

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: **Обґрунтування параметрів завантажувального транспортера з**
метою підвищення продуктивності коренезбиральної машини

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

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Жук Н. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

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

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів завантажувального
транспортера з метою підвищення продуктивності коренезбиральної машини

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 1,8 га/год; кількість рядків, що
викопуються – 6; ширина міжрядь - 450 ± 30 мм; об'єм бункера-накопичувача – 10 м³; робоча
швидкість на основних операціях – 11 км/год; потужність дизеля – 140 кВт

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

Вступ. 1. Загально-технічний розділ: Особливості вирощування та збирання цукрових буряків; Огляд
технічних засобів для збирання цукрового буряка; Обґрунтування теми та завдань кваліфікаційної роботи.

2. Аналітико-дослідницький розділ: Аналіз експлуатаційних характеристик базової конструкції
коренезбирального комбайна; Визначення необхідної продуктивності транспортера; Розрахунок навантаження
приводу вдосконаленого транспортера; Попередній розрахунок приводного валу і його компоновка

3. Прєктно-рекомендаційний розділ: Уточнений розрахунок тихохідного вала; Розрахунок вала на
втомну міцність; Проектування й перевірка на міцність шпонкових з'єднань; Підбір підшипників кочення і
перевірка їх довговічності

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях: Заходи охорони праці при механізованому
збиранні цукрових буряків; Надзвичайні ситуації, що виникають при механізованому збиранні цукрових
буряків. Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; функціональна схема бурякозбирального комбайна КС-6Б-10; транспортер
приймальний; транспортер нижній; боковинка ліва; вал в зборі; 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	20.11.25	
2.	Аналітико–дослідницький розділ	30.11.25	
3.	Проектно-рекомендаційний розділ	10.12.25	
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)

Жук Н.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабій А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Мета і завдання дослідження.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення продуктивності та ефективності процесу збирання цукрових буряків шляхом конструктивного вдосконалення транспортної системи коренезбирального комбайна. Для досягнення поставленої мети в роботі виконано аналіз сучасних технологій і технічних засобів збирання буряків, досліджено експлуатаційні характеристики базової конструкції комбайна КС-6Б, визначено необхідну продуктивність транспортера, виконано розрахунок навантажень приводу та елементів конструкції, а також обґрунтовано параметри вдосконаленого транспортера з урахуванням умов реальної експлуатації.

Об'єктом дослідження є технологічний процес механізованого збирання цукрових буряків коренезбиральними комбайнами бункерного типу в умовах аграрних підприємств України.

Предметом дослідження є конструктивні та кінематичні параметри транспортера коренезбирального комбайна, а також силові й енергетичні характеристики його приводу, що впливають на рівномірність заповнення бункера, продуктивність машини та надійність роботи вузлів.

Наукова цінність роботи полягає в обґрунтуванні раціональних параметрів удосконаленого транспортера коренезбирального комбайна з урахуванням реальних агрофізичних умов збирання цукрових буряків. У роботі систематизовано вплив продуктивності транспортуючих органів на ефективність заповнення бункера та розроблено інженерний підхід до підвищення продуктивності комбайна без істотного збільшення його масо-габаритних показників і енерговитрат.

Практична цінність роботи полягає в можливості використання запропонованих конструктивних рішень під час модернізації серійних коренезбиральних комбайнів типу КС-6Б. Впровадження додаткового транспортера дозволяє підвищити ступінь заповнення бункера з 40% до 80%, що забезпечує зростання продуктивності машини, зниження витрат пального та зменшення ущільнення ґрунту. Отримані результати можуть бути використані в проєктно-конструкторській практиці та при вдосконаленні вітчизняної бурякозбиральної техніки.

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

Ключові слова. Технологічний процес, продуктивність, коренеплоди, шнек, транспортер, цукрові буряки.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Особливості вирощування та збирання цукрових буряків	9
1.2 Огляд технічних засобів для збирання цукрового буряка	17
1.3 Обґрунтування теми та завдань кваліфікаційної роботи	22
2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	24
2.1 Аналіз експлуатаційних характеристик базової конструкції коренезбирального комбайна	24
2.2 Визначення необхідної продуктивності транспортера.....	28
2.3 Розрахунок навантаження приводу вдосконаленого транспортера	30
2.4 Попередній розрахунок приводного валу і його компоновка.....	36
3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	38
3.1 Уточнений розрахунок тихохідного вала	38
3.2 Розрахунок вала на втомну міцність	46
3.3 Проектування й перевірка на міцність шпонкових з'єднань	50
3.4. Підбір підшипників кочення і перевірка їх довговічності	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1 Заходи охорони праці при механізованому збиранні цукрових буряків.....	54
4.2 Надзвичайні ситуації, що виникають при механізованому збиранні цукрових буряків.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ВСТУП

Вирощування цукрових буряків традиційно займає вагоме місце в аграрному секторі України, формуючи важливу складову національної продовольчої та економічної безпеки. Ця культура є ключовою сировиною для виробництва цукру – стратегічного продукту, який стабільно залишається затребуваним як на внутрішньому ринку, так і в експортних операціях. Упродовж останніх десятиліть українська цукрова галузь переживала суттєві трансформації, пов'язані з змінами структури землекористування, оновленням технологій вирощування та збирання, модернізацією переробних підприємств і адаптацією виробників до умов глобальної конкуренції. Незважаючи на ці виклики, потенціал України для вирощування цукрових буряків залишається одним із найвищих у Європі завдяки родючим ґрунтам, сприятливим кліматичним умовам та накопиченому практичному досвіду аграріїв.

Разом із тим ефективність галузі значною мірою визначається не лише біологічним потенціалом культури, а й рівнем технічного забезпечення виробництва. В останні роки все гостріше відчувається потреба у підвищенні продуктивності машинно-тракторного парку, зокрема спеціалізованих коренезбиральних комплексів. Саме етап збирання коренеплодів традиційно є одним із найскладніших, оскільки характеризується підвищеною матеріалоємністю, значною енерговитратністю та високими вимогами до якості виконуваних операцій. Від ефективності коренезбиральних машин залежить не лише рівень втрат урожаю, а й ступінь пошкодження буряків, їх забрудненість, можливість тривалого зберігання і, відповідно, загальний економічний результат виробництва.

У сучасних умовах, коли конкуренція на світових аграрних ринках посилюється, а вимоги до виробничих технологій стають жорсткішими, українські підприємства змушені шукати шляхи підвищення продуктивності технічних засобів, скорочення експлуатаційних витрат та оптимізації логістичних процесів. Вагому роль у цих процесах відіграє модернізація

коренезбиральних машин, які мають забезпечувати високу швидкість руху, мінімізувати втрати коренів, ефективно очищати їх від домішок і працювати стабільно навіть за складних ґрунтово-кліматичних умов. На ринку представлена значна кількість імпортних високопродуктивних машин, однак їх висока вартість та складність обслуговування стимулюють інтерес до вдосконалення вітчизняних моделей, пошуку інженерних рішень щодо зменшення енерговитрат, підвищення надійності агрегатів та покращення ергономіки роботи оператора.

Проблема підвищення продуктивності коренезбиральних машин охоплює цілий комплекс технічних, організаційних та технологічних аспектів. До основних завдань належать оптимізація конструкцій робочих органів, які забезпечують підкопування, виймання та первинне очищення коренеплодів; удосконалення систем транспортування та доочищення буряків у машині; підвищення адаптивності техніки до різних типів ґрунтів і неоднорідності посівів; зниження витрат пального та покращення керованості агрегату. Особливої актуальності ці питання набувають у зв'язку з тенденціями до зростання середніх площ полів, укрупнення господарств та переходу до інтенсивних технологій вирощування, що висувають підвищені вимоги до продуктивності та надійності сільськогосподарських машин.

Успішність розвитку цукрової галузі України в перспективі буде визначатися здатністю виробників інтегрувати сучасні технічні рішення та технології у процес вирощування та збирання буряків. Вони дозволяють не лише підвищити техніко-економічні показники роботи існуючих агрегатів, а й сформувати науково-технічний фундамент для створення нових поколінь машин, що відповідатимуть сучасним світовим стандартам.

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Особливості вирощування та збирання цукрових буряків

Сільськогосподарські підприємства, що спеціалізуються на вирощуванні цукрових буряків, потребують достатнього рівня технічного оснащення, передусім – сучасної та надійної вітчизняної збиральної техніки. Це зумовлено тим, що умови збирання бурякової сировини в Україні істотно відрізняються від європейських: урожайність культури може коливатися в дуже широких межах – від 100 до 600 ц/га коренеплодів і від 50 до 700 ц/га гички. Навіть у межах одного поля щільність ґрунту на початку збиральної кампанії часто сягає 40–50 кг/см², а вологість зростає до 30–35% ближче до завершення робіт. Такі неоднорідні умови істотно ускладнюють процес збирання та висувають підвищені вимоги до конструкції й надійності машин.

Додатковою складністю є надзвичайно стислий період, протягом якого потрібно провести всі збиральні операції. У більшості регіонів України цей термін обмежується лише 18–20 робочими днями, що потребує від техніки максимальної продуктивності, безвідмовності та здатності працювати в інтенсивному режимі.

Разом з тим вітчизняні підприємства сільськогосподарського машинобудування нині не можуть у повному обсязі забезпечити потребу аграрного сектору в сучасних бурякозбиральних машинах. Обмежені фінансові можливості сільгоспвиробників сприяли активному завезенню на внутрішній ринок уживаної іноземної техніки, що створило нерівні умови конкуренції та призвело до поступового скорочення продажів машин українського виробництва.

У таких умовах одним із ключових напрямів розвитку галузі є посилення фінансової підтримки виробників сільськогосподарської техніки. Йдеться про збільшення бюджетного фінансування, стимулювання інвестиційних програм, розвиток механізмів фінансового лізингу та зниження вартості кредитних

ресурсів для підприємств машинобудування. Реалізація цих заходів може забезпечити оновлення виробничих потужностей, створення конкурентоспроможних зразків бурякозбиральної техніки та зменшення залежності аграріїв України від імпортних машин. Особливої актуальності сьогодні набуває модернізація та оновлення бурякозбиральної техніки. Український ринок машин для збирання цукрових буряків тривалий час формувався переважно за рахунок застарілих вітчизняних агрегатів, продуктивність яких уже не відповідає сучасним вимогам аграрного виробництва. У реальних умовах це призводить до значних втрат урожаю, нестабільності роботи та підвищених витрат на технічне обслуговування.

Упродовж останніх років спостерігається тенденція активного імпорту бурякозбиральної техніки з-за кордону. Переважно на українські підприємства надходять машини, що вже були в експлуатації. Виробники з Німеччини, Бельгії та Франції значно розширили свою присутність в Україні: створюють офіційні представництва, організовують торговельні майданчики, налагоджують сервісні центри. Серед техніки, яка найчастіше з'являється на внутрішньому ринку, переважають машини відомих компаній «Holmer», «Ropa», «Kleine». Доволі активно діють також представники фірм «Matrot» і «Moreau».

Таке домінування імпоротної техніки пояснюється тим, що українські машинобудівні підприємства наразі не виробляють комбайнів аналогічного класу, здатних конкурувати за продуктивністю й надійністю. Тому розроблення й впровадження сучасних вітчизняних коренезбиральних машин є першочерговим завданням для галузі, адже без цього неможливо забезпечити технологічну незалежність і стабільність бурякового виробництва.

Ефективність роботи бурякозбиральних машин визначається сукупною дією багатьох агрофізичних та експлуатаційних чинників. До них належать фізичний стан ґрунту, його структурний тип, рельєф поля, розміри ділянок, особливості росту та врожайності буряків. Цукровий буряк до моменту збирання має характерний конусоподібний головний корінь, від якого на

відстань 25–30 см відходять бічні корінці. Основний запас цукру, що становить 95–97%, зосереджений у тілі коренеплоду; саме його розміри визначають технічну довжину кореня l_t . Нижня – хвостова – частина кореня врослає в ґрунт на глибину понад один метр, і під час збирання вона зазвичай обламується на рівні діаметра 8–10 мм, залишаючись у землі.

