

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

(назва освітнього ступеня)

м. Тернопіль – 2021

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 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Петрашу Володимирі Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів лемешів картоплезбирального комбайну

Керівник роботи Олексюк Василь Петрович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 26 » лютого 2021 року № 4/7-149 .

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 травня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи

Базова конструкція картоплезбирального комбайну, ширина захвату – 2,8 м,
ширина міжряддя – 0,7 м, робоча швидкість – 3,2 км/год

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

Реферат. Вступ. 1. Аналіз особливостей об'єкту проектування. 2. Обґрунтування
основних параметрів об'єкту розробки. 3. Дослідження параметрів об'єкту розробки.

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

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

1. Технологічна схема картоплезбирального комбайну. – 1А1. 2. Основні робочі органи комбай-
на. Загальний вигляд – 1А1. 3. Транспортери комбайна. Загальний вигляд – 1А1.

4. Схема розміщення бункера в робочих положеннях. Загальний вигляд. – 1А1.

5. Основні вузли комбайна– 1А1. 6. Дослідження НДС вала повздовжнього елеватора. – 1А1.

7. Деталювання – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Окіпний І.Б., доцент		
	Клепчик В.М., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання

26.02.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей об'єкту проектування.	20.03.2021 р.	
2	Обґрунтування основних параметрів об'єкту розробки.	10.04.2021 р.	
3	Дослідження параметрів об'єкту розробки	25.04.2021 р.	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	02.05.2021 р.	
5	Реферат. Вступ. Висновки.	10.05.2021 р.	
6	Графічна частина. Специфікації	15.05.2021 р.	

Студент

(підпис)

Петраш В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Олексюк В.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Петраш Володимир Володимирович.

Тема роботи – «Обґрунтування параметрів лемешів картоплезбирального комбайну».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Олексюк Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Актуальність теми роботи

Основними труднощами при конструюванні картоплезбиральної техніки є пошук та розроблення робочих органів, котрі б забезпечували виділення бульб із загальної маси пластів картопляних грядок, врахувавши при цьому можливість забезпечення мінімальних пошкоджень бульб картоплі.

Проведення робіт відомими конструкціями картоплезбиральних комбайнів в умовах середніх та важких ґрунтів з підвищеною вологістю є незадовільним. Вони супроводжується недостатнім сепаруванням компонентів бульбоносних пластів, що пояснюється певними фізико-механічними особливостями таких ґрунтів, які є вкрай несприятливими для проведення операцій сепарації. Тому удосконалення наявних методів сепарації ґрунтів та пошук конструкцій нових робочих органів картоплезбиральної техніки є вкрай актуальною та важливою проблемою.

Мета роботи

Основною метою дипломної роботи магістра є підвищення продуктивності та якості збирання картоплі шляхом удосконалення лемешів картоплезбирального комбайну типу КСК-4.

Об'єкт, методи та джерела дослідження

Об'єкт дослідження. Лемеші картоплезбирального комбайну.

Предмет дослідження. Технологічні, конструктивні розрахунки та розрахунки на міцність елементів виконуючої частини комбайну.

Методи дослідження. Теоретико-емпіричний, теорії міцності, графічний, порівняльний, математичного моделювання.

Отримані результати:

- розглянуто будову та конструкцію картоплезбирального комбайну;
- проаналізовано особливості конструкцій картоплезбиральних машин та їх основних робочих органів;
- проведено розрахунки основних параметрів підкопуючої частини картоплезбирального комбайну;
- розроблено конструкції складальних одиниць та деталей;
- проведено розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей;
- обґрунтовано параметри та досліджено напружено-деформований стан ведучого валу повздовжнього елеватора комбайну;
- розглянуто питання з охорони праці при роботі із картоплезбиральними комбайнами та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано конструкцію вібраційних лемешів картоплезбирального комбайну.

Апробація. Окремі результати роботи доповідались на III Міжнародній студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ – Тернопіль, ТНТУ, 2020 р.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 70 арк., додатки – 7 арк. формату А4, графічна частина – 7 аркушів формату А1.

