \text{ хв}^{-1}$, кроку ланцюга t=25.4 мм	Табл. 8	4,78

Отже, при виборі ланцюга t=25,4 мм заданий ресурс гарантується, ($N_p < N_{25,4}$) уточнюємо швидкість ланцюга [39]

$$V = \frac{Z_1 \cdot t \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{19 \cdot 25,4 \cdot 86}{60 \cdot 1000} = 0,69 \text{ м/с}. \quad (2.3)$$

Так як прийняте співвідношення швидкостей виконано, то перерахунок потужності не проводиться, вибираємо приводний роликовий ланцюг ПРА 25,4-6000А.

3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Уточнений розрахунок тихохідного вала

Розрахункову модель шнека-розрівнювача подано на рисунку 3.1. Конструкція шнека-розрівнювача включає опорний вал, на якому закріплено шнековий робочий елемент. Вал спирається на підшипникові вузли, а на його кінці консольно змонтовано зірочку приводу.

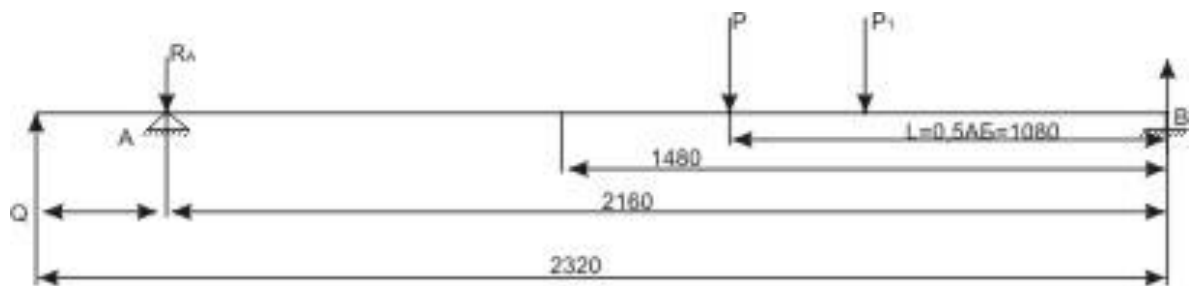


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Найбільше навантаження на шнекову частину вала виникає в момент його раптового блокування (заклинювання), наприклад, коли у ворох потрапляє камінь. Оскільки в приводі передбачено встановлення запобіжної муфти, сила, що передається від вороху на вал шнека, визначається величиною крутного моменту на цій муфті в момент її спрацювання. Найкритичніша ситуація спостерігається тоді, коли місце заклинювання розташоване в центральній частині вала між опорами підшипників і навантаження прикладається на зовнішньому радіусі спіралі шнека. Максимальне зусилля виникатиме тоді, коли прикладена сила R діє з боку, протилежного силі натягу ланцюгової передачі Q , причому обидві сили лежать в одній площині.

Отже, силу P знаходимо з умови рівноваги в момент заклинювання [34, 38]

$$P \cdot Z_{ш} = M_{кр} \quad (3.1)$$

де P – колова сила на діаметрі вальця в точці заклинювання;

$Z_{ш} = 160 \text{ мм}$ – радіус шнека;

$M_{кр}$ – крутний момент спрацьовування запобіжної муфти, приймаємо в 1,2 рази більше від номінального

$$M_{кр} = 1,2 M_{кр(ном)} = M_{кр.ном} = \frac{N_{ном}}{w}, \quad (3.2)$$

де $N_{ном} = 3,2 \text{ кВт}$ (з попереднього розрахунку);

$w = \frac{\pi n}{30}$, де $n = 96,11 \text{ хв}^{-1}$ (з попереднього розрахунку);

$$M_{кр.ном} = \frac{3,2 \cdot 30 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 96,11} = 318 \text{ Нм},$$

отже,

$$P = \frac{M_{кр}}{Z_{ш}} = \frac{1,2 \cdot 318}{0,16} = 2385 \text{ Н}. \quad (3.3)$$

При розрахунку P приводимо до вісі вала.

Визначимо зусилля на валу від дії ланцюгової передачі (зусиллям від дії ваги ланцюга нехтуємо)

$$Q = \frac{N_{роз} \cdot 10^3}{V} = \frac{3,2 \cdot 1,2 \cdot 10^3}{0,69} = 5565 \text{ Н}, \quad (3.4)$$

де $N_{роз} = 1,2 N_{ном}$, $V = 0,69 \text{ м/с}$ – з попереднього розрахунку.

Визначаємо опорні реакції від дії визначених сил [38]

$$\sum M_A = 0. \quad P \cdot 1080 - R_в \cdot 2160 \cdot Q \cdot 160 = 0,$$

$$R_B = \frac{5565 \cdot 160 + 2385 \cdot 1080}{2160} = 1604 H ; \quad (3.5)$$

$$\sum M_B = 0. \quad P \cdot 1080 - R_A \cdot 2160 - Q \cdot 2320 = 0, \quad (3.6)$$

$$R_A = \frac{5565 \cdot 2320 + 2385 \cdot 1080}{2160} = 4784 H .$$

Виходячи з попередніх розрахунків побудуємо опори поперечних сил, згинальних моментів і крутних моментів