Листкова маса представлена гичкою, що утворює своєрідну чашоподібну структуру з 10–30 великих листків. Просторове розташування коренеплодів у ґрунті описується шириною міжряддя B , відстанню між рослинами в рядку (кроком c) та висотою розміщення головки h відносно поверхні ґрунту. Міжряддя визначає габарити й компонування окремих робочих органів машини, а також впливає на її прохідність. З точки зору експлуатації більш зручним вважається ширше міжряддя – 60 см і більше. Крок c та висота h визначають режим роботи підкопувальних і різальних органів, адже корені потрібно як правильно підважити, так і акуратно обрізати головки.

Маса одного коренеплоду змінюється в дуже широких межах – від 0,2 кг до 5 кг, що також позначається на зусиллях, які мають прикладатися до їх вилучення з ґрунту.

Особливу увагу серед агрофізичних характеристик привертають зусилля зв'язку кореня з ґрунтом, міцність гички та тимчасовий опір коренеплоду згину. Саме ці параметри мають ключове значення при конструюванні робочих органів машин, призначених для підкопування й витягування буряків. У більшості випадків зусилля, необхідне для вилучення непідкопаного кореня, дорівнює або перевищує силу, при якій відбувається відрив гички. На практиці це означає, що за гичку можна витягнути лише 40–50% коренеплодів, тоді як у решті випадків вона обривається.

Підкопування значно полегшує процес збирання: воно розпушує ґрунт, відокремлює бічні корінці та хвостову частину, завдяки чому необхідне зусилля для витягування коренеплоду різко зменшується. Саме тому правильний вибір конструкції підкопувального органа і оптимізація його роботи є одним із визначальних чинників ефективності бурякозбиральної машини.

Агрономічні параметри цукрових буряків істотно варіюють залежно від умов вирощування, зокрема від того, чи обробляється плантація за поливної технології, чи без неї. На неполивних ділянках ширина міжрядь зазвичай становить 450–600 мм, тоді як за поливу вона дещо збільшується й може досягати 600–640 мм. Аналогічно змінюється і відстань між рослинами в рядку: без поливу корені розташовані з інтервалом приблизно 200–300 мм, на поливних же площах цей показник зростає до 250–350 мм, що забезпечує кращий розвиток рослин за умов підвищеної вологості.

Головка коренеплоду над поверхнею ґрунту також має різне положення залежно від способу вирощування. На ділянках без поливу вона піднімається над ґрунтом лише на 15–20 мм, тоді як за поливної технології головка розташована вище – на 20–35 мм. Водночас загальна довжина коренеплоду практично не залежить від умов вирощування і становить у середньому від 1200 до 1600 мм.

Діаметр кореня на неполивних полях зазвичай сягає близько 80 мм, а на зрошуваних збільшується до 85–100 мм, що свідчить про інтенсивніший ріст. Технічна довжина коренеплоду, яка є важливою для роботи коренезбиральних машин, становить приблизно 220 мм для неполивних площ і може збільшуватися до 250–300 мм за поливу.

Висота зрізу головки також варіює: на ділянках без поливу її обрізають на рівні 8–12 мм, тоді як на поливних полях допустима висота зрізу становить 10–20 мм. Стеблова частина рослини має довжину 300–400 мм у сухіших умовах і помітно подовжується – до 400–600 мм – за регулярного зрошення. Пучок гички відповідно збільшується в діаметрі: із 50–60 мм на неполивних ділянках до 70–90 мм на поливних.

Маса рослин також демонструє чітку залежність від умов вирощування. Один коренеплід на неполивному полі зазвичай важить 0,4–0,6 кг, тоді як на поливному – дещо більше, 0,5–0,8 кг. Маса гички зростає відповідно: від 0,3–0,5 кг у сухих умовах до 0,5–0,9 кг за зрошення.

Попри різницю у розмірах та масі, щільність коренів залишається

відносно сталою й становить 550–650 кг/м³ незалежно від умов вирощування. Щільність гички також практично не змінюється – близько 140–160 кг/м³.

Найбільш суттєво полив впливає на урожайність. На неполивних ділянках вона становить у середньому 250–350 ц/га, тоді як на поливних може зростати до 400–550 ц/га, що підкреслює ефективність зрошення для інтенсифікації виробництва цукрових буряків.

Корені цукрових буряків відзначаються невисокою стійкістю до згинальних навантажень, унаслідок чого під час роботи викопувальних та гичкорізальних механізмів вони легко тріскаються, сколюються або ламаються. Особливо інтенсивно пошкодження з'являються тоді, коли коренеплід падає з висоти близько півтора метра, що еквівалентно ударній швидкості приблизно 5,4 м/с.

Процес збору бурякових коренеплодів залишається однією з найважчих і найзатратніших агротехнічних операцій. Ситуація ще більше ускладнюється, коли строки збирання зміщуються, а ґрунт стає надто вологим (до 26–30%) або надмірно ущільненим (3,5–4,5 МПа). За таких умов техніка працює з меншим запасом надійності, а продуктивність агрегатів істотно падає. Серійні коренезбиральні машини при цьому можуть пошкоджувати до 60% викопаних коренеплодів, а ступінь їх забрудненості землею інколи перевищує 40%.

Підвищення якості збирання буряків – це складне комплексне завдання, яке вимагає розроблення нових конструктивних підходів до створення робочих органів машин та оптимізації їх компоновки. Наукове обґрунтування технологічних параметрів, розрахунки, експериментальні дослідження та подальший аналіз результатів мають стати основою для визначення найефективніших характеристик сучасних бурякозбиральних агрегатів.

Загальна схема збирання коренеплодів передбачає низку взаємопов'язаних операцій: підкопування кореня, його піднімання з ґрунту, видалення або підрізання головки, очищення від налиплого ґрунту та залишків гички, усунення бічних корінців і хвостової частини, а також завантаження в транспортні засоби. Залежно від технології збирання ці операції можуть

виконуватися однією машиною або цілим комплексом технічних засобів.

На сьогодні застосовують чотири основні способи збирання буряків: ручний, комбайновий, поточний та перевалочний.

Ручне збирання передбачає використання спеціальних підйомників, що лише порушують зв'язок кореня з ґрунтом, а всі інші дії виконуються вручну. Цей спосіб є найбільш трудомістким і застосовується лише у ситуаціях, коли машинне збирання технічно неможливе.

Комбайновий метод полягає у виконанні основних операцій однією машиною – комбайном, який викопує корінь, зрізає головку та здійснює первинне очищення. Однак перед подачею на склад або переробку корені потребують додаткового доведення, яке здійснюється вручну або очищувально-навантажувальними механізмами. Недоліком цього способу є те, що корені певний час можуть залишатися на полі у валках або купах без накриття.

Найперспективнішим на сьогодні вважається поточний спосіб, за якого корені та гичку одразу з машин завантажують у транспорт і без затримок направляють до місця зберігання або використання. Він дає змогу мінімізувати втрати, зменшити трудомісткість робіт та завершити кампанію у стислі терміни. Поточне збирання може бути однофазним – коли комбайн оснащений очисними та навантажувальними системами, а також агрегатами для збору гички, або двофазним – коли окремі машини виконують зрізування гички та добування коренів.

Перевалочний спосіб є проміжним варіантом між комбайнковою та поточною технологіями. Корені не везуть одразу на приймальний пункт, а доставляють на спеціально підготовлені майданчики поряд із полем. Тут їх складають у кагати, з яких згодом забирають очищувально-навантажувальні машини. Такий спосіб дає змогу швидко звільнити поле та не потребує великої кількості транспорту, хоча за рівнем трудомісткості він займає проміжне положення.

Перевага перевалочної технології полягає у можливості оперативно виконати збір урожаю й забезпечити своєчасний перехід до післязбирального

обробітку ґрунту, що особливо важливо в умовах коротких агротехнічних термінів.

У ряді європейських країн, особливо у Франції, поширені більш складні, багатофазні системи збирання цукрових буряків. Там застосовується триступенева технологічна схема, у межах якої окремі операції виконуються різними машинами. На першому етапі зрізують коронку коренеплоду, на другому – викопують буряк і формують великі валки, зазвичай об'єднуючи продукцію з шести рядків. Заключна фаза передбачає підбирання коренеплодів, їх доочищення та завантаження у транспорт. В окремих випадках, коли рослини мають надмірно розвинену гичку, процес зрізування головки поділяють на дві операції: спочатку роторними механізмами зрізають верхню частину гички, а вже потім спеціальні дообрізчики формують точний зріз кореневого чубка. Такий підхід дає змогу помітно підвищити рівень якості оброблення коронки.

Застосування бурякозбиральних комбайнів або шестирядних машинних комплексів у виробничих умовах супроводжується дотриманням низки важливих агротехнічних норм. Основна вимога полягає в повному вилученні коренеплодів із ґрунту: у полі допускається не більше одного відсотка буряків, що залишилися невибраними, та не більше п'яти відсотків втрат на поверхні. Система зрізування гички має забезпечувати таку якість оброблення головки, щоб корені могли бути доставлені на переробку без додаткової ручної очистки; при цьому вміст зеленої маси у воросі не повинен перевищувати трьох відсотків.

Площина зрізу головки повинна бути рівною, без викришування і надмірного видалення цукроносної маси. Допустимі втрати при цій операції становлять не більше п'яти відсотків, що досягається за умови, що зріз проходить на рівні основи стеблових утворень гички і не вище двосантиметрової ділянки над верхівкою коренеплоду. Частка коренеплодів, на яких після зрізування збереглися стебельця довжиною понад 2 см, не повинна перевищувати п'яти відсотків. Якщо ж гичку видаляють без урахування положення сплячих вічок, втрати цукроносної маси можуть збільшитися до 13–

21% залежно від діаметра коренеплоду.

Гичка, яка збирається окремо, має бути мінімально забрудненою ґрунтом – не більше одного відсотка, а її втрати не повинні перевищувати п'яти відсотків від загального врожаю. Рівень пошкодження самих коренеплодів у процесі збирання також регламентується: частка травмованих не повинна перевищувати 20%, зокрема сильно пошкоджених – не більше п'яти відсотків.

Під час роботи з гичкою машини повинні забезпечувати очищення головок коренеплодів від залишків рослинності та видалення з міжрядь рослинних домішок. Допускається укладання цих решток у центральну частину міжряддя, якщо це не впливає на подальші операції.

У разі застосування перевалочного способу збирання корені тимчасово складають у польові кагати, розміри яких стандартизовані. Для роботи буряконавантажувачів ширина основи кагату має становити близько 1,9–2,1 м, а висота – до 1 м. Машини для підбирання коренів повинні забезпечувати вилучення з таких кагатів не менше 99% кондиційного вороху. Після доочистки навантажувачами рівень забруднення не має перевищувати п'яти відсотків, а місткість рослинних домішок – одного відсотка, навіть якщо початковий ворох був засмічений значно більше. Частка сильно пошкоджених коренеплодів під час цієї операції не повинна перевищувати трьох відсотків.

Бурякозбиральний комбайн типу КБ-6 виконує повний комплекс технологічних процесів: від зрізування гички та доочистки головок до підкопування, вилучення коренів з ґрунту, їх очищення, транспортування та завантаження у транспортні засоби. Така універсальність дозволяє істотно скоротити трудомісткість збирання, забезпечити сталість якості робіт і зменшити втрати врожаю під час виконання польових операцій.

1.2 Огляд технічних засобів для збирання цукрового буряка

Самохідний бурякозбиральний комбайн Holmer належить до високопродуктивних машин нового покоління. Він оснащений потужним двигуном MAN D2876LF03, що розвиває 338 кВт, завдяки чому машина здатна працювати стабільно навіть у важких польових умовах. Привід на передню та задню осі здійснюється через механічну трансмісію, що працює у взаємодії з двошвидкісною розподільною коробкою передач, керованою гідравлікою. Передня вісь виконана у порталному планетарному варіанті, задня – також планетарна; обидві осі мають керовані колеса та гальма, а також обладнані поперечним блокуванням диференціалів, що підвищує прохідність та стійкість машини.