Ключові слова: леміш, комбайн, сепаруючий елеватор, ворох, підкопуюча частина.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз особливостей об'єкту проектування	9
1.1. Опис будови картоплезбирального комбайну	9
1.2. Огляд конструкцій картоплезбиральних машин та їх основних робочих органів	15
1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра	26
2. Обґрунтування основних параметрів об'єкту розробки	28
2.1. Технологічні розрахунки	28
2.2. Розрахунок гідроприводу комбайну	31
2.3. Розрахунок на міцність елементів конструкції	47
2.3.1. Розрахунок величин навантажень на вали повздовжнього пруткового елеватора	47
2.3.2. Розрахунок на міцність ведучого валу	50
2.3.3. Розрахунок підшипникових вузлів	54
3. Дослідження параметрів об'єкту розробки	56
3.1. Розробка моделі об'єкту досліджень	56
3.2. Обробка даних, побудова діаграм за результатами моделювання	59
4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	61
4.1. Вимоги техніки безпеки при роботі картоплезбиральними комбайнами КСК-4	61
4.2. Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів	63
Загальні висновки	66
Перелік посилань	67
Додатки	70

ВСТУП

Сільське господарство України є однією із найбільших і найважливіших складових вітчизняної економіки. Від рівня і стабільності функціонування агропромислового комплексу у великій мірі залежить загальний стан розвитку економіки та рівень життя населення в цілому.

При теперішніх кризових умовах ефективність ведення сільськогосподарського виробництва забезпечується передусім за рахунок використання збалансованих, добре організованих і економічно обґрунтованих методів його ведення із обов'язковим застосуванням як прогресивних технологій, так і нової високопродуктивної сільськогосподарської техніки. Критеріями діяльності таких сільських господарств повинні стати не лише збільшення обсягів виробництва, а й прагнення до зниження собівартості, отримання максимальних прибутків із збереженням природних ресурсів.

Картопля є однією із найбільш поширених сільськогосподарських культур, яка вирощується майже всіма країнами світу. Однак рівень механізації вирощування цієї культури ще не в повній мірі відповідає усім агротехнічним вимогам. Самим трудомістким процесом в загальному циклі виробництва картоплі є її збирання, на яке припадає приблизно 40...60% всіх витрат. Технічні труднощі, які виникають для механізації процесів її збирання в певній мірі визначаються особливостями самої культури.

Картоплезбиральні машини повинні підняти великі маси ґрунту, які досягають 2000 т з одного га зібраної ділянки поля і з усієї маси виділити лише 2...3% бульб картоплі, а підняті ґрунти відсіяти назад на поверхню поля і, при цьому, звести до мінімуму пошкодження бульб. До того ж на процес сепарування ґрунтів впливає цілий ряд чинників: структура ґрунту і його вологість, наявність бур'янів та бадилля, засміченість каменями та інш.

Основними труднощами при конструюванні картоплезбиральної техніки є пошук та розроблення робочих органів, котрі б забезпечували виділення бульб із

загальної маси пластів картопляних грядок, врахувавши при цьому можливість забезпечення мінімальних пошкоджень бульб картоплі.

Проведення робіт відомими конструкціями картоплезбиральних комбайнів в умовах середніх та важких ґрунтів з підвищеною вологістю є незадовільним. Вони супроводжується недостатнім сепаруванням компонентів бульбоносних пластів, що пояснюється певними фізико-механічними особливостями таких ґрунтів, які є вкрай несприятливими для проведення операцій сепарації. Тому удосконалення наявних методів сепарації ґрунтів та пошук конструкцій нових робочих органів картоплезбиральної техніки є вкрай актуальною та важливою проблемою.