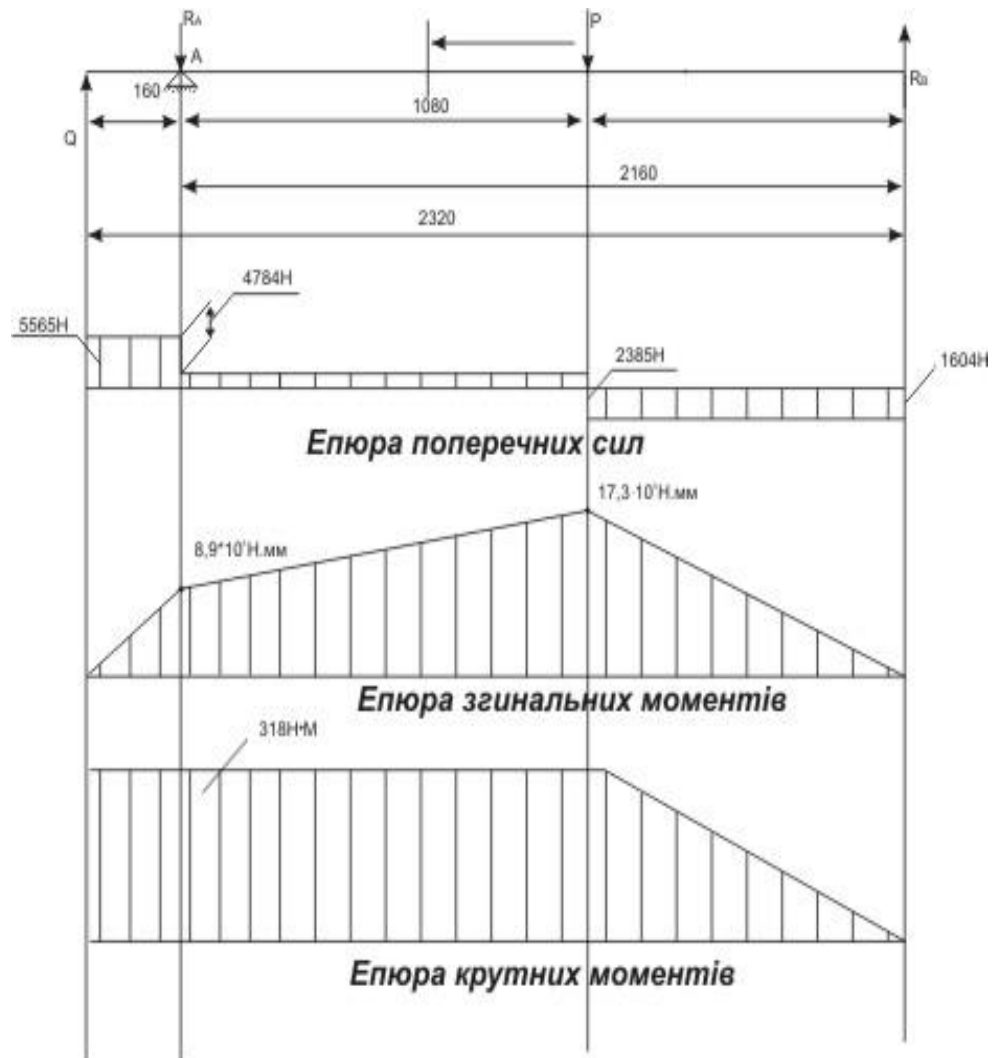


Рисунок 3.2 –Результати розрахунку вала

Еквівалентний момент за формулою [28, 34].

$$M_{екв} = \sqrt{M_{зг}^2 + M_{кр}^2} . \quad (3.7)$$

Небезпечним січенням вала є січення на консольній частині, де встановлена привідна зірочка.

Визначаємо діаметр вала на цій частині

$$M_{екв} = 93 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{93 \cdot 10^4}{0,1 \cdot 225}} = 35 \text{ мм}, \quad (3.8)$$

$$\text{де } [\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}.$$

Так як немає необхідності забезпечувати високу жорсткість вала, немає необхідності мати значний запас міцності, приймаємо $n=1,4$ для сталі 35

$$\sigma_T = 315 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2 \text{ тоді } [\sigma] = \frac{315}{1,4} = 225 \text{ Н} / \text{мм}^2$$

Остаточно приймаємо діаметр вала $d = 40 \text{ мм}$.

Границя витривалості для сталі 35 [39].

$$\begin{aligned} \text{При зміні } \sigma_{-1} &= 0,43[\sigma_B] = 0,43 \cdot 530 = 228 \text{ Н} / \text{мм}^2 \quad \text{при} \\ \tau_{-1} &= 0,58[\sigma_{-1}] = 0,58 \cdot 228 = 132 \text{ Н} / \text{мм}^2 / \end{aligned}$$

Нормальні напруження для розрахункового січення [38].

$$\sigma_a = [\sigma_{зг}] = \frac{M_{зг}}{W} = \frac{8,9 \cdot 10^5}{6280} = 141 \text{ Н} / \text{мм}^2$$

де W – момент опору січення

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 40^3}{32} = 6280 \text{ мм}^3. \quad (3.9)$$

Дотичні напруження від нульового циклу для перерізу [34].

$$\tau_m = \frac{M_{кр}}{2W_k} = \frac{318 \cdot 10^3}{2 \cdot 12560} = 12,6 \text{ Н / мм}^2,$$

де W_k – момент опору при крученні

$$W_k = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 40^3}{16} = 12560 \text{ мм}^3.$$

Ефективні коефіцієнти напружень приймаємо (відсутні значні концентратори) $K_b = 1$ $K_E = 1$.