У передній частині комбайна встановлено роторний гичкоріз, який забезпечує зрізування гички з автоматичним підтриманням заданої висоти по всіх ножах. Усі налаштування виконуються безпосередньо з кабіни оператора. Для точного формування головки передбачено систему дообрізування, що працює на основі спеціальних ножів-дообрізчиків; висота зрізу також керується дистанційно. Зрізана гичка може або рівномірно розкидатись по поверхні поля, або подаватися на транспортний засіб для подальшого використання чи вивезення.

Гичкоріз і копальний апарат закріплені до рами комбайна через шарнірну систему підвіски, завдяки чому вони здатні точно копіювати рельєф ґрунту. Це забезпечує високоякісне викопування коренеплодів і мінімізацію втрат. Витягування буряків із ґрунту здійснюється підкопуючими віброштовпачами з автоматичним регулюванням глибини ходу. Ширина міжрядь може бути швидко переналаштована під різні схеми сівби – 45, 48, 50 або 60 см.

Очисний комплекс комбайна включає шість довгих та два коротких шнекові вали, реверсивний сепаруючий елеватор і три зірчасті турбіни, що мають автоматичне регулювання швидкості обертання. Після проходження через очисні системи коренеплоди подаються у місткий бункер об'ємом 24 м³.

Усередині бункера працює шнек для переміщення буряків, а для їх швидкого та повного вивантаження передбачено поздовжні транспортери та поперечне скребкове дно. Передача коренів у транспортні засоби здійснюється вивантажувальним транспортером високої продуктивності.

Комбайн обладнаний централізованою системою мащення, що значно спрощує технічне обслуговування. Простора та комфортна кабіна оснащена бортовим комп'ютером, який контролює роботу двигуна, гідросистем, а також стежить за завантаженням і рухом потоку коренеплодів. За сприятливих умов продуктивність машини може досягати 1,5 га за годину, що робить її однією з найефективніших у своєму класі.

Бурякозбиральний комбайн V 202 від компанії *STOLL* вирізняється компактністю та водночас достатньою потужністю для роботи на середніх і великих площах. Конструкція машини передбачає ширину корпусу близько трьох метрів, висоту майже чотири метри та довжину приблизно 5,9 метра, що забезпечує стабільність руху і зручність експлуатації у стандартних польових умовах.

Маса агрегату без навантаження становить близько 3,96 тонни, що дає змогу ефективно працювати на різних типах ґрунтів без надмірного їх ущільнення. Комбайн оснащений бункером місткістю близько десяти кубічних метрів, що відповідає вантажопідйомності близько 6,2 тонни, а ширина бункера сягає приблизно 1,65 метра. Завдяки цьому машина здатна накопичувати значний обсяг коренеплодів без частих зупинок на розвантаження.

Ширина колії варіюється в межах 2,5–2,7 метра, що дозволяє адаптувати техніку до різних схем висіву буряків. Висота, на яку комбайн може перевантажувати зібрані корені, змінюється від 1,65 до 3,75 метра, забезпечуючи можливість працювати з різними типами транспортних засобів.

У транспортному режимі машина здатна розвивати швидкість до 25 км/год, що спрощує її переміщення між полями та господарськими ділянками. За зміну комбайн може якісно обробити від трьох до чотирьох гектарів, що робить його один із конкурентоспроможних варіантів для господарств, які

прагнуть стабільної продуктивності.

Самохідний бурякозбиральний комбайн *Kleine SF-10* компанії *Kleine* створений за концепцією, що передбачає максимальне розмежування процесів викопування коренеплодів і їх транспортування. Машина обладнана великим бункером місткістю близько 9 т, у який тимчасово накопичуються викопані корені. Завдяки цьому з'являється можливість передавати зібраний урожай безпосередньо у транспортні засоби, що рухаються поруч або під'їжджають при заповненні бункера. Відсутність необхідності здійснювати постійні розвантажувальні рейси комбайна до місця складування суттєво підвищує його змінну продуктивність. Додатковою перевагою є те, що значний запас вантажності дозволяє працювати без супроводу транспортних засобів по полю, що фактично економить один автомобіль на логістичних операціях.

Комбайн оснащено потужним дизельним двигуном *Volvo Penta* на 210 кВт. Передня вісь виконана у вигляді порталного моста з механічною трансмісією, на якому змонтовано поворотний круг із кутом обертання 60°. Задня вісь нерухома, також з механічною передачею, але доповнена гідравлічними стабілізаторами, що забезпечують рівномірний розподіл навантаження при роботі на нерівному рельєфі. Кут повороту задніх коліс становить 45°, що істотно підвищує маневреність машини на обмежених ділянках.

Гідростатична трансмісія з триступеневим редуктором дозволяє плавно регулювати швидкість у кожному з діапазонів як під час руху вперед, так і під час зворотного ходу. Конструкцією передбачено декілька режимів рульового керування: керування лише задніми колесами, керування всіма колесами, режим бокового (так званого “крабового”) ходу, а також автоматичний варіант із контролем задньої осі. При включеній автоматичній системі рульового керування передня вісь також може підрулювати, що сприяє стабільності руху на схилах. Щойно оператор втручається в керування через рульове колесо, система автоматично перемикає управління на задні колеса. Завдяки такій гнучкій схемі керування, малому міжосьовому розміру 3,82 м та значному куту

повороту задньої осі комбайн демонструє відмінну маневреність.

Машина оснащена великими шинами: спереду – 710/70R38, ззаду – 700/50-26,5, які забезпечують низький питомий тиск на ґрунт та знижують його ущільнення. Об'єм паливного бака становить 610 літрів, чого достатньо для безперервної роботи протягом усього робочого дня без дозаправки.

Зрізання гички та викопування коренеплодів здійснюється агрегатами, розташованими перед колесами передньої осі, що працюють за принципом «поштовхової» системи. Гичкоріз і копач у конструкції відокремлені. Гичкоріз обладнано валом подрібнення, шнековим транспортером для відведення гички, гичкошвирялкою з можливістю регулювання дальності відкидання, а також валом очищення й полозковим копірним дообрізчиком. Оператор може змінювати товщину та висоту обрізування прямо з кабіни, що дозволяє адаптуватися до різного стану рослин та умов поля.

Віброкопач приводиться в дію від ексцентрикового вала, який створює бічні коливання з амплітудою близько 30 мм, забезпечуючи самостійне ведення робочих органів по центру рядка. Далі корені подаються транспортерним валом на валковий механізм, що працює від циліндричних зубчастих передач та має реверсивний режим нормалізації подачі.

Завдяки продуманій конструкції, багаторежимному керуванню, високій маневреності та автономності Kleine SF-10 займає значне місце серед сучасних коренезбиральних машин, демонструючи здатність ефективно працювати у складних польових умовах та забезпечувати високу якість збирання врожаю.

Усі робочі вузли гичкоріза та копача обладнані гідроприводом, що забезпечує точне і плавне керування їх роботою. Регулювання глибини викопування та автоматичне бокове вирівнювання гичкоріза й копача на схилах виконується без втручання оператора, що підвищує стабільність процесу та якість роботи.

Комбайн оснащено ефективною системою очищення, що включає п'ять роторних турбінних очисників. Валковий очисник та роторні турбінні очисники змонтовані на рамі, яка шарнірно кріпиться перед задньою віссю та може

підніматися або опускатися перед переднім мостом за допомогою двох гідроциліндрів.

Після проходження через валковий очисник потік буряків розподіляється між двома роторними турбінними очисниками, що обертаються в однаковому напрямку, а далі знову об'єднується для подальшої передачі на наступні етапи очищення. Завдяки великій довжині шляху обробки забезпечується інтенсивне очищення коренів із мінімальними пошкодженнями.

Швидкість обертання валкового механізму та турбінних очисників регулюється безступінчато за допомогою гідроприводу, що дозволяє адаптувати роботу агрегатів під різні умови поля та стан коренеплодів. Для проміжного зберігання комбайн обладнано спеціальним бункером, який можна розвантажувати як у рухомий транспорт, так і безпосередньо на польові кагати, що забезпечує гнучкість у логістиці та знижує простой під час роботи.

Бурякозбиральний комбайн СФ-10 від компанії *Kleine* поєднує у собі високі технічні показники та продуману конструкцію для ефективного збирання коренеплодів на великих площах. Довжина машини становить близько 10 м, а ширина залежить від обраного міжряддя – при міжрядді 45 см ширина агрегату сягає 3,15 м, а при 50 см – 3,30 м. Висота комбайна складає приблизно 3,8 м, а вага – 13,9 тонни, що забезпечує стійкість на полі та мінімальний ризик перекидання при роботі на нерівних ділянках.

Передні колеса обладнані шинами розміру 710/70R38, задні – 700/50-26,5, що дозволяє знизити питомий тиск на ґрунт і запобігти його ущільненню. Міжосьова відстань комбайна дорівнює 3,82 м, що у поєднанні з порталним переднім мостом і нерухомим заднім мостом забезпечує достатню маневреність. Передній міст обладнаний поворотним кругом, що дозволяє керувати напрямком руху, а задній міст підтримує різні режими рульового керування: лише задні колеса, всі колеса у «собачому ході» та автоматичне рульове управління через сенсорну систему для точного наводження на рядки.

Привід ведучих коліс реалізовано через гідростатичну систему з триступеневим редуктором, що дозволяє безступінчато регулювати швидкість

руху вперед та назад: перший діапазон – 0–6 км/год, другий – 0–12 км/год. Потужність двигуна Volvo Penta TWd1030ME становить 285 к.с., а об'єм паливного бака дорівнює 710 літрів, що забезпечує автономну роботу протягом усього дня.

Комбайн обладнаний великим бункером місткістю 13,5 куб.м, який дозволяє накопичувати значний обсяг зібраних коренеплодів та перевантажувати їх на транспортні засоби на висоту від 2,5 до 4,3 м при ширині перевантаження 1,4 м. Гідравлічні приводи керують усіма основними агрегатами, включно з валом подрібнювача, валом очисника, гичкошвирилкою, роторними очисниками та елеватором, що забезпечує безперервну та ефективну роботу всіх вузлів.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку бурякозбиральних машин свідчать про необхідність наявності об'ємного бункера при оптимальному розподілі тиску на ґрунт. Цей досвід слід враховувати при проектуванні вітчизняних коренезбиральних машин, щоб забезпечити високу продуктивність та збереження якості врожаю.

1.3 Обґрунтування теми та завдань кваліфікаційної роботи

Сучасні зарубіжні бурякозбиральні комбайни відзначаються низкою суттєвих переваг, що робить їх привабливими для великих агропідприємств. До основних переваг належать зниження витрат на обробку одного гектара, можливість виконання збирання на розворотних та просічних смугах без залучення додаткового транспорту, висока експлуатаційна надійність та маневреність, а також зручний огляд усього потоку коренеплодів з кабіни водія. Завдяки впровадженій "Системі КЛЯЙНЕ з штовханням" забезпечується ефективна обрізка гички та викопування коренів, що гарантує високу якість збирання та інтенсивну очистку навіть при мінімальних пошкодженнях буряків.

Проте дослідження та випробування деяких комбайнів, зокрема моделі

КБС-6, виявили ряд недоліків, які знижують їхню ефективність. Зокрема, експериментально встановлено, що бункер КБС-6 заповнюється лише на 40% від своєї місткості, що безпосередньо впливає на продуктивність та призводить до додаткових витрат пального на транспортування буряків, а також до надмірного ущільнення ґрунту. Такі обмеження роблять комбайн менш ефективним і вказують на необхідність конструктивного вдосконалення.

Щоб усунути цей недолік, було проведено аналіз конструкції КБС-6 та розроблено рішення у вигляді встановлення додаткового транспортера, який направляє буряки до центру бункера. Після модернізації бункер став заповнюватися на 80%, що практично подвоїло ефективну продуктивність комбайна. Крім того, оптимізація процесу збору дозволила знизити витрати на обробку одного гектара та скоротити втрати пального, що позитивно вплинуло на економічні показники роботи агропідприємства.