1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Опис будови картоплезбирального комбайну

Картоплезбиральний комбайн (рис. 1.1) має таку будову: самохідне шасі 1, приймальна частина 2, повздовжній прутковий елеватор 3, шнек 4 для руйнування та рівномірного розташування пластів ґрунту на полотні елеватора, звужуючий шнек 5, механізм струшування 6, поперечний бадилевидаляючий транспортер 7, сепаратор-сортувальник 8, дисковий транспортер 9, вивантажувальний пасовий транспортер 10, проміжні стрічкові транспортери 11 і 12, вертикальні вивантажувальні транспортери 13 і 14, бункери 15 і 16, компресор 17 і вентилятор 18.

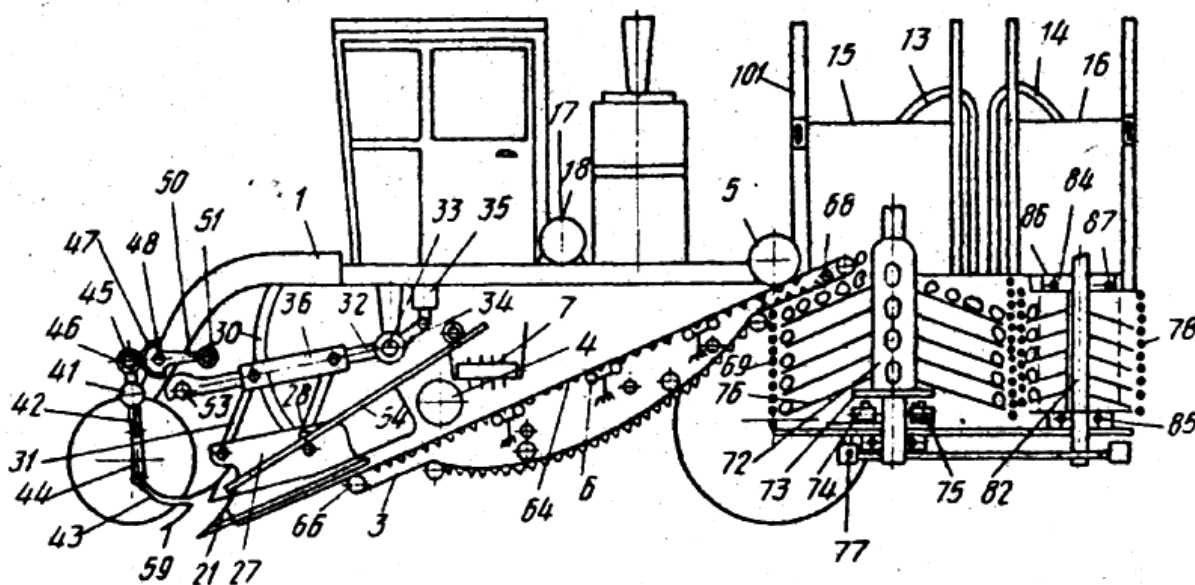


Рисунок 1.1 – Технологічна схема комбайну

Приймальна частина містить вібруючі лемеші 19, які володіють клиновидними різальними кромками 20. Кожен із вібруючих лемешів має внутрішні поверхні 21 з направленими вгору отворами 22 для випускання повітря

і повздовжніми зубами 23, що мають внутрішні канали 24 і повітревипускні отвори 25. У повздовжніх пазах зубів впресовано гуму 26. Боковини 27 є жорстко з'єднаними з вібраційними лемешами та у верхніх частинах мають перемички 28, на зовнішніх ділянках котрих встановлено ролики 29, які мають можливість переміщуватися по закріплених на рамі дугоподібних направляючих 30.