Масштабні фактори для вала 40 [34].

$$E_\sigma = 0,85 \quad E_z = 0,73$$

Коефіцієнт, що враховують вплив постійної складової циклу для середньовуглицевих сталей [39].

$$\chi_Q = 0,2 \text{ і } \chi_E = 0,1, \sigma_m = 0.$$

Тоді коефіцієнт запасу міцності по нормальних напруженнях [38].

$$n_\sigma = \frac{\sigma - 1}{\frac{K_Q}{E_\sigma} \cdot \sigma_a + \chi_\sigma \cdot \tau_m} = \frac{228}{\frac{1}{0,85} \cdot 141 + 0,2 \cdot 12,6} = 1,36. \quad (3.10)$$

Коефіцієнт запасу міцності по дотичним напруженням [39].

$$n_E = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_E}{E_Z} \tau_m + \chi_E \cdot \tau_m} = \frac{132,0}{\frac{1}{0,73} \cdot 12,6 + 0,1 \cdot 12,6} = 7,17 \quad (3.11)$$

Загальний коефіцієнт запасу міцності

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_E}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_E^2}} = \frac{1,36 \cdot 7,17}{\sqrt{1,36^2 + 7,17^2}} = 1,35 \quad (3.12)$$

Отже, міцність забезпечено.

3.2 Вибір параметрів зварного шва при монтажі приводної цапфи

Вихідні дані для розрахунку:

1. Цапфа приварена до труби вала ГОСТ 144771-76-Т1-УП-Δ3 по діаметру 50 мм. Зварним швом передається крутний момент 381,6 Нм (з попереднього розрахунку). В даному випадку розрахунок ведеться для кільцевого шва напруженого крутним моментом.

Напруження зрізу $\tau_{M_{кр}}$ від крутного моменту $M_{кр}$ вираховуємо по формулі

$$\tau_{M_{кр}} = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq \tau_{y.ш}, \quad (3.13)$$

де W_p – номерний момент опору, $м^3$

$$W_p = \frac{\pi D^2 \beta h_{ш}}{2}, \quad (3.14)$$

де D – діаметр вала в місці приварки виражений в метрах;

$\tau_{y.ш}^{36}$ – допустиме напруження кругового шва, $\tau_{y.ш}^{36} = 90 \text{ МПа}$;

β – коефіцієнт, що враховує глибину проплавлення шва, для напівавтоматичної зварки в середовищі CO_2 при діаметрі зварювального дроту 1,4-2мм $\beta = 0,9$ для катетів від 3 до 9 мм [38].

Визначаємо полярний момент

$$W_p = \frac{(3,14 \cdot 0,05)^2 \cdot 0,9 \cdot 0,004}{6} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Напруження зрізу

$$\tau_{Mк} = \frac{381,6}{1,4 \cdot 10^{-5}} = 27,25 \cdot 10^4 \text{ Н / м}^2 < \tau_{y.ш}^{36}.$$

Враховуючи, що цифра при збиранні з трубою встановлюється зазором, для зміцнення з'єднання на трубі виконано 4 отвори по яких труба додатково приварюється до цапфи швом ГОСТ 44771-76-Н1-УП-Δ3 (електрозаклепки).

3.3 Розрахунок шпонкового з'єднання зірочки на валу шнека-розрівнювача

Вихідні дані:

Матеріал вала ст. 35-БГОСТ105/-73;

Матеріал зірочки сталь 40Х;

В з'єднанні встановлено шпонку призматичну 12х8х40;

Крутний момент, що передається шпонкою $M_{кр} = 381,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

Діаметр вала, де встановлено шпонку $d = 40 \text{ мм}$.

Напруження зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_{зм}} = \frac{2M_{кр}}{d \cdot 0,45hl_p} = \frac{2 \cdot 381,6 \cdot 10^3}{40 \cdot 0,45 \cdot 8(40 - 12)} = 189 \text{ Н} / \text{мм}^2 \quad (3.15)$$

при $[\sigma]_{зм} = 100 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$.

Отже, для передачі крутного моменту необхідно встановлення в з'єднанні двох діаметрально розташованих шпонок, або перехід до кріплення за допомогою шліцевого з'єднання.

Для двох діаметрально розташованих шпонок

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 381,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 40 \cdot 0,45 \cdot 8(40 - 12)} = 94,5 \text{ Н} / \text{мм}^2$$

Напруження зрізу (при умові встановлення 1 шпонки)

$$\tau_{Мк} = \frac{2M_{кр}}{d\ell} = \frac{2 \cdot 381,6 \cdot 10^3}{40 \cdot 12 \cdot 40} = 39,75 \text{ Н} / \text{мм}^2 \quad (3.16)$$

при $[\tau_{сп}] = 60 \text{ Н} / \text{мм}^2$

Умова міцності на зрізання забезпечується.

Отже, вибираємо дві діаметрально розташованих шпонки.