2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз експлуатаційних характеристик базової конструкції коренезбирального комбайна

Самохідний бурякозбиральний комбайн КБС-6 розроблений для реалізації однофазної технології збору цукрових буряків, що ілюструє рис. 2.1. Конструкція комбайна включає шасі з потужною гідравлічною системою приводу ходової частини, апарат для зрізання гички, механізм підбирання коренів, систему автоматичного керування рухом, а також комплекс автоматичних сигналізацій для контролю процесу роботи.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд бункерного самохідного комбайна КБС-6

Шасі комбайна включає несучу раму, на яку спираються ведучі та керовані мости коліс, силовий агрегат, а також платформу водія з кабіною. Крім того, шасі оснащене комплексом електричних і гідравлічних систем, що забезпечують живлення та управління усіма механізмами машини.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд коренезбиральної машини бункерного типу КБ-6

Підбирач коренів комбайна включає викопувальний механізм, поздовжній транспортер, кільцевий транспортер, бункер та вивантажувальний транспортер. Основні вузли підбирача – поздовжній і кільцевий транспортери, бункер та вантажний транспортер – змонтовані безпосередньо на основній рамі машини. Копачі та шнековий очисник встановлені на окремій рамі, яка приєднана до несучої рами шасі через один шаровий шарнір. Під час роботи, коли копачі занурені в ґрунт, рама опирається на кронштейни, що спираються на міст керованих коліс, а при транспортуванні її утримує гідроциліндр і фіксує механічний замок.

Комбайн оснащено автоматичною системою контролю, яка відстежує роботу основних вузлів і повідомляє водія про будь-які відхилення в їх роботі, а також автоматичним керуванням рухом. Капоти та захисні щитки забезпечують безпечну експлуатацію машини та зручний доступ до агрегатів для огляду, обслуговування та ремонту.

Коренезбиральні самохідні машини на базі КС-6Б включають шасі з об'ємним гідроприводом ходової частини, підбирач коренів, транспортуючі механізми для завантаження коренеплодів у транспортні засоби, автомат керування, систему автоматичної сигналізації та гідравлічну систему для

управління робочими органами машини. Така конструкція забезпечує високу ефективність і зручність в роботі, а також надійний контроль усіх процесів збирання буряків.

Шасі коренезбиральних машин побудоване на основі несучої рами, яка спирається на ведучі та керовані мости коліс. На рамі розташовані силовий агрегат, платформа водія з кабіною, а також електрична та гідравлічна системи, що забезпечують живлення і керування усіма механізмами машини.

Підбирач коренеплодів складається з викопувального механізму – який може бути дисковим, вильчатим із віброкопачами або пасивним диск-лемішем – поздовжнього транспортера, бункера та вивантажувального транспортера. Основні вузли підбирача, такі як поздовжній транспортер, бункер та вивантажувальний транспортер, закріплені на основній рамі, тоді як копачі та шнековий очисник змонтовані на окремій рамі, яка приєднана до несучої через шарнір.

Під час роботи, коли копачі заглиблені в ґрунт, викопувальний пристрій опирається кронштейнами на міст керованих коліс, а під час транспортування його утримує гідроциліндр і фіксує механічний замок.

На машинах, побудованих на базі КС-6Б, збирання буряків може здійснюватися потоковим або перевалочним способом, що визначається розташуванням плантацій від цукрового заводу та наявністю транспортних засобів у господарстві. Передній гичкозбиральний агрегат, який навішується на машину, зрізає гичку з шести рядків, очищає її від домішок землі та завантажує у транспортні засоби, забезпечуючи ефективне проведення технологічного процесу збору врожаю.

Коренезбиральна машина КС-6Б належить до шестирядних агрегатів, конструкція яких орієнтована на роботу в стандартних бурякових міжряддях. Її робоча ширина становить 2,7 м, що забезпечує захват шести рядків за один прохід і дозволяє ефективно працювати на типових посівах з міжряддям близько 450 мм. Обслуговування комбайна здійснює один оператор, який керує всіма основними процесами з кабіни.

Машина відзначається досить значною масою, що залежить від конкретної модифікації. Базова версія КС-6Б має суху конструктивну масу близько 9 т, тоді як варіант КС-6Б-01 – приблизно на 300 кг легший. При цьому повна маса збільшується залежно від типу встановленого викопуючого механізму: дисковий, вилчастий чи вібраційний варіанти формують масу машини у межах 11,45–11,75 т. Від типу викопувача також залежить адаптація комбайна до різних умов складності ґрунту.

Габаритні розміри машини суттєво різняться залежно від положення робочих органів. У робочому стані комбайн має довжину близько 7 м, завширшки більш ніж 6,2 м і висоту до 4 м. Для транспортування габарити оптимізуються: ширина зменшується до 3,3 м, а довжина становить приблизно 7,5 м, що дає можливість безпечно переміщувати аграрну техніку дорогами загального користування.

Бункер-накопичувач машини має змінний об'єм у межах від 8 до 10 м³, що дозволяє регулювати логістику вивезення коренеплодів залежно від наявності транспорту. За годину експлуатаційного часу комбайн здатний обробити від 0,8 до 1,8 га залежно від стану поля та урожайності, а робоча швидкість становить близько 11 км/год. Під час переїздів машина може розвивати транспортну швидкість до 20 м/с, що свідчить про достатню динамічність для оперативного переміщення між ділянками.

Потужність енергетичної установки знаходиться в діапазоні 110–136 кВт при номінальній частоті обертання колінчастого вала 2000 хв⁻¹. Трансмсія включає суху фрикційну муфту зчеплення, стабільно замкнуту під час роботи, а хід приводиться у дію через гідростатичну трансмісію типу ГСТ-90. Комбайн оснащено дисковими робочими гальмами з гідравлічним приводом, а стоянкове гальмо реалізоване у вигляді окремого механічного дискового вузла. Колія керованих коліс становить 1,8 м, а ведучих – понад 2,29 м, що підвищує стійкість агрегату.

Робочі органи моделі КС-6Б можуть оснащуватися різними типами викопуючих пристроїв – дисковими, вильчатими, вібро-лемішними чи

пасивними дисковими лемішами. Очищення коренеплодів забезпечує шнековий механізм, орієнтований на мінімальне травмування буряків. За результатами експлуатаційних вимірювань, загальний рівень пошкоджених коренеплодів не перевищує 5%, з яких лише близько 2% припадає на сильно пошкоджені. Середня глибина підкопування становить приблизно 7,4 см.

Транспортуючі органи комбайна виконані у вигляді пруткових конструкцій на зубчастих пасах зі скребками. Поздовжній транспортер має ширину 0,9 м, довжину полотна понад 5 м і функціонує з кроком скребоків 0,35 м, забезпечуючи швидкість руху стрічки до 1,5 м/с. Вивантажувальний транспортер працює з лінійною швидкістю близько 1,14 м/с. Конструкція транспортера розташована під кутом близько 55°, що сприяє плавному переміщенню коренеплодів без їхнього травмування. Дорожній просвіт машини становить 250 мм, що забезпечує можливість роботи на нерівному рельєфі.

Таким чином, технічні характеристики КС-6Б свідчать про її здатність забезпечувати ефективний процес викопування, очищення та транспортування буряків у складних польових умовах, поєднуючи високу продуктивність із достатньою дбайливістю до коренеплодів і можливістю адаптації до різних технологічних схем збирання.

2.2 Визначення необхідної продуктивності транспортера

Рівень ефективності нової машини зазвичай порівнюють із уже відомими аналогами, що дозволяє об'єктивно оцінити її переваги. Конструкція оновленої техніки повинна забезпечувати при тих самих або навіть менших масо-габаритних параметрах вищу продуктивність, економніше використання енергії, точнішу роботу та зменшені трудові витрати на технічне обслуговування й ремонт. Досягти такого результату можливо лише шляхом продуманого удосконалення її конструктивних вузлів і загальної схеми роботи.

Одним із ключових напрямів модернізації є оптимізація будови транспортера, який відіграє вирішальну роль у стабільності та рівномірності подачі коренеплодів. З цією метою проводиться комплекс технічних розрахунків, що дозволяє визначити оптимальні параметри його роботи. Першочергово встановлюють продуктивність транспортера, що є основою подальших конструкторських рішень [19].

$$Q = 1,5 \cdot V \cdot n \cdot m, \quad (2.1)$$

де Q – продуктивність – показник, що характеризує здатність машини за певний проміжок часу зібрати визначену площу посівів або обсяг коренеплодів. Він відображає реальну ефективність роботи комбайна в польових умовах і залежить одразу від кількох технічних, технологічних та організаційних факторів.;

V – швидкість руху бурякозбирального комбайна, що є одним із ключових параметрів, що безпосередньо впливає на якість та продуктивність процесу збирання цукрових буряків. Під час роботи машини ця швидкість повинна узгоджуватися з конструктивними можливостями викопуючих і очищувальних органів, а також зі станом ґрунту й густотою стояння рослин. Оптимальний режим руху забезпечує не лише повне підбирання коренеплодів без значних втрат, але й мінімізацію їх механічних пошкоджень, $V = 11 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 3,05 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

n – кількість рядків, які обробляє комбайн, $n = 6$ рядків;

m – маса буряка на погонному метрі,

$$m = N \cdot m_1, \quad (2.2)$$

де N – кількість буряків на 1 погонному метру; $N = 5$;

m_1 – середня маса одного буряка, $m_1 = 0.5 \text{ кг}$,

тоді

$$m = 5 \cdot 0.5 = 2.5 \text{ кг.}$$

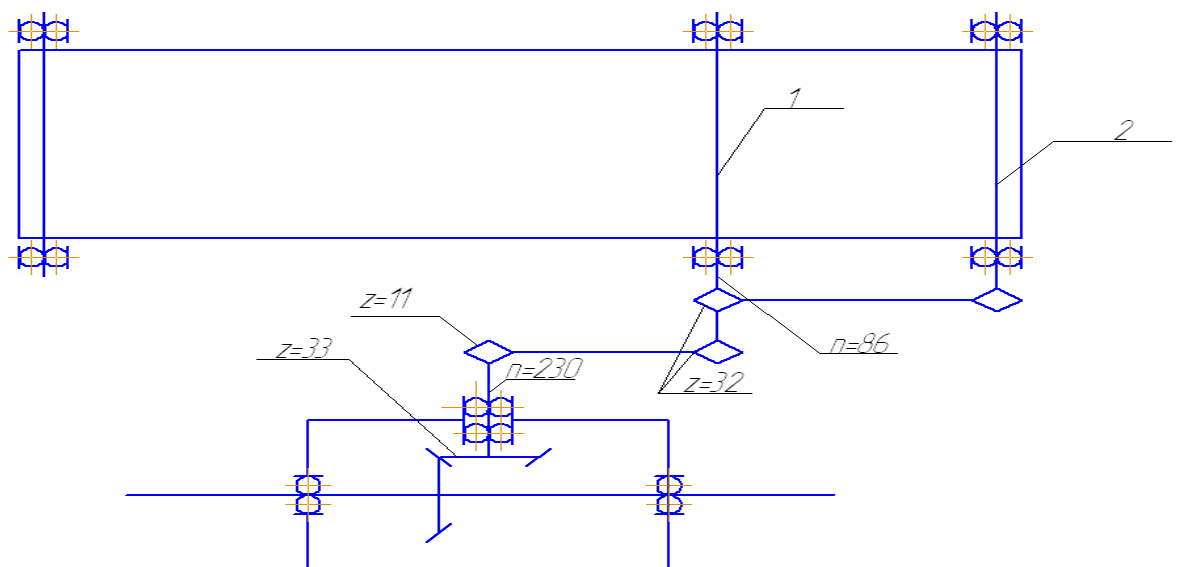
Необхідна продуктивність транспортера повинна становити таке значення, яке гарантує синхронність його роботи з викопувальним та очисним апаратами

$$Q = 1.5 \cdot 3.05 \cdot 6 \cdot 2.5 = 68.625 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Таким чином, вимога до секундної продуктивності транспортера полягає в тому, що вона має бути на рівні 68,6 кг/с.

2.3 Розрахунок навантаження приводу вдосконаленого транспортера

Кінематична схема транспортера представлена на рис. 2.1.