Підвіска паралелограмного типу 31 є шарнірно з'єднаною з повздовжніми повідками 32, що одними кінцями спираються на ексцентрики, а іншими є шарнірно приєднаними до розміщеного на рамі поперечного валу 33, котрий містить плечовий ричаг 34, що є шарнірно з'єднаним з гідравлічним циліндром 35 для можливості повертання валу. Направляючі 36 є жорстко з'єднаним між собою за допомогою поперечини 37, яка шарнірно з'єднана з гідравлічним циліндром 38, шток котрого приєднується до поперечного валу 39 при допомозі шарніру, містить гайку 40 для можливості регулювання величини заглиблювання вібраційного лемеша. Також є золотники 41, котрі взаємно пов'язані з вертикальними ричагами 42. Копіри 43 є встановлені при допомозі шарнірів на вертикальних жолобоподібних стійках 44, які є жорстко закріпленими на пустотілих валах 45, котрі шарнірно встановлені на кронштейні рамі і оснащується нерухомо закріпленими циліндричними шестернями 46, які входять в зачеплення із змонтованими на нерухомих осях 48 кронштейнів 49 зубчатими секторами 47, на хвостовиках 50 яких встановлені ролики 51, які періодично контактують з повздовжніми повідками ексцентриком 52 валів 53 транспортерів для видалення бадилля 54, котрі облаштовані тросовими прогумованими ремнями 55, катків які підпружинені 57, каркасів 58, що шарнірно з'єднані з рамами, прутковими бадилепідйомниками 59, зубами 60 для відривання бульб картоплі від бадилля, каркасів 61 бадилевидаляючих транспортерів 7. Бадилевидаляючі транспортери мають прогумовані стрічки 62, які обладнані шпильками 63.

Повздовжні пруткові елеватори 3 містять полотна 64, які складаються з прорезинених прутків, котрі монтуються на прорезинених пасах 65, зірочок 66, бокових обмежувальних пасів 67 для усунення втрат бульб картоплі, щілинні

сопла 68 для здуву рослинних залишків.

Сепаратори-сортувальники 8 мають нерухомі прогумовані пруткові кожухи 69, які облаштовані вивідними вікнами 70 і мають нерухомі прогумовані лопатки 71 для виведення фракцій з сепараторів-сортувальників на дискові транспортери, вісі 72 з фланцями 73 і роликами 74, фланці 75 із плавними заглибинами призначеними для струшувань, конусні пруткові диски 76, редуктори 77 для проведення регулювань швидкостей обертів сепараторів-сортувальників.

Дискові транспортери 9 мають прогумовані пруткові кожухи 78 з бульбовивідними отворами 79 та вікнами 80 для виводу домішків, обладнанні нерухомо зашліфуваними лопатками 81, вертикальні труби 82, які нерухомо закріплені по центру кожухів 69, обладнані відповідними каналами 83 і кріпко зашліфуваними фланцями 84 і 85, що мають гнізда для шарнірів 87 та каркасів 88. Вони оснащуються по зовнішньому колу ярусами із цільними площинами 90.

Вивантажувальні пасові транспортери 10 мають каркаси 91, прогумовані тросові паси 92, блок 93, обертові еластичні щітки 94, гідроциліндри 95 для повертання транспортерів у транспортні положення, а також по боках обмежувальні паси 96. Крім цього вивантажувальні транспортери оснащують гідроциліндрами 97 для автоматичних вивантажень бункерів. Також є борти 98, тканинні перемички 99, ролики 100 для переміщення бункерів жолобами П-подібних стійок 101 з дугоподібними верхніми частинами 102, які підпружинені полотнами 103 для уникнення пошкодження картоплі при завантажуваннях бункерів.

Картоплезбиральні комбайни працюють наступним чином.

До початку роботи: За допомогою гідравлічних циліндрів 94 повертають вивантажувальні транспортери 10 в робочі положення. Обертаючи гайки 40 на штоках 39 кожного гідроциліндра 38 встановлюють глибину ходів вібраційних лемешів 19. Приводять в рух робочі органи комбайнів, компресори 17 та вентилятори 18.