3.4 Обґрунтування вибору підшипників шнека-розрівнювача

Вихідні дані для розрахунку:

Кількість обертів валу; $n \approx 96 \text{ хв}^{-1}$

Радіальне навантаження найбільш навантаженого підшипника $R=4784\text{H}$ (з попереднього розрахунку вала шнека-розрівнювача). Враховуючи, що навантаження для розрахунку вала прийнято для пікового навантаження і приймаючи до уваги, що шнек при роботі машини включається в роботу тільки після завантаження приблизно 60% об'єму бункера і що його параметри конструктивні (кут нахилу витка на спіралі до осі валу 76°) і кінематичні вибрані з умов мінімального пошкодження коренеплодів при транспортуванні а також технологічні (транспортування шару коренеплодів в 1-1,5 коренеплода) – осьове навантаження приймаємо рівною 10% від радіального,

$$F_a = 0,1R = 0,1 \cdot 4784 = 478,4\text{H} .$$

Для вала вибираємо підшипники N208, характеристика підшипника: $C_r = 32\text{кН}$, $C_{oc} = 17,8\text{кН}$. Коефіцієнт обертання $V=1$, так як обертається внутрішнє кільце.

Коефіцієнт радіального навантаження для радіальних підшипників [39] $X=0,56$.

Коефіцієнт безпеки $K_b=1,3$.

Встановлена довговічність для підшипника (розрахункова виходячи з терміну служби машини і річного завантаження) $L_h=2500\text{год}$.

Визначаємо відношення

$$\frac{Fa}{V \cdot R} = \frac{478,4}{1 \cdot 4784} = 0,01. \quad (3.17)$$

Визначаємо відношення

$$\frac{Fa}{C_{оч}} = \frac{478,4}{17,8 \cdot 10^3} = 0,02. \quad (3.18)$$

За [39] знаходимо $e=0.21$ $Y=2.1$.

По відношенню $\frac{Fa}{VR} \leq e$ вибираємо формулу і визначаємо еквівалентне динамічне навантаження підшипника

$$R_E = VR_{ч} R_{ч} \cdot K_T, \quad (3.20)$$

$$R_E = 1 \cdot 4784 \cdot 1,3 \cdot 1 = 6219 H.$$

Визначаємо динамічну вантажопідйомність підшипника по формулі [39]

$$C_{гp} = R_E \sqrt[3]{573 \omega \frac{Lh}{10^6}} = 6219 \sqrt[3]{573 \cdot 10,05 \frac{2500}{10^6}} = 15547,5 H < C_{ч}, \quad (3.21)$$

де $\omega = \frac{\pi}{30} = \frac{3.14 \cdot 96}{30} = 10,05 c^{-1}$ – кутова швидкість обертання вала.

Визначаємо довговічність підшипника

$$L_{10h} = \frac{10^6}{573 \omega} \left(\frac{C_{ч}}{R_E} \right)^3 = \frac{10^6}{573 \cdot 10,05} \left(\frac{32 \cdot 10^3}{4784} \right)^3 = 51831 год > L_h.$$

Отже підшипник задовольняє вимоги по динамічній вантажопідйомності і довговічності.

3.5 Розрахунок міцності витка шнека та кулачкової запобіжної муфти приводу

Значні навантаження на виток шнекової спіралі можливі тільки в аварійних ситуаціях при попаданні в бункер сторонніх предметів (наприклад каміння значних розмірів), що приведе до заклинювання і спрацювання запобіжної муфти. Зусилля, що діятиме в цей момент на виток спіралі прийнято рівним коловому зусиллю, що діє в момент спрацювання запобіжної муфти і прикладене до краю витка спіралі з попереднього розрахунку $P=2385\text{Н}$.

Розрахуємо на згин виток шнека прийнявши наближено лінію згину розташовану по хорді на відстані внутрішнього радіуса спіралі шнека від осі шнека на проекції витка шнека на площині перпендикулярній вісі валу шнека, $L_x=292\text{мм}$, товщина витка спіралі $t=5\text{мм}$, матеріал спіралі шнека ст.3.

Визначимо плече прикладення сили P

$$h = Z_{\text{зов}} - Z_{\text{вв}} = 320 / 2 - 133 / 2 = 94\text{мм}, \quad (3.22)$$

Згинальний момент від дії сили P

$$M_{\text{зг}} = P \cdot h = 2385 \cdot 94 = 224190\text{Н} \cdot \text{мм}. \quad (3.23)$$

Напруження, що виникають при дії сили

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.24)$$

де W – момент опору перерізу по якому виникає згин

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,292 \cdot 0,005^2}{6} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

тоді

$$\sigma_{зг} = \frac{224,1 \cdot 10^6}{12 \cdot 10^{-6}} = 18,6 \cdot \text{МПа},$$

для ст. 3 $[\sigma] = 52 \text{ МПа}$.

Умову міцності виконано.

Муфта запобіжника приводу шнека-розрівнювача встановлена на валу спеціальної опори. Муфта складається з двох напівмуфт, які мають торцеві кулачки, стискної пружини, зірочки, шліцеві втулки, шайби, тарілочки, гайок, за допомогою яких регулюється зусилля стиснення напівмуфт.

Зірочка з'єднана з однією з напівмуфт, яка кулачками з'єднана з шліцевою втулкою, яка за допомогою шліцевого з'єднання з валом і має можливість переміщуватись в осьовому напрямку по валу.

Під дією зусилля пружини шліцева втулка притискає напівмуфту, стискаючи їхні внутрішні поверхні.

Крутний момент на який відрегульована муфта $M_{кр} = 318,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (з попереднього розрахунку).

Розміри шліцевого з'єднання елементів муфти 6х32х38.