1 – ведучий вал; 2 – ведений вал

Рисунок 2.1 – Кінематична схема вдосконаленого транспортера

За попередніми розрахунками та експериментальними дослідженнями комбайна КС-6Б10 було встановлено частоту обертання n валу 1:

$$n = 86 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$V = 1.14 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначаємо вагу буряків, які будуть знаходитись на транспортері (на i -тій ділянці) під час транспортування до бункеру [14, 17]

$$G_i = Q' \cdot \frac{S}{V_{\text{тр}}} g, \quad (2.3)$$

де Q' - продуктивність комбайна КС-6Б10, кг/с;

$V_{\text{тр}}$ – швидкість руху транспортера, м/с;

S - довжина транспортеру (i -тої ділянки), м;

Продуктивність комбайна

$$Q' = V \cdot n \cdot m, \quad (2.4)$$

підставляючи значення, отримаємо

$$Q' = 3.05 \cdot 6 \cdot 2.5 = 45.75 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Загальна вага на транспортері при значеннях загальної довжини $S = 3788 \text{ мм} = 3.788 \text{ м}$;

Тоді

$$m_1 = 45.75 \cdot \frac{3.788}{1.062} \cdot 9.81 = 1632 \text{ Н}.$$

Розраховуємо потужність P , яку потрібно надати транспортові для подолання сили приводу віток, рис. 2.2 [22, 25].

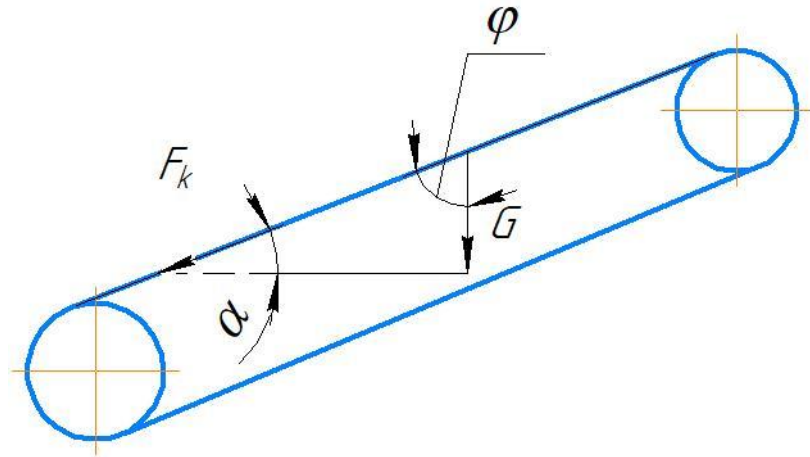


Рисунок 2.2 – Схема сил, які діють на довільну ділянку транспортера

Сила F_K , як сума всіх сил на кожній з ділянок транспортера

$$F_K = \frac{G_1}{\sin \alpha_1} + \frac{G_2}{\sin \alpha_2} + \frac{G_3}{\sin \alpha_3} + \frac{G_4}{\sin \alpha_4} + \frac{G_5}{\sin \alpha_5}, \quad (2.5)$$

де G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 – вага буряків на 1,2,3,4,5 ділянках.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – кут встановлення транспортера на ділянках 1,2,3,4,5.

Тут маємо:

$$\alpha_1 = 16^\circ;$$

$$\alpha_2 = 46^\circ;$$

$$\alpha_3 = 70^\circ;$$

$$\alpha_4 = 74^\circ;$$

$$\alpha_5 = 20^\circ.$$

Знаходимо G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 :

На першій ділянці

$$G_1 = Q' \cdot \frac{S_1}{V_{mp}} g, \quad (2.6)$$

де $S_1 = 581\text{мм} = 0.581\text{м}$;

Тоді

$$G_1 = 45.75 \cdot \frac{0.581}{1.062} 9.81 = 250.3 \text{ Н.}$$

На другій ділянці

$S_2 = 581\text{мм} = 0.209\text{м}$;

$$G_2 = 45.75 \cdot \frac{0.209}{1.062} 9.81 = 90 \text{ Н}$$

На третій ділянці

$S_3 = 0.418\text{м}$;

$$G_3 = 45.75 \cdot \frac{0.418}{1.062} 9.81 = 180.1 \text{ Н.}$$

На четвертій ділянці

$S_4 = 1.906\text{м}$;

$$G_4 = 45.75 \cdot \frac{1.906}{1.062} 9.81 = 821.1 \text{ Н.}$$

На п'ятій ділянці

$S_5 = 0.674\text{м}$;

$$G_5 = 45.75 \cdot \frac{0.674}{1.062} 9.81 = 290.4 \text{ Н.}$$

Тоді

$$F_k = \frac{25.03}{\sin 16^\circ} + \frac{9}{\sin 46^\circ} + \frac{18.01}{\sin 70^\circ} + \frac{82.11}{\sin 74^\circ} + \frac{29.04}{\sin 20^\circ} = 2928 \text{ Н.}$$

Визначаємо швидкість руху транспортера [25]

$$V_{mp} = \omega \cdot R, \quad (2.7)$$

де ω – кутова швидкість валу, c^{-1} ;

R – радіус зірочки, м;

Знаходимо ω

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} . \quad (2.8)$$

Тоді

$$\omega = \frac{3.14 \cdot 86}{30} = 9c^{-1} .$$

Знаходимо радіус зірочки

$$R = \frac{D}{2} = \frac{0.236}{2} = 0.118 \text{ м,}$$

де D – діаметр зірочки, $D = 0,236$ м.

Тоді швидкість транспортера

$$V_{mp} = 9 \cdot 0.118 = 1.062 \frac{m}{c}.$$

Розраховуємо потужність приводу транспортера

$$P = M \cdot \omega, \quad (2.9)$$

де M – крутний момент на приводній зірочці, $H \cdot m$;

ω – кутова швидкість валу, c^{-1} ;

Знаходимо крутний момент зірочки:

$$M = F_k \cdot R; \quad (2.10)$$

Підставляємо значення

$$M = 2928 \cdot 0.118 = 345.5 H \cdot m.$$

Тоді потужність

$$P = 345.5 \cdot 9 = 3109.5 Bm.$$

Таким чином, споживана потужність транспортера 3,1 кВт.

2.4 Попередній розрахунок приводного валу і його компоновка

Окремі елементи машин, здійснюють обертовий рух, розміщуються на валах, які забезпечують для цих елементів постійне положення геометричної осі обертання, рис. 2.3.

Вал – деталь, яка на відміну від осей призначена для передавання крутного моменту та підтримування елементів машин у їхньому обертovому русі.

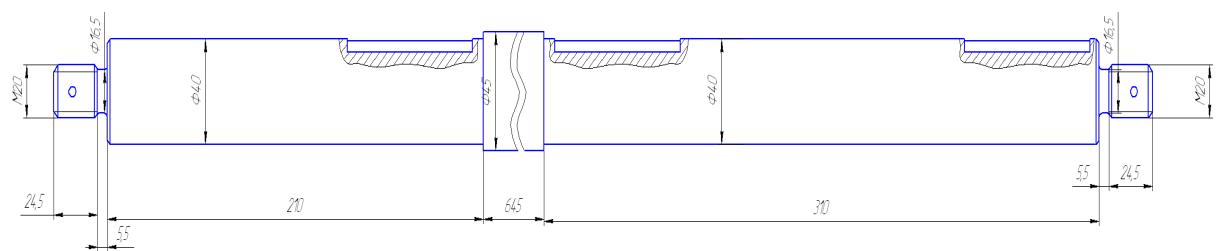


Рисунок 2.3 – Приводний вал

Попередній розрахунок приводного валу.

Для виготовлення вала назначаємо нормалізовану сталь 45, для якої $\sigma_T = 363 \text{ МПа}$; $\sigma_B = 598 \text{ МПа}$ [29].

Попередній розрахунок приводного вала проводимо на кручення за пониженим допустимим напруженням.

Діаметр вала на ділянці 3 із умови міцності на кручення без урахування впливу згину при допустимому напруженні $[\tau_K] = 30 \text{ Н/мм}^2$ [29].

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0.2 \cdot [\tau_K]}} = \sqrt[3]{\frac{345.5 \cdot 10^3}{0.2 \cdot 30}} = 38.6 \text{ мм.} \quad (2.11)$$

Приймаємо близьке більше значення із ряду R40 – $d=40 \text{ мм}$.

Конструювання вала. При конструюванні вала визначаємо розміри і форму вала (рис. 2.3). При цьому керуємося такими вимогами: зручністю

монтажу й демонтажу деталей; намагатися зменшити концентрації напружень; виготовлення вала повинно бути простим і економічним.

Діаметр вихідної ділянки вала з розрахунку $d_1 = 40$ мм.

З метою забезпечення осьової фіксації зірочок на валу діаметр за плечика приймаємо $d_2 = 43$ мм.

З метою забезпечення осьової фіксації на валу підшипників, приймаємо $d_6 = d_4 = 16.5$ мм., і $d_7 = d_3 = 20$ мм., на цих ділянках нарізуємо різьбу М20 для заживання гайкою і просвердлюємо два штопорних отвори.

Діаметри всіх ділянок вала відповідають стандарту на прийняті лінійні розміри. Переходи між окремими ділянками вала виконуємо більших радіусів з метою зменшення концентрації напружень, а також зменшуємо кількість нарізів, проточок, пазів тощо.

Довжина ділянки вала 1, в місці посадки зірочки транспортера, приводної зірочки і встановлені підшипника, із конструктивних міркувань приймаємо $l_1 = 310$ мм.

Довжина ділянки вала 2, для осьової фіксації зірочок приймаємо: $l_2 = 645$ мм.

Довжина ділянки вала 3 в місці посадки зірочки транспортера і встановлені підшипника із конструктивних міркувань приймаємо $l_3 = 210$ мм.

Довжина ділянки вала для осьової фіксації підшипників приймаємо $l_6 = l_4 = 5.5$ мм. Довжина ділянки вала для різьби приймаємо $l_7 = l_5 = 24.5$ мм.

Для фіксації гайок на валу, які фіксують підшипники, свердлимо отвори для шплінтів. Діаметр отворів приймаємо $d = 4$ мм.

Тоді відстань між опорами $L = 990$ мм, рис. 2.4.

Таким чином, було запропоноване рішення, що дозволить обґрунтовано використати для приводу транспортера саме такої конструкції вал. Але для надійності попереднього розрахунку надалі потрібно ще виконати уточнений розрахунок.

3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Уточнений розрахунок тихохідного вала

В ході проведених досліджень було встановлено сили, які діють на вал:

$$F_C^K + F_D^K = 2928H;$$

$$F_C^K = F_D^K = 1464H.$$

Знаходимо радіальні сили, які діють на вал

$$F_C^r + F_D^r = G_{TP} + G_{\delta_{yp}}, \quad (3.1)$$

де $G_{TP} = 1500H$; $G_{\delta_{yp}} = 290.4H$,

тоді

$$F_C^r + F_D^r = 1500 + 290.4 = 1790.4H,$$

$$\text{де } F_C^r = F_D^r = \frac{1790.4}{2} = 895.2H.$$

Знаходимо силу F_t .

$$F_K \cdot R_3 = F_t \cdot R, \quad (3.2)$$

де R_3 – радіус веденої зірочки, $R_3 = 0.118$ м.

R – радіус ведучої зірочки, $R = 0.0975$ м.

Розрахункова схема вала і його найбільш небезпечні перерізи.

Розрахункову схему привідного вала приймаємо у вигляді балки на двох опорах. На вал діють зусилля, які виникають у зачепленні зірочок і транспортера і крутний момент, що передається валом.

Побудуємо епюри згинальних і крутних моментів у вертикальній площині:

а) опорні реакції у вертикальній площині:

$$\sum M_A = 0;$$

$$F_C^r \cdot a + F_D^r \cdot (a + b) - R_B^r \cdot (a + b + c) = 0;$$

$$R_B^r = \frac{F_C^r \cdot a + F_D^r \cdot (a + b)}{(a + b + c)}; \quad (3.3)$$

$$R_B^r = \frac{895.2 \cdot 138 + 895.2 \cdot (138 + 714)}{(138 + 714 + 138)} = 895.2 \text{ Н.}$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$R_A^r \cdot (a + b + c) - F_C^r \cdot (b + c) - F_D^r \cdot c = 0;$$

$$R_A^r = \frac{F_C^r \cdot (b + c) + F_D^r \cdot c}{(a + b + c)}; \quad (3.4)$$

$$R_A^r = \frac{895.2 \cdot (714 + 138) + 895.2 \cdot 138}{(138 + 714 + 138)} = 895.2 \text{ Н.}$$

Робимо перевірку

$$\sum M_y = 0;$$

$$\sum M_y = R_A^r - F_C^r - F_D^r + R_B^r = 895.2 - 895.2 - 895.2 + 895.2 = 0.$$

Знаходимо згинальні моменти в характерних перерізах.