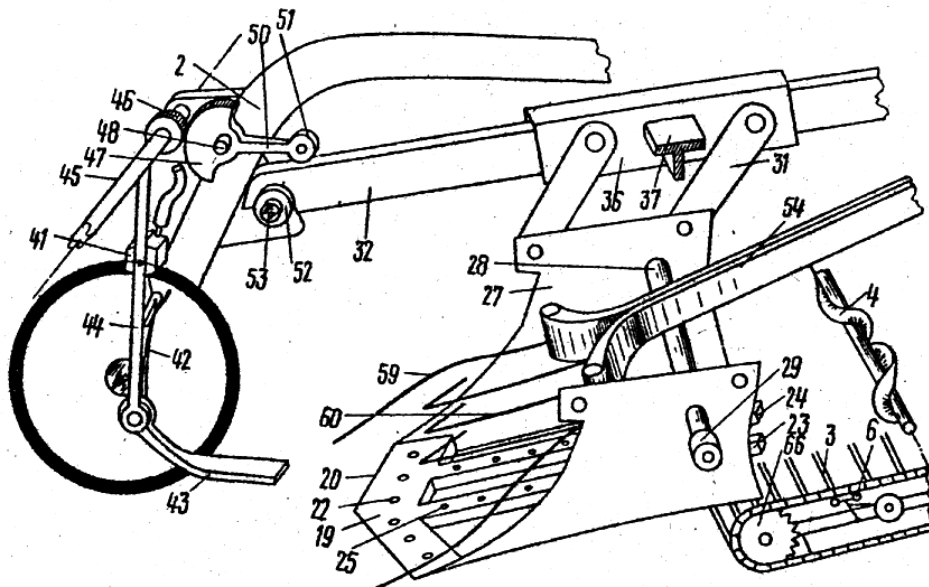


Рисунок 1.2. – Приймальна частина комбайну

При рухові комбайнів по поверхні поля лемеші 19 здійснюють підрізування пластів ґрунту дещо нижче розташування бульб картоплі, а боковини 27 забезпечують підрізування пластів по боках на достатній відстані від місця залягання самих бульб картоплі. Вал 53, що обертається із частотою 600 об/хв., ексцентриками 52, здійснює дію на повідки 32 і таким чином, шляхом паралелограмної підвіски 31 забезпечує коливання лемешів і боковин з частотами 600 коливань на хвилину із амплітудами 12 мм, а при допомозі компресора 17 накопичується повітря повітроводами в порожнини 21 і 24 лемешів. При прониканні через отвори 22 і 25 повітря чинить дію на пласти ґрунту, тим самим зменшується величина тягового опору лемешів. Повітря проникає через пори в ґрунті, тому полегшується руйнування пластів та відділювання бульб картоплі від ґрунту, тому запобігається накопичення всієї маси на лемешах і відсутнє налипання ґрунтів на лемеші. Разом із вібраціями лемешів і боковин повітряні потоки суттєво спрощують роботу лемешів 19 і подавання бульбоносних мас на повздовжні пруткові елеватори.

Значно зруйновані пласти подаються елеваторами до шнеків 4, які руйнують їх і рівномірно розміщують по всій ширині полотен 64, при цьому

проводиться інтенсивне сепарування шарів ґрунту. Маса, котра залишається, подається елеваторами до звужуючих шнеків. Полотна 64 із заданими значеннями амплітуди плавно струшуються механізмами для струшування 6. Звужені потоки мас, що залишаються подаються елеваторами в сепаратори-сортувальники 8, однак в місцях перепаду мас сильні струмені повітря щілинних сопел 68 здувають дрібну рослинність, що залишилась на зібрану ділянку поля позаду комбайнів, а вся маса (картопля і домішки) подається на конусні пруткові диски, на котрих відбувається подальший процес сепарації із одночасним проведенням сортування на окремі фракції.

На ділянці верхньої частини трьох-пругових конусних дисків залишається продуктова фракція – на перших дисках бульби картоплі вагою понад 200 г, а також домішки з розмірами, котрі є однаковими з цими бульбами, на других дисках – картопля з вагою в межах 180-120 г і відповідні домішки, , на третіх дисках – бульби картоплі вагою 110-80 г з такими ж домішками, на четвертих дисках – бульби 70-50 г (насіenneвої фракції) з відповідними домішками і на п'ятих дисках – картопля фуражних фракцій вагою 40-15 г і з відповідними домішками.