При коротких перевантаженнях шестерня на кулачках і в шліцевому з'єднанні шліцевої втулки перешкоджають розмиканні муфти. Силу, з якою стискається пружина знаходимо з умови рівноваги рухомої напівмуфти

$$F_{np} = \frac{2M_{кр}}{D_c} \left[\operatorname{tg}(\alpha - \varphi) - \frac{D_c \cdot t}{d} \right], \quad (3.25)$$

де $M_{кр}$ – розрахунковий крутний момент опрацювання запобіжної муфти;
 α – кут профілю кулачка, $\alpha=60^\circ$ для даної муфти, $\varphi=6^\circ$ – кут тертя між кулачками [38],

тоді

$$F_{nn} = \frac{381,6 \cdot 2}{0,076} \left[\operatorname{tg}(60 - 6^\circ) - \frac{0,076 \cdot 0,15}{0,032} \right] = 10223 \text{ Н}.$$

де d – внутрішній діаметр шліцевого отвору, $d=32\text{мм}$, $f=0,15$ – коефіцієнт тертя в шліцевому отворі, $D_c=0,076\text{м}$ - середній діаметр розташування кулачків.

При довготривалих перевантаженнях сили тертя зникають по причині коливань, в цьому випадку

$$F_{np} = 2M_{кр} \operatorname{tg} \alpha / D_c = \frac{2 \cdot 381,6 \cdot \operatorname{tg} 60^\circ}{0,76} = 17370 \text{ Н} . \quad (3.26)$$

Сила тиску пружини не повинна різко змінюватись на початку і в кінці спрацювання муфти.

Отже розрахункова робоча сила тиску пружини $F_{np} = 11380 \text{ Н}$.

Критерієм працездатності кулачкових муфт є статична міцність і довговічність кулачків по контактним напруженням і згину.

Умовний тиск, при умові рівномірного завантаження всіх кулачків

$$P = 2M_{кр} / D_c \cdot Z \cdot v_k \cdot h \leq [P], \quad (3.27)$$

де $Z=12$ – кількість кулачків напівмуфт,

$v_k=20\text{мм}$ – довжина зуба,

$h=6\text{мм}$ – висота зуба,

тоді

$$P = \frac{2 \cdot 318,6 \cdot 10^{-6}}{0,076 \cdot 12 \cdot 0,02 \cdot 0,006} = 6,87 \text{ МПа}.$$

Напівмуфти виконані з сталі 20Х з цементацією глибиною 1...1,5мм, гартування з відпуском з забезпеченням $\sigma_m = 400 \text{ МПа}$, $\sigma_\epsilon = 600 \text{ МПа}$, твердістю серцевини $HRC = 20...40$, твердість поверхні зубів $HRC = 57...63$, допустиме напруження при гартованих поверхнях зубів $[P]=80...120 \text{ МПа}$.

Отже, умови контактного тиску на поверхнях кулачків виконано.

Напруження згину біля основи кулачків, для випадку прикладення сили до вершини кулачків (при неповному виключенні)

$$\sigma_{32} = 2M_{kp} \cdot h / Dc \cdot Z \cdot W \leq \frac{\sigma_T}{n}, \quad (3.28)$$

де κ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілення напруги між кулачками, приймаємо $\kappa = 3$;

n – коефіцієнт запасу, приймаємо $n = 2,5$;

W – момент опору небезпечного перерізу кулачка при основі, $вк=20 \text{ мм}$, висота $h=6 \text{ мм}$

тоді

$$W = \frac{\kappa h^2}{6} = \frac{0,02 \cdot 0,006}{6} = 12 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Тоді

$$\sigma_{32} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 81,6 \cdot 0,006 \cdot 10^{-6}}{0,076 \cdot 12 \cdot 10^{-8}} = 125 \text{ МПа}.$$

Допустиме значення напруження згину для сталі 20Х з прийнятою термообробкою $\frac{\sigma_T}{n} = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ МПа}$.

Отже, $\frac{\sigma_T}{n} > \sigma_{32}$, умови міцності на згин виконано.

3.6 Розрахунок шліцевого з'єднання вала і втулки запобіжної муфти приводу шнека-розрівнювача

Проводимо провір очний розрахунок шліцевого з'єднання виконаного згідно ГОСТ 1139-58 з номінальними розмірами 8х32х38.

Вихідні дані для розрахунку.

Допустимий розрахунковий крутний момент $M_{кр}=381,6 Н \cdot М$ (з попереднього розрахунку).

Розрахункова частота обертів $n = 86 хв^{-1}$ (з попереднього розрахунків).

Матеріал робочих поверхонь Ст40Х, термообробка покращення, HRC28, змащування періодичне, середнє, навантаження з поштовхами, більшу частину часу з'єднання працює з середніми навантаженнями.

Довжина шліцевого з'єднання $\ell = 45 мм$. Так як в з'єднанні тільки крутний момент, то згідно загальних положень [34] визначаємо умовний сумарний статичний момент площі робочих поверхонь з'єднання відносно осі

$$\text{вала } S_F = 308 \frac{мм^3}{мм}.$$

Середній діаметр шліцевого з'єднання

$$d_{сер} = 35 мм.$$

Розрахунок на зминання ведемо по [14].

$$\sigma = \frac{381,6 \cdot 2000}{308 \cdot 45} = 27,53 МПа.$$

$$[\sigma]_{з.м} = \frac{\sigma_T}{n \cdot K_{зм} \cdot K_D}. \quad (3.29)$$

Для прийнятої в розрахунку Сталі 40Х при вказаній термообробці $\sigma_T = 550 \text{ МПа}$.