Розглядаємо балку з ліва на право:

Ділянка AC при $0 \leq x \leq a$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x;$$

$$M(0) = 895.2 \cdot 0 = 0;$$

$$M(a) = 895.2 \cdot 0.138 = 123.5H \cdot m.$$

Ділянка CD при $a \leq x \leq a + b$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x - F_C^r \cdot (x - a);$$

$$M(a) = 123.5H \cdot m;$$

$$M(a + b) = 895.2 \cdot (0.138 + 0.714) - 895.2 \cdot 0.714 = 123.5H \cdot m.$$

Ділянка DB при $(a + b) \leq x \leq (a + b + c)$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x - F_C^r \cdot (x - a) - F_D^r \cdot (x - a - b);$$

$$M(a + b) = 123.5H \cdot m;$$

$$M(a + b + c) = 895.2 \cdot (0.138 + 0.714 + 0.138) - 895.2 \cdot (0.714 + 0.138) -$$

$$- 895.2 \cdot 0.138 = 0.$$

Будуємо епюри згинальних моментів (рис. 3.1).

б) у горизонтальній площині.

Опорні реакції:

$$\sum M_A = 0;$$

$$\frac{F_K}{2} \cdot a + \frac{F_K}{2} \cdot (a + b) - R_B^r \cdot (a + b + c) - F_K \cdot (a + b + c + d) = 0;$$

$$R_B^r = \frac{\frac{F_K}{2} \cdot a + \frac{F_K}{2} \cdot (a + b) - F_K \cdot (a + b + c + d)}{(a + b + c)}; \quad (3.5)$$

$$R_B^r = \frac{1464 \cdot 138 + 1464 \cdot (138 + 714) - 2928 \cdot (138 + 714 + 138 + 60)}{(138 + 714 + 138)} = -1641.5H;$$

$$R_B^r = -1641.5H.$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$R_A^r \cdot (a + b + c) - \frac{F_K}{2} \cdot (b + c) - \frac{F_K}{2} \cdot c - F_K \cdot d = 0;$$

$$-R_A^r = \frac{-\frac{F_K}{2} \cdot (b + c) - \frac{F_K}{2} \cdot c - F_K \cdot d}{(a + b + c)}; \quad (3.6)$$

$$-R_A^r = \frac{-1464 \cdot (714 + 138) - 1464 \cdot 138 - 2928 \cdot 60}{138 + 714 + 138} = -1641.45H;$$

$$R_A^r = 1641.45H.$$

Робимо перевірку:

$$\sum y = 0;$$

$$R_A^r - \frac{F_K}{2} - \frac{F_K}{2} - R_B^r + F_K = 1641.45 - 1464 - 1464 - 1641.45 + 2928 = 0.$$

Знаходимо згинальні моменти в характерних перерізах.

Розглядаємо балку з ліва на право:

Ділянка AC при $0 \leq x \leq a$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x;$$

$$M(0) = 0;$$

$$M(a) = 1641.45 \cdot 0.138 = 226.52 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Ділянка CD при $a \leq x \leq (a + b)$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x - \frac{F_K}{2} \cdot (x - a);$$

$$M(a) = 226.52;$$

$$M(a + b) = 1641.45 \cdot (0.138 + 0.714) - 1464 \cdot 0.714 = 353.224 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Ділянка DB при $(a + b) \leq x \leq (a + b + c)$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x - \frac{F_K}{2} \cdot (x - a) - \frac{F_K}{2} \cdot (x - a - b);$$

$$M(a + b) = 353.224 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M(a + b + c) = 1641.45 \cdot (0.138 + 0.714 + 0.138) - 1464 \cdot (0.714 + 0.138) - 1464 \cdot 0.138 = 175.69 \text{ H} \cdot \text{м};$$

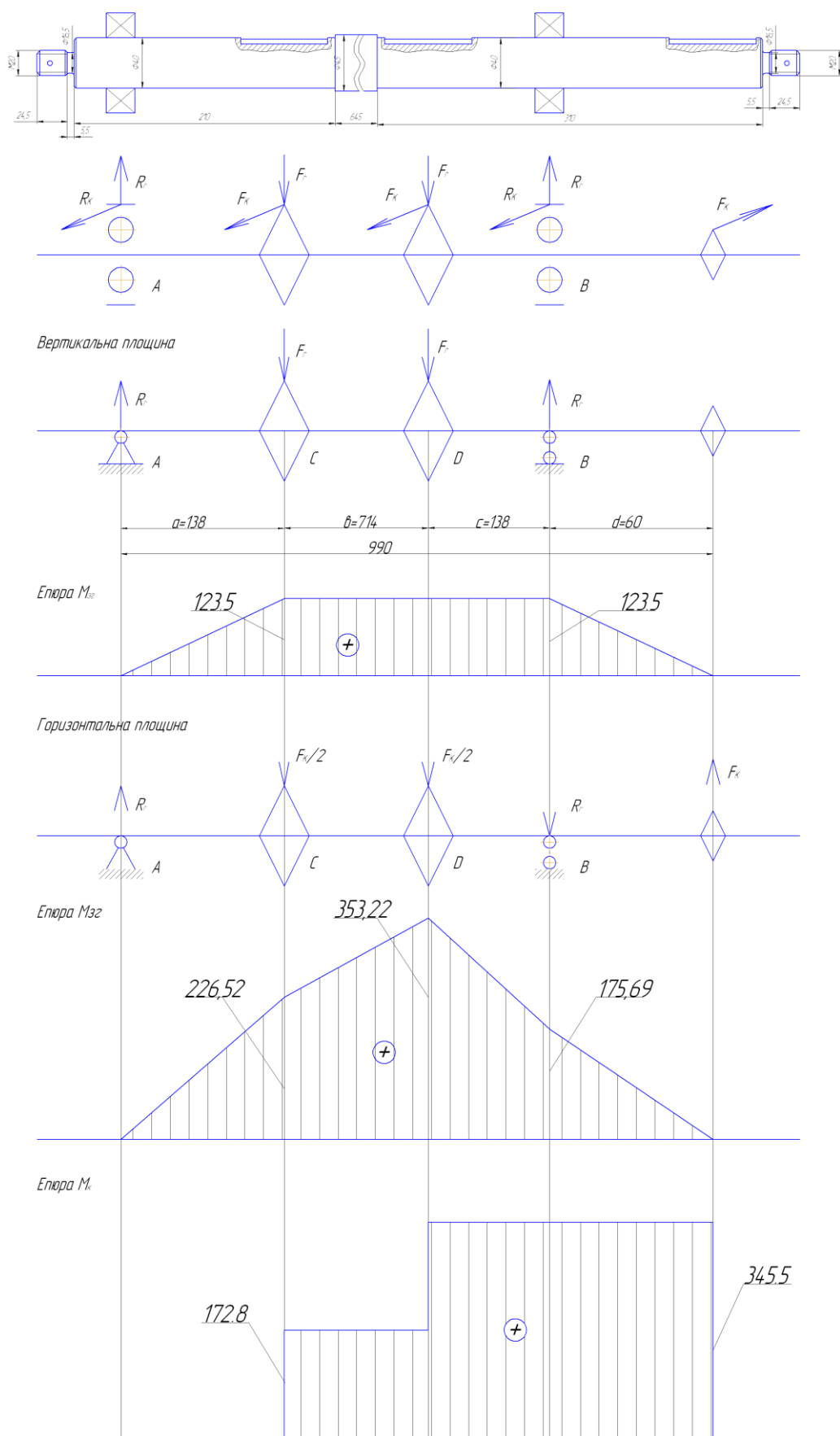


Рисунок 3.1 – Конструкція й розрахунок приводного валу

Ділянка BE при $(a + b + c) \leq x \leq (a + b + c + d)$;

$$M(x) = R_A^r \cdot x - \frac{F_K}{2} \cdot (x - a) - \frac{F_K}{2} \cdot (x - a - b) - R_B^r \cdot (x - a - b - c);$$

$$M(a + b + c) = 175.69H \cdot m;$$

Будуємо епюру згинальних моментів.

Знаходимо крутний момент

$$M_K = 345.5H \cdot m.$$

Епюра крутних моментів вала зображена на рис. 3.1.

Аналізуючи епюри згинальних і крутних моментів вала, визначаємо найбільш небезпечні перерізи вала. Таким перерізом є переріз під зірочкою транспортера В, де

$$M_{\max}^{\text{згин}} = \sqrt{(M_{CD}^b)^2 + (M_{CD}^z)^2} = \sqrt{(123.5)^2 + (353.223)^2} = 374.2H \cdot m;$$

$$M_K = 345.5H \cdot m.$$

Виконуємо перевірку міцності для перерізу В.

Перевірка статичної міцності при перевантаженнях.

Номінальні напруження у перерізі.

Нормальні напруження [29]

$$\sigma_{32} = \frac{32 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot d^3}; \quad (3.7)$$

Підставляючи значення

$$\sigma_{32} = \frac{32 \cdot 374.2}{3.14 \cdot 0.04^3} = 59585987.2 \text{ Па} = 59.6 \text{ МПа}.$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{16 \cdot M_K}{\pi \cdot d^3}; \quad (3.8)$$

Підставляючи значення

$$\tau = \frac{16 \cdot 345.5}{3.14 \cdot 0.04^3} = 27507961 \text{ Па} \approx 27.5 \text{ МПа}.$$

За четвертою теорією міцності [29]

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_{32}^2 + 4 \cdot \tau^2}; \quad (3.9)$$

Тоді

$$\sigma_E = \sqrt{59.6^2 + 4 \cdot 27.5^2} = 81.1 \text{ МПа}.$$

Максимальне еквівалентне напруження при короткочасних перевантаженнях:

$$\sigma_{E \max} = \sigma_E \cdot K_{II}, \quad (3.10)$$

де K_{II} – коефіцієнт перевантаження.

У зв'язку з забрудненістю поля коефіцієнт перевантаження приймаємо $K_D = 1.6$, тоді

$$\sigma_{E \max} = 81.1 \cdot 1.6 = 129.8 \text{ МПа}.$$

Допустиме еквівалентне напруження

$$[\sigma]_E = 0.8 \cdot \sigma_T, \quad (3.11)$$

тоді

$$[\sigma]_E = 0.8 \cdot 363 = 290.4 \text{ МПа}.$$

Умова статичної міцності виконується, оскільки:

$$\sigma_{E \max} = 129.8 \text{ МПа} \leq [\sigma]_E = 290.4 \text{ МПа}.$$

3.2 Розрахунок вала на втомну міцність

Найбільш критичним місцем є переріз під зірочкою на валу. У цьому місці основним джерелом концентрації напружень виступає шпонковий паз, який формується пальцевою фрезою. Тому для цього перерізу доцільно розрахувати відповідний коефіцієнт запасу міцності. Оскільки в даному перерізі присутні як нормальні, так і дотичні напруження, спершу визначаються S_σ і S_τ , після чого обчислюється загальний розрахунковий коефіцієнт запасу міцності S .

Максимальні значення напружень (границі втоми матеріалу), які матеріал вала може витримувати при циклічному навантаженні протягом тривалого часу без виникнення тріщин або руйнування. Вони залежать від фізико-механічних властивостей матеріалу, геометрії вала, концентрації напружень, якості обробки поверхні та умов експлуатації (корозія, температура тощо):

Границі втоми матеріалу вала:

$$\sigma_{-1} = 0.45 \cdot \sigma_B = 0.45 \cdot 598 = \text{МПа};$$

$$\tau_{-1} = 0.21 \cdot \sigma_B = 0.25 \cdot 598 = 150 \text{ МПа}.$$

Амплітуди нормальних і дотичних напружень характеризують змінні (циклічні) напруження в матеріалі вала під час експлуатації. Вони визначаються як половина різниці між максимальним і мінімальним значенням напружень у циклі:

$$\sigma_a = \frac{M_{\max}}{W_{OH}}; \quad (3.12)$$

$$\tau_a = \frac{M_K}{2 \cdot W_{PH}}, \quad (3.13)$$

де W_{OH} і W_{PH} – моменти опору перерізу вала, що враховують наявність шпонкового паза.