Під впливом струшувань та дії повітряних потоків, які нагнітаються вентиляторами 18 в порожнини осей 72, відбувається інтенсивне сепарування і відсортовування маси, котра залишається на відповідні фракції. Картопля з домішками фракцій при обертанні та струшуваннях дисків переміщуються на зовнішні кола дисків і виводиться прогумованими лопатками 71 на поверхню дисків відповідних фракцій дискових транспортерів 9. Продуктові фракції (верхні три диски) поступають на поверхню підпружинених клавiш 89 верхніх трьох дисків дискових транспортерів 9. Бульби картоплі мають вагу дещо меншу за вагу каміння та груд, розміщуються на поверхні клавiш 89 не втоплюючи їх, а каміння та груди відповідно втоплюють клавiші.

При обертанні дискових транспортерів картопля, суміщуючись з вікнами для виведення бульб 78 потрапляють під струмені повітря з каналів для відведення 83 труб 82 і таким чином зкидаються з клавiш і похилими жолобами потрапляють на вивантажувальні транспортери 10 і таким способом потрапляють в транспорт, що їде поряд з комбайнами, що обладнуються підпружиненими

полотнами для запобігання пошкодженням картоплі. Камені і груди за співпадання з вікнами для відведення бульб 79, попадаючи під дію струменів повітря не викидаються, оскільки дії струменів повітря для цього є недостатньо. Крім того, на втоплених клавішах камені і груди додатково стримуються прутками стінок кожухів, а якщо домішки по вазі є недостатніми, щоб втоплювати клавіші, то знову ж таки сила струменів повітря є недостатньою для виведення домішок в бульбовивідні вікна, так як форма домішок не співпадає з формою бульб і відповідно не мають можливості скочуватись з клавіш.

Якщо є суміщення домішків з вікнами 80, то для їх виведення лопатками 81 відбувається захоплювання домішок і викидання їх позаду комбайну на ділянку зібраного поля. При співпаданні бульб картоплі насінневих і фуражних фракцій з бульбовивідними вікнами, струмені повітря дещо меншої сили з вивідних каналів труб 82 діють на них і здувають з несучих площин 90 транспортерів. Домішки залишаються, через недостатню потужність струменів повітря для здування їх. Вони, суміщуючись із вікнами для виведення домішок, викидаються лопатками з дисків на зібрану ділянку поля позаду комбайнів.

Бульби картоплі насінневих і фуражних фракцій з вікон для виведення бульб потрапляють на ділянку проміжних поперечних транспортерів 11 і 12 та транспортуються на ділянку вивантажувальних вертикальних стрічкових транспортерів 13 і 14, які доставляють бульби картоплі на підпружинені полотна 103 бункерів 15 і 16. При повному заповнюванні бункерів бульбами картоплі подаються відповідні сигнали і водій проводить вивантаження бункерів в транспортні засоби, для цього вмикаються гідродиліндр 97 після чого бункери піднімаються вгору вертикальними П-подібними стійками 101, ковзаючи жолобами стійок за допомогою роликів 100. При цьому бункери переміщуються по дугах 102, нахиляються, і в результаті чого їх борти автоматично відкриваються. Таким чином бульби вивантажуються на підпружинену ділянку полотен транспортних засобів.

1.2. Огляд конструкцій картоплезбиральних машин та їх основних робочих органів

Для проведення технологічних процесів збирання урожаїв картоплі застосовуються доволі різноманітні сільськогосподарські машини. Найбільш типовими серед них є наступні:

Начіпний двохрядковий картоплекопач КТН-2В

Начіпні дворядкові картоплекопачі КТН-2В призначені для викопування картоплі, відсіювання ґрунту та укладування бульб на поверхню поля після проходження машини. Вони створені на базі картоплекопачів КТН-2Б. Основними базовими вузлами картоплекопачів КТН-2В є рами, лемеші, основні та каскадні елеватори, системи передач з редукторами, опорні колеса. Агрегати при копанні картоплі працюють загінними способами, копаючи картоплю з двох рядів за одне проходження. Кожні наступні проходи агрегати здійснюють через два ряди. Таким чином робітникам забезпечується можливість підбирання в тару викопаних і укладених на поверхні поля бульб картоплі, а також виключає заминання картоплі у ґрунт колесами енергозасобу.