Коефіцієнт запасу міцності при розрахунку на змінання приймаємо $n=1,4$.

Загальний коефіцієнт концентрації напружень при розрахунку на змінання $K_{zm} = K_z \cdot K_{np} \cdot K_n$ [34].

Для з'єднання, напруженого тільки крутним моментом коефіцієнт нерівномірності розподілення навантаження між зубами $K_z = 1$ [39].

Коефіцієнт поздовжньої концентрації напружень (по довжині з'єднання)

$$K_{np} = K_{nr},$$

де K_{nr} – коефіцієнт концентрації навантаження від закруглення вала в залежності від відношення розмірів ℓ і D шліцевого з'єднання.

$$\frac{\ell}{D} = \frac{45}{38} = 1,18$$

Приймаємо $K_{nr} = 1,5$ табл. 3 [39]

Коефіцієнт змінності навантаження при роботі при роботі з середніми навантаженнями $K_n = 0,57$ табл. 5 [39]

$$\text{Коефіцієнт динамічного навантаження } K_d = \frac{M_{кр\max}}{M_{кр}} = 1,2 \quad (3)$$

попереднього розрахунку)

$$[\sigma]_{zm} = \frac{55}{1,4 \cdot 0,855 \cdot 1,2} = 38,29 \text{ МПа}.$$

З'єднання задовольняє умові міцності на змінання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці та вимоги техніки безпеки при експлуатації бурякозбиральних комбайнів

Експлуатація бурякозбиральних комбайнів пов'язана з підвищеним рівнем небезпеки через складність конструкції, наявність великої кількості рухомих елементів, значні маси та потужність агрегатів, а також умови роботи в полі. Тому питання охорони праці та дотримання вимог безпеки регламентуються чинною нормативною базою України, зокрема Законом України «Про охорону праці», Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві, ДСТУ, технічними регламентами та інструкціями з експлуатації конкретних моделей машин. Дотримання цих вимог є обов'язковим для всіх працівників, задіяних у процесі збирання цукрових буряків.

Загальні вимоги охорони праці.

Перед початком роботи з бурякозбиральним комбайном оператор повинен пройти відповідне навчання і перевірку знань відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05, а також пройти медичний огляд. Особа, яка допущена до роботи з комбайном, повинна знати конструкцію машини, принцип її дії, правила технічного обслуговування та заходи безпеки. Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівника засобами індивідуального захисту відповідно до НПАОП 0.00-3.07-09 і створити умови для безпечного виконання робіт.

До роботи на комбайні не допускаються працівники молодші 18 років, особи у стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння, а також ті, що не пройшли інструктаж із техніки безпеки. Перед початком зміни оператор повинен переконатися в справності всіх агрегатів, гальмівної системи, рульового керування, світлової та звукової сигналізації, а також у відсутності сторонніх предметів у робочих зонах.

Вимоги безпеки під час підготовки комбайна до роботи.

Усі роботи з технічного обслуговування комбайна мають виконуватися на рівній поверхні з обов'язковим вимкненням двигуна та постановкою машини на стоянкове гальмо. Забороняється виконувати ремонтні роботи за ввімкненого двигуна, окрім

випадків, передбачених заводською інструкцією.

Відповідно до вимог ДСТУ та НПАОП щодо машин для сільськогосподарських робіт, перед запуском комбайна необхідно провести перевірку кріплень робочих органів, ремінних і ланцюгових передач, стану гідравлічних шлангів та рівня робочих рідин. Не допускається експлуатація комбайна з пошкодженими захисними кожухами, відкритими зонами обертання валів чи транспортерів. Усі захисні пристрої повинні бути встановлені згідно з технічними умовами виробника.

Вимоги безпеки під час роботи на полі.

Під час руху комбайна оператор повинен суворо дотримуватися інструкції з експлуатації та встановлених технологічних швидкостей. На робочому місці комбайнера має бути забезпечена повна оглядовість, а кабіна повинна відповідати нормам безпеки, зокрема мати захисну конструкцію та систему фільтрації повітря.

Поля, призначені для збирання буряків, повинні бути попередньо оглянуті на наявність сторонніх предметів, великих каменів, металобрухту чи інших об'єктів, здатних пошкодити робочі органи комбайна. Працівники, задіяні в супроводі машини, повинні перебувати поза зоною дії робочих органів і не наближатися до комбайна під час руху менш ніж на 10 метрів.

Операторові заборонено залишати робоче місце під час руху машини, виконувати розвороти на значних уклонах та працювати на перезволожених ділянках поля, що може спричинити прослизання або перевертання комбайна. У нічний час робота допускається лише за наявності достатнього освітлення, справних фар та сигнальних приладів.

Вимоги безпеки під час усунення забивань і несправностей.

У процесі роботи можливе забивання робочих органів ворохом буряків, ґрунтом чи рослинними рештками. Згідно з вимогами НПАОП забороняється намагатись усунути забивання вручну під час роботи механізмів. Оператор повинен повністю зупинити комбайн, вимкнути двигун, вимкнути запалювання, зняти тиск у гідросистемі (якщо це передбачено конструкцією), після чого можна виконувати очищення.