Тоді

$$W_{OH} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b_{III} \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d}; \quad (3.14)$$

де b_{III} – розмір паза, призначеного для шпонки,

$$b_{III} = 12 \text{ мм} [33];$$

t_1 – відстань від поверхні вала до дна шпонкового паза.

$$t_1 = 5 \text{ мм},$$

тоді

$$W_{OH} = \frac{3.14 \cdot 40^3}{32} - \frac{12 \cdot 5 \cdot (40 - 5)^2}{2 \cdot 40} = 5361.25 \text{ мм}^3; \quad (3.15)$$

$$W_{PH} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b_{III} \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d}. \quad (3.16)$$

Матимемо

$$W_{PH} = \frac{3.14 \cdot 40^3}{16} - \frac{12 \cdot 5 \cdot (40 - 5)^2}{2 \cdot 40};$$

Підставляючи значення отримаємо

$$\sigma_a = \frac{374.2 \cdot 10^3}{5361.25} = 69.8 \text{ МПа};$$

$$\tau_a = \frac{345500}{2 \cdot 11641.25} = 14.8 \text{ МПа}.$$

Розраховуємо діючі коефіцієнти посилення напружень, що виникають через наявність шпонкового паза [33]:

$$K_\sigma = 1.76;$$

$$K_\tau = 1.54.$$

Обчислюємо діючі коефіцієнти, які відображають схильність матеріалу вала до впливу асиметрії циклу навантажень:

$$\psi_\sigma = 0.02 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B;$$

$$\psi_\sigma = 0.02 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 598 = 0.1396;$$

$$\psi_{\tau} = 0.5 + \psi_{\sigma} = 0.5 \cdot 0.1396 = 0.07.$$

Визначаємо коефіцієнт, який відображає вплив фактичних розмірів перерізу вала на його міцність:

$$K_d = 0.81 \text{ [33].}$$

Розраховуємо коефіцієнти міцності окремо для нормальних і дотичних напружень:

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma} \cdot \sigma_a / K_d}; \quad (3.17)$$

Після підстановки, матимемо

$$S_{\sigma} = \frac{269}{1.76 \cdot 69.8 / 0.81} = 1.77;$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau} \cdot \tau_a / K_d + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}, \quad (3.18)$$

тут $\tau_m = \tau_a$;

$$S_{\tau} = \frac{150}{1.54 \cdot 14.8 / 0.81 + 0.07 \cdot 14.8} = 5.14.$$

Розраховуємо узагальнений розрахунковий коефіцієнт запасу міцності вала в контрольному перерізі, який враховує сумарний вплив нормальних і дотичних напружень, геометричних особливостей елемента та наявних концентраторів напружень. Цей показник дає змогу оцінити, наскільки

фактична міцність перерізу перевищує робочі навантаження, і визначити надійність роботи вала в умовах змінних навантажень

$$S = \frac{1,77 \cdot 5,14}{\sqrt{1,77^2 + 5,14^2}} = 1,67.$$

Оскільки отримане значення коефіцієнта запасу міцності не менше за допустиме $[S]_{\min} = 1.5$, , можна зробити висновок, що втомна міцність вала в розрахункових перерізах повністю забезпечується, а його робота буде надійною за умов експлуатаційних навантажень.

3.3 Проектування й перевірка на міцність шпонкових з'єднань

Шпонкові з'єднання стандартизовані їх розміри вибираємо залежно від діаметру вала.

Під маточиною зірочки транспортера за діаметром вала $d = 40\text{мм}$ згідно з ГОСТом 8788-68 вибираємо розміри призматичної шпонки:

$$b = 12\text{мм};$$

$$h = 8\text{мм};$$

$$t_1 = 5\text{мм};$$

$$t_2 = 3.3\text{мм};$$

$$l = 70\text{мм};$$

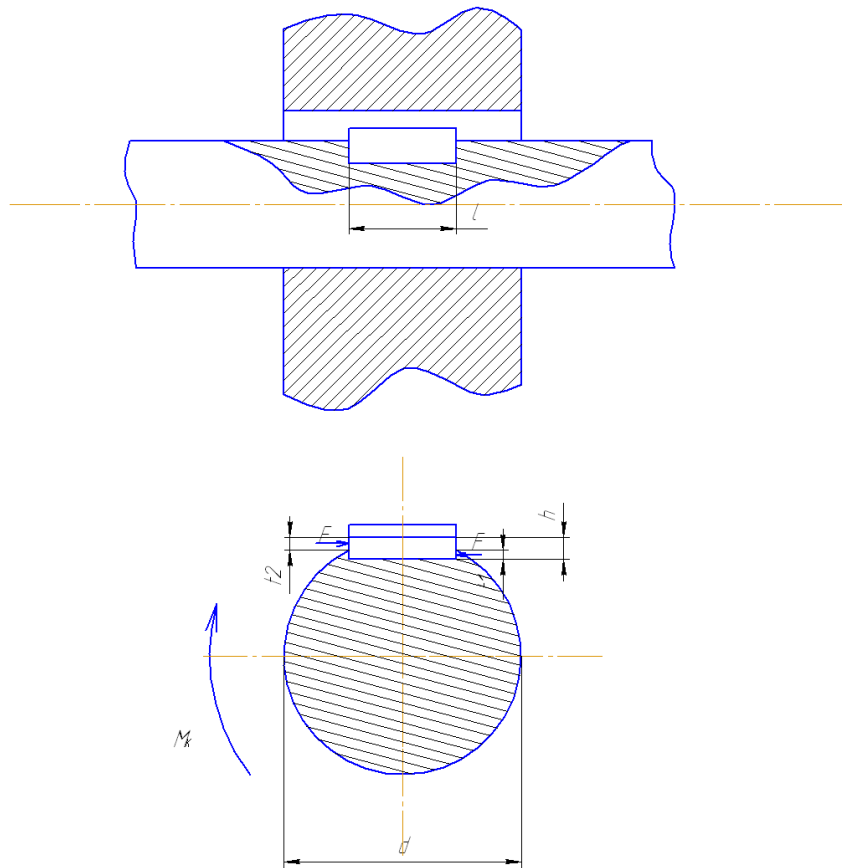


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема шпонкового з'єднання

Розраховуємо напруження зминання шпонки, встановленої під маточиною зірочки транспортера.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M_K}{d \cdot (h - t) \cdot (l - b)}; \quad (3.19)$$

Тоді

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 345.5 \cdot 10^3}{40 \cdot (8 - 5) \cdot (70 - 12)} = 100 \frac{H}{мм^2};$$

Допустиме напруження зминання при сталевій маточині зірочки $[\sigma]_{зм} = 100 \dots 120 \frac{H}{мм^2}$.

Матеріал шпонки – сталь 45 нормалізована.

Аналогічно беремо такі самі шпонки під другу зірочку транспортера і ведучу зірочку.

3.4. Підбір підшипників кочення і перевірка їх довговічності

Розрахункова схема для підбору та розрахунку підшипників привідного вала зображена на рис. 2.6 на якій вказані напрями сил, що діють на його опори. Найбільш навантаженішою опорою за цією схемою є опора В, оскільки вона навантажена найбільшою радіальною силою R_B .

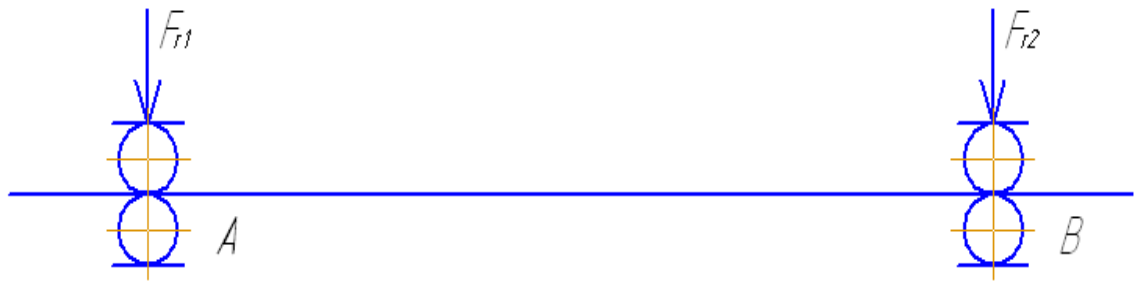


Рисунок 3.3 – Схема установки підшипників

Сумарні опорні реакції:

$$R_A = \sqrt{(R_A^e)^2 + (R_A^r)^2} = \sqrt{(895.2)^2 + (1641.45)^2} = 1869.7H; \quad (3.20)$$

$$R_B = \sqrt{(R_B^e)^2 + (R_B^r)^2} = \sqrt{(895.2)^2 + (1641.45)^2} = 1869.7H; \quad (3.11)$$

Оскільки у нашому випадку відсутня осьова сила, зважаючи на радіальне навантаження та маючи діаметр цапф під підшипники, підбираємо радіальні однорядні підшипники з ущільненням легкої серії 180 508, для яких із довідника [33] базова статична вантажність $C_0 = 17800H$; базова динамічна вантажність $C = 32000H$;

Визначаємо розрахункові еквівалентні навантаження на опори підшипників.

Для радіально кулькових підшипників, які не навантажені осьовою силою коефіцієнт $X = 1$ [29, 33];

$$P = V \cdot R_r \cdot K_\theta \cdot K_T, \quad (3.22)$$

де K_θ – коефіцієнт безпеки;

$$K_\theta = 1.5 \text{ [33];}$$

K_T – температурний коефіцієнт;

$$K_T = 1;$$

V – коефіцієнт обертання;

$$V = 1.$$

Еквівалентне навантаження першої опори:

$$P_1 = 1 \cdot 1869.7 \cdot 1.5 \cdot 1 = 2804.55 H.$$

Еквівалентне навантаження другої опори:

$$P_2 = 1 \cdot 1869.7 \cdot 1.5 \cdot 1 = 2804.55 H.$$

Так як $P_2 = P_1$, перевіримо довговічність одного підшипника

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P_1} \right)^3 = \frac{10^6}{60 \cdot 86} \cdot \left(\frac{32000}{2804.55} \right)^3 = 287879.5_{год}. \quad (3.23)$$

Що задовільно для поставлених технічних умов.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи охорони праці при механізованому збиранні цукрових буряків

Механізоване збирання цукрових буряків є однією з найбільш відповідальних і трудомістких операцій у буряківництві, адже саме на цьому етапі забезпечується збереження врожаю, його якості та мінімальні втрати. З урахуванням складності машинно-тракторних агрегатів, великої кількості рухомих елементів та інтенсивності сезонних робіт безпека праці під час виконання таких операцій має вирішальне значення. Заходи охорони праці при збиранні буряків повинні ґрунтуватися на чинних нормативно-правових актах України, серед яких центральне місце займають Закон України «Про охорону праці» та «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві». Норми цих документів визначають вимоги до техніки, працівників і організації процесу, формуючи комплекс превентивних дій, спрямованих на зниження ризиків виробничого травматизму [30].

Підготовка до збирання розпочинається з організаційних заходів, що охоплюють планування робіт, оцінку можливих небезпек, визначення відповідальних осіб та створення умов для безпечної роботи. У цей період проводиться аналіз потенційних ризиків, пов'язаних із рухом техніки, роботою в зоні обертання робочих органів, особливостями рельєфу та погодних умов. На основі цього аналізу складаються маршрути руху машин, визначаються зони тимчасового зберігання коренеплодів, встановлюються правила черговості виконання операцій і регламентується доступ персоналу до окремих ділянок поля. Обов'язковою умовою є призначення відповідального за безпечне ведення робіт, який контролює технічний стан машин, правильність застосування засобів індивідуального захисту, дотримання порядку інструктажів та відповідність виробничого процесу нормативним вимогам.