Особливу небезпеку становлять обертові ножі, елеватори та шнеки, тому роботи

з очищення потрібно проводити лише за допомогою спеціальних інструментів. Забороняється використовувати руки або підлазити під підняті гідравлікою частини комбайна без додаткових механічних підпірок.

У разі виникнення стороннього шуму, вібрації чи падіння продуктивності оператор повинен негайно зупинити роботу та виявити причину. Подальша експлуатація несправної машини категорично заборонена.

Вимоги до транспортування та зберігання.

Під час транспортування комбайн повинен перебувати у складеному та зафіксованому стані. Робочі органи мають бути підняті та заблоковані згідно з технічною документацією. Забороняється перевозити людей на комбайні або на причіпних елементах.

Зберігання комбайна повинно здійснюватися в спеціально обладнаних приміщеннях або під накриттям із дотриманням вимог пожежної безпеки. У місцях стоянки необхідно забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння та відсутність джерел відкритого вогню.

Пожежна безпека.

Бурякозбиральні комбайни працюють із застосуванням пального, мастильних матеріалів та гідравлічних рідин, що створює ризик займання. Відповідно до Правил пожежної безпеки в агропромислових господарствах, комбайн повинен бути оснащений вогнегасником з обов'язковою щорічною перевіркою його придатності.

Під час заправлення заборонено використовувати відкритий вогонь, курити поблизу машини, а також заправляти бак при працюючому двигуні. У разі виникнення загоряння оператор повинен негайно знеструмити електросистему, зупинити двигун і застосувати вогнегасник.

Вимоги безпеки щодо електрообладнання та гідросистеми.

Дії оператора мають відповідати вимогам ДСТУ щодо експлуатації електрообладнання сільськогосподарських машин. Усі кабелі, клеми та контакти повинні бути надійно ізольовані. Забороняється торкатися оголених проводів або виконувати ремонт електросистеми без вимкнення джерела живлення.

Гідросистема комбайна працює під високим тиском, тому обслуговування

шлангів, фітингів та насосів можливе лише після повного стравлювання тиску. Потрапляння гідравлічної рідини під шкіру є надзвичайно небезпечним і вимагає негайної медичної допомоги.

Заключні положення.

Дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації бурякозбиральних комбайнів є ключовим чинником зниження травматизму та підвищення ефективності збирання врожаю. Своєчасний контроль технічного стану машини, правильна організація робочого процесу, підготовка персоналу та виконання норм українського законодавства забезпечують безпечну та продуктивну роботу на всіх етапах експлуатації комбайнів.

4.2 Надзвичайні ситуації та способи їх уникнення при експлуатації бурякозбиральних машин

Експлуатація бурякозбиральних машин є важливим етапом технологічного процесу збирання цукрових буряків, який пов'язаний із підвищеними ризиками виникнення надзвичайних ситуацій. Надзвичайні ситуації під час роботи таких машин можуть призводити до травмування персоналу, пошкодження техніки, втрат урожаю та негативного впливу на навколишнє середовище. В Україні питання охорони праці та безпеки під час роботи з сільськогосподарською технікою регламентуються рядом нормативних документів, серед яких Закон України «Про охорону праці» (№ 2694-VIII), Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН 5.5.6.037-2005), Інструкції з безпеки при експлуатації сільськогосподарських машин та механізмів, затверджені Міністерством аграрної політики, а також відповідні Державні стандарти України (ДСТУ) щодо технічного обслуговування та експлуатації спеціалізованої техніки.

Надзвичайні ситуації при експлуатації бурякозбиральних машин зазвичай класифікуються за типами та характером прояву. Однією з найпоширеніших

категорій є механічні пошкодження. Вони виникають у разі контакту обертових елементів машин із сторонніми предметами, неправильного регулювання робочих органів або перевантаження техніки. Часто це призводить до виходу з ладу шнеків, ножів, транспортерів або редукторів. Уникнути таких ситуацій можна шляхом регулярного технічного огляду машин, перевірки стану робочих органів перед початком роботи та дотримання встановлених норм завантаження. Важливим аспектом є забезпечення безпеки працівників шляхом встановлення захисних кожухів, обмежувачів доступу до обертових елементів та застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як рукавички, каски та спецодяг.

Важливе місце серед надзвичайних ситуацій займають травмування та аварії, пов'язані з рухом техніки. Бурякозбиральні машини, працюючи на полях з високою врожайністю або на схилах, можуть перекидатися, врізатися в перешкоди або стикатися з іншими транспортними засобами. Відповідно до правил дорожнього руху та внутрішніх нормативних документів агропідприємств, водії повинні мати відповідну категорію та проходити регулярні інструктажі з безпечного керування технікою. Крім того, перед початком роботи обов'язковою є оцінка рельєфу поля, визначення небезпечних зон та забезпечення достатньої видимості робочого простору. Всі маневри на полі повинні виконуватися згідно з розробленими технологічними картами руху машин, що значно зменшує ризик аварій.

Важливим аспектом є також небезпека, пов'язана з експлуатацією машин у складних кліматичних умовах. Підвищена вологість ґрунту, заморозки, пил або інтенсивні опади можуть призводити до зниження ефективності роботи техніки та створювати додаткові ризики для операторів. Відповідно до ДСанПіН та галузевих інструкцій, необхідно здійснювати оцінку стану ґрунту та погодних умов перед початком роботи, регулювати швидкість руху машин, а також використовувати спеціальні пристрої для зменшення утворення пилу та запобігання забрудненню робочих механізмів.