Працівники, що залучаються до механізованого збирання, повинні пройти належну підготовку. Згідно з вимогами чинних правил, перед сезоном вони проходять первинний, повторний та цільовий інструктажі з охорони праці, а також перевірку

знань щодо особливостей експлуатації бурякозбиральної техніки. Машиністи та водії зобов'язані мати посвідчення на керування відповідними видами самохідних машин. Окрім професійних навичок, важливим фактором є стан здоров'я працівників, тому медичний огляд перед початком робіт є обов'язковою умовою їх допуску до роботи. На робочих місцях повинні бути розміщені чинні інструкції з безпечного ведення робіт, які містять порядок запуску та вимкнення агрегатів, правила дій при аварійних ситуаціях та вимоги щодо очищення і технічного обслуговування машин.

Перед виходом техніки на поле проводиться її ретельна підготовка. Це включає технічний огляд, регулювання та видалення пошкоджень, що можуть вплинути на безпеку. Оскільки бурякозбиральні комбайни мають складну будову і містять велику кількість обертових, різальних і транспортувальних механізмів, основна увага приділяється стану захисних кожухів, огорожень приводів, робочих органів та вузлів, які під час роботи створюють підвищену небезпеку. Усі рухомі частини повинні мати справні огороження, які виключають можливість випадкового контакту з ними. Особливо важливим є стан гальмівної системи, рульового управління, сигналізації, освітлення та системи автоматичного блокування, яка не дозволяє запускати механізми при відкритих захисних кожухах.

Одним із найважливіших аспектів охорони праці є організація безпечного пересування техніки та персоналу під час роботи. Забороняється перебувати перед комбайном або позаду працюючих вузлів, оскільки оператор має обмежений огляд, а робочі органи виконують швидкі рухи, які створюють небезпеку для людей. Переміщення транспортних засобів, що приймають зібрані буряки, повинно відбуватися виключно за визначеними маршрутами, позначеними на місцевості. Заборонено знаходитись між комбайном і транспортним засобом під час вивантаження коренеплодів, оскільки це є однією з найнебезпечніших операцій. За умов роботи на схилах або у вологому ґрунті вводяться додаткові обмеження швидкості та маневрування, щоб уникнути перекидання техніки або її неконтрольованого ковзання.

Засоби індивідуального захисту є невід'ємною частиною безпечної роботи. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, який захищає від механічних пошкоджень і забруднень, захисним взуттям з протиковзкими підошвами, рукавицями

та окулярами. Оператори, що працюють у зоні підвищеного шуму, мають використовувати засоби захисту слуху. Погодні умови також диктують необхідність мати теплий одяг, головні убори, а в умовах спеки – доступ до питної води та тіньових зон. Усі ці вимоги відповідають нормам, що висуваються до безпечної праці у сільському господарстві.

Технічне обслуговування та ремонт машин проводяться лише при повністю вимкнених приводах і зафіксованих робочих органах. Забороняється очищати ротори, транспортери чи ножі вручну, коли двигун працює або існує ризик самовільного руху механізмів. При необхідності виконання робіт на висоті застосовуються міцні підмостки з огороженням. Забороняється використовувати підручні засоби або випадкові опори, оскільки вони не забезпечують стійкості й можуть спричинити падіння чи травму. Всі ремонтні роботи фіксуються в журналах технічного обслуговування.

Важливою складовою безпеки під час механізованого збирання є забезпечення пожежної безпеки. Техніка повинна бути укомплектована вогнегасниками, а на місцях стоянки та завантаження – засобами первинного пожежогасіння. Заборонено палити поблизу техніки, кагатів буряків та місць зберігання пально-мастильних матеріалів. На полі повинна знаходитись аптечка для надання першої допомоги, а працівники мають бути навчені елементарним прийомом домедичної допомоги.

У процесі виконання робіт здійснюється постійний контроль за дотриманням вимог охорони праці. Проводяться передзмінні інструктажі, огляди техніки, фіксація будь-яких відхилень або небезпечних ситуацій. Усі випадки порушень, інцидентів та технічних несправностей мають бути задокументовані для подальшого аналізу та запобігання їх повторенню. Такий підхід дозволяє не лише підтримувати безпеку під час поточного сезону, а й формувати на підприємстві культуру безпечної праці.

Таким чином, охорона праці при механізованому збиранні цукрових буряків є комплексною системою заходів, що охоплює підготовку персоналу, належний технічний стан машин, організацію робіт, застосування засобів захисту та постійний контроль за процесом. Дотримання всіх вимог нормативно-правових актів України та галузевих правил не лише гарантує збереження життя й здоров'я працівників, а й

забезпечує стабільність виробничого процесу, підвищення продуктивності та якісне завершення збирання врожаю.

4.2 Надзвичайні ситуації, що виникають при механізованому збиранні цукрових буряків

Надзвичайні ситуації, що можуть виникати під час механізованого збирання цукрових буряків, пов'язані з поєднанням роботи складної сільськогосподарської техніки, рухомих механізмів, підвищеної запиленості, вібрацій, значного навантаження на операторів та впливу природних факторів. Усі ці чинники формують потенційно небезпечне виробниче середовище, у якому за певних умов можуть розвиватися аварійні або критичні ситуації. Розуміння причин їх виникнення та шляхів мінімізації ризиків є важливим елементом забезпечення безпеки праці, а вимоги чинної нормативної бази України визначають обов'язкові заходи щодо їх попередження.

Одним із найбільш поширених типів надзвичайних ситуацій є аварії, пов'язані з роботою рухомих і обертальних вузлів бурякозбиральних комбайнів. Серед таких випадків найчастіше трапляються травмування через потрапляння частин тіла або предметів у зону дії робочих органів – копачів, шнеків, очисних барабанів, транспортерів. Наявність коренеплодів, землі та рослинних решток створює небезпечні умови для заклинювання механізмів, що може спричинити раптове підвищення навантаження, обрив приводів або руйнування деталей. Подібні ситуації нерідко призводять до отримання травм оператором під час спроби усунення несправності без повної зупинки машини, що є грубим порушенням вимог техніки безпеки та інструкцій з експлуатації.

Окрему групу становлять надзвичайні ситуації, пов'язані з відмовами гідравлічних систем. У бурякозбиральній техніці гідроприводи відповідають за роботу робочих органів, піднімання та опускання елементів, керування ходовою частиною та іншими функціями. Несправність клапанів, шлангів,

гідроциліндрів або забруднення гідравлічної рідини може спричинити раптове опускання навісних частин, втрату керованості або неконтрольований рух вузлів. Такі випадки становлять значну небезпеку як для оператора, так і для працівників, які перебувають поблизу. У нормативних документах України наголошено на необхідності проведення регулярного технічного обслуговування гідросистем, контролю їх герметичності та забезпечення періодичних оглядів відповідальними особами.

Не менш небезпечними є надзвичайні ситуації, пов'язані з займанням техніки. Під час збирання цукрових буряків комбайн працює в умовах значної запиленості, що у поєднанні з гарячими поверхнями двигуна і гідравліки створює ризик самозаймання. Додатковим чинником є використання пального, мастил та гідравлічної рідини, які можуть витікати при зношенні ущільнень. Будь-яке порушення ізоляції електропроводки або коротке замикання здатне призвести до локальної пожежі. Відповідно до вимог правил пожежної безпеки в агропромисловому комплексі, техніка повинна бути обладнана справними вогнегасниками, а після кожної зміни необхідно проводити очищення вузлів від рослинних решток.

Серед інших надзвичайних ситуацій важливе місце займають ДТП та неконтрольовані переміщення техніки на полі. Погані погодні умови, мокрий ґрунт, значний ухил рельєфу або перевантаження бункера можуть призвести до перекидання комбайна. Крім того, під час маневрування великогабаритної техніки існує ризик зіткнення з іншими машинами, обслуговуючим персоналом або сторонніми об'єктами. У таких умовах особливого значення набуває дотримання правил організації технологічного процесу, забезпечення видимості робочої зони, використання сигнальних засобів та суворе виконання порядку пересування техніки полем.

Серйозні наслідки можуть мати також надзвичайні ситуації, пов'язані з дією природних факторів. Грозові фронти, сильний вітер, злива, ранкові тумани або зниження видимості через пил можуть створити умови, у яких експлуатація техніки стає небезпечною. Згідно з чинними нормами з охорони праці, роботу

комбайнів за таких умов необхідно припиняти, а персонал повинен бути проінформований про потенційні ризики.

Не можна ігнорувати й фактори, пов'язані зі станом оператора. Перевтома, тривала вібрація, підвищений рівень шуму, перегрівання або зневоднення негативно впливають на концентрацію уваги та швидкість реакції. У нормативних документах передбачено вимоги щодо режимів праці та відпочинку, забезпечення працівників питною водою та створення належних умов для роботи у кабіні комбайна. Недотримання цих вимог може призвести до помилок оператора, що у поєднанні з високою швидкістю руху механізмів часто стає причиною аварійних ситуацій.

Таким чином, надзвичайні ситуації при механізованому збиранні цукрових буряків можуть мати різноманітну природу – від технічних відмов до природних чинників і людського фактору. Усі вони становлять потенційну загрозу для життя та здоров'я працівників, а їх попередження базується на дотриманні вимог охорони праці, регулярному технічному обслуговуванні, правильній організації виробничих процесів та підготовці персоналу. Впровадження комплексу превентивних заходів, визначених законодавством України, є обов'язковою умовою для забезпечення безпечного та безаварійного виконання робіт у період збирання врожаю.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При проведенні випробних досліджень бурякозбирального комбайна КБС-6, було встановлено, що бункер комбайна КБС-6 заповнюється тільки на 40%, що знижує продуктивність бурякозбирального комбайна у 1.5 раз. Цей недолік призвів до додаткової втрати пального на транспортування буряків, а також трамбування ґрунту.

Таким, чином щоб вирішити цю проблему вирішили встановити додатковий транспортер, який би транспортував буряки на середину бункера, щоб збільшити завантаженість бункера.

Після встановлення транспортеру на бурякозбиральний комбайн бункер став заповнюватися на 80%, що збільшило продуктивність комбайна. Затрати коштів на збирання цукрового буряка зменшилась.

Для досягнення поставленої мети в проекті зроблено ряд розрахунків, де встановлено:

необхідна продуктивність транспортера повинна становити
 $Q = 68.625 \text{ кг/с};$

попередніми розрахунками та експериментальними дослідженнями комбайна КС-6Б10 було встановлено частоту обертання n ведучого валу
 $n = 86 \text{ об/хв};$

дотична сила на транспортері становить 2928 Н;

потужність приводу транспортера – 3.1 кВт;

для виготовлення ведучого вала назначаємо нормалізовану сталь 45;

мінімальний діаметр вала з умови міцності при крученні становить 40 мм;

еквівалентні напруження становлять 81.1 МПа;

максимальне еквівалентне напруження при короточасних перевантаженнях 129,8 МПа;

коефіцієнти запасу міцності за нормальними напруженнями – 1.77;

коефіцієнти запасу міцності за дотичними напруженнями – 5.14;

загальний розрахунковий коефіцієнт запасу міцності вала – 1.67;

під маточиною зірочки транспортера за діаметром вала $d = 40\text{мм}$ згідно з ГОСТом 8788-68 вибираємо розміри призматичної шпонки: $b = 12\text{мм}$; $h = 8\text{мм}$; $t_1 = 5\text{мм}$; $t_2 = 3.3\text{мм}$; $l = 70\text{мм}$; напруження зминання становлять біля 100 МПа, що для нормалізованої сталі 45 шпонки є в допустимих межах;

встановлені радіальні однорядні підшипники з ущільненням легкої серії 180 508, ресурс яких буде становити 287879.5год.

У кваліфікаційній роботі також пророблено питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, розроблено заходи з охорони праці при механізованому збиранні цукрових буряків та проаналізовано надзвичайні ситуації, що виникають при механізованому збиранні цукрових буряків.

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. 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.

21. 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.

22. 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.\

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

24. Бабій А.В., 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.

25. 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.

26. Блащак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79.

27. 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.

28. 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.

29. 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.

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

31. 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.

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

К.:Вища школа, 1974. 304 с.

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

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

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

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

37. 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.

38. 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