Запобігання надзвичайним ситуаціям при роботі з бурякозбиральними

машинами базується на комплексному підході, який включає організаційні, технічні та навчально-інформаційні заходи. Організаційні заходи передбачають правильне планування робіт, визначення відповідальних осіб, контроль дотримання правил експлуатації та ведення журналів технічного стану машин. Технічні заходи включають своєчасне обслуговування, модернізацію захисних систем, встановлення сигналізацій та блокувань, які перешкоджають роботі в аварійних режимах. Навчально-інформаційні заходи полягають у проведенні регулярних інструктажів, навчальних тренінгів з безпеки, роз'яснення працівникам можливих небезпек та алгоритмів дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Таким чином, зниження ризику надзвичайних ситуацій при експлуатації бурякозбиральних машин можливе лише за умови комплексного дотримання нормативних вимог та рекомендацій. В Україні законодавчо встановлені обов'язкові правила охорони праці, технічного обслуговування, експлуатації та навчання персоналу, виконання яких забезпечує безпечну роботу, збереження техніки та мінімізацію втрат врожаю. Водночас постійний контроль стану машин, підготовка працівників до дій у надзвичайних ситуаціях, своєчасне оновлення інструкцій і впровадження нових технічних засобів безпеки є ключовими елементами превентивного підходу у сучасному сільському господарстві. Такий системний підхід дозволяє значно зменшити кількість аварій, травм та матеріальних втрат під час збирання цукрових буряків, що має важливе значення для забезпечення безпеки працівників та стабільності виробничого процесу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При проведенні досліджень заповненості бункера комбайна КС-6Б-10 „Тернопіль” було встановлено, що він заповнюється неповністю, а точніше, на 60%. Дану проблему, було прийняте рішення, вирішити шляхом встановлення додаткового шнека-розрівнювача.

При розробці даного пристрою за аналог вибрано шнек розрівнювач комбайна «Збруч» КС-6Б який виконує аналогічні функції в його бункері, відмінною буде в нашому випадку довжина вала а також його шнекової частини, в нашому випадку ця довжина $L_m = 1480$ мм . Виходячи з величини потужності на 1 погонний метр вище згаданого шнека, встановленої в режимі експлуатації тензометруванням, визначено потужність на шнековому валу, що є в межах 3,2 кВт.

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Параметри шнека: діаметр шнека $D=320$ мм, довжина шнекової частини $L_m = 1480$ мм ., крок навивки $S = 770$ мм, внутрішній діаметр навивки спіралі $d = 133$ мм;

продуктивність шнека становить 14,6 т/год;

вибрано приводний роликовий ланцюг ПРА 25,4-6000А для приводу шнека;

число зубів ведучої зірочки - 19;

число зубів ведучої зірочки – 17;

передавальне число передачі – 1.12;

швидкість ланцюга - 0,69 м/с;

коефіцієнт запасу міцності по нормальних напруженнях для вала шнека становить 1,36, коефіцієнт запасу міцності по дотичних напруженнях 7,17, загальний коефіцієнт запасу міцності – 1,35;

міцність зварних швів приварки цапф вала забезпечується;

на валу шнека в з'єднанні із зірочкою необхідно встановити дві

діаметрально розміщені шпонки призматичні перетином 12x8x40;

для вибраних підшипників N208 вала шнека ресурс забезпечується;

при товщині витка спіралі $t=5\text{ мм}$ її міцність забезпечується;

при розрахункові елементів запобіжної муфти, міцність її елементів забезпечується;

із розрахунку болтового з'єднання корпусів підшипників, вибираємо болт М14 з сталі 40, що допускає при заданих умовах осьове навантаження 13кН.

У кваліфікаційній роботі у розділі «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» пророблені питання з охорони праці та вимоги техніки безпеки при експлуатації бурякозбиральних комбайнів, а також розглянуті надзвичайні ситуації та способи їх уникнення при експлуатації бурякозбиральних машин.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I.Ya., and Matviiv Yu.Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56. No. 1, July, 2020. P. 112–118.
2. Andreikiv, O.Y., Dolinska, I.Y., Babii, A.V. et al. Residual life of the folded bimetal plate taking into account degradation of materials at high temperature and under long-term loading. *Mater Sci* 60, 650–656 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00932-9>.
3. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I.,Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, P. 36-42. (ISSN 24523216, DOI 10.1016/j.prostr.2021.12.080).
4. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
5. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
6. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 98. No 2. P. 99–109.
7. Babii A., Babii M. Impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU*, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
8. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч.ІІ. С. 165-174.
9. Babii A., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian*

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

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

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

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

13. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.

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

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

16. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. Materials Science, 2021, 56(4), P. 466–471.

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

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

19. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

20. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.

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

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

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

24. 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.

25. 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.

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

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. Блащак Б.О., Онофріук В.І. Обґрунтування ефективності посадочного апарата барабанного типу. Матеріали XIII міжнар. наук.-техн. конф.

«Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Зб. тез доповідей. м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р. Тернопіль: ТНТУ, 2025. С.26-27.

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

32. Вовк І.В., Бабій А.В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.96-97.

33. Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні : монографія / Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, Р. М. Рогатинський, С. В. Синій та ін. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2020. 216 с.

34. 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.

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

36. 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.

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

38. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. К.:Вища

школа, 1974. 304 с.

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

40. 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.

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

42. 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.

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

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

Додатки