Технічна характеристика картоплекопача КТН-2В

Продуктивність, га/год:

Чистої роботи	→	→	→	→	→	0,25—0,47
Експлуатаційного часу	→	→	→	→	→	0,16—0,31
Ширина захвату, м	→	→	→	→	→	1,4
Споживана потужність, кВт	→	→	→	→	→	14,7
Робоча швидкість, км/год	→	→	→	→	→	1,8—3,4
Глибина ходу лемешів, мм	→	→	→	→	→	до 240
Повнота викопування, %	→	→	→	→	→	97
Пошкодження бульб, %	→	→	→	→	→	3
Габаритні розміри в робочому положенні, мм	→	→	→	→	→	3220x1725x1250
Конструкційна маса, кг	→	→	→	→	→	835
Дорожній просвіт, мм	→	→	→	→	→	250

Картоплекопачі агрегуються із енергозасобами МТЗ-80/82, МТЗ-50/52 і ЮМЗ-6Л/М. Обслуговування картоплекопача здійснює тракторист. Привід картоплекопача забезпечується від ВВП енергозасобу.

Використання картоплекопачів КТН-2В замість машин КТН-2Б дозволить покращити продуктивність викопування на 19 %, зменшити втрати картоплі за рахунок збільшення площі сепаруючих поверхонь елеваторів.

Картоплезбиральний комбайн ККУ-2А

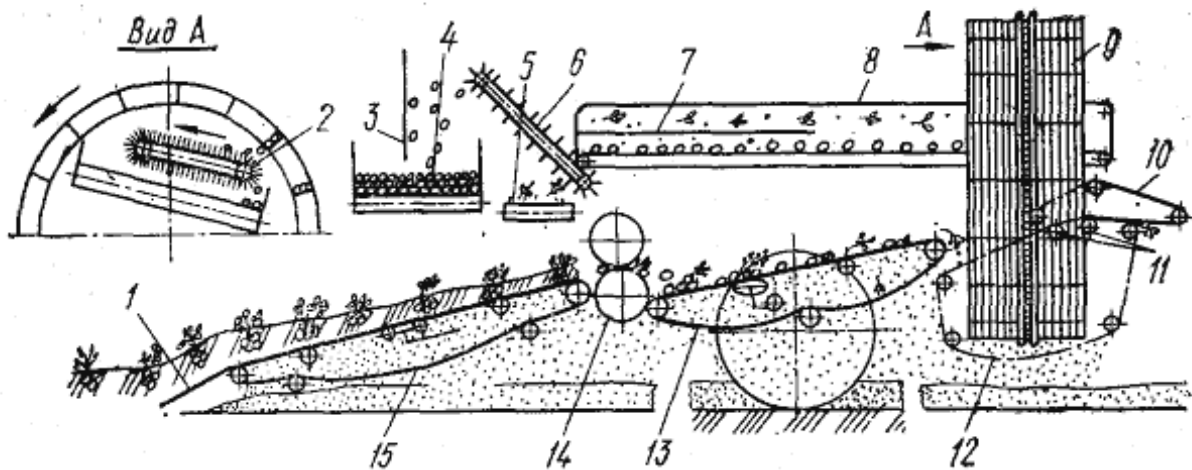
Комбайни ККУ-2А є напівначіпними, призначені для збирання урожаю картопель на ділянках, де є легкі та середні ґрунти. Вони підкопують два суміжних рядка бульб, відокремлюють від ґрунтів, бадилля, сторонніх домішків та прибирає бульби картоплі в бункери об'ємом 700—800 кг. Комбайни агрегуються з енергозасобами МТЗ-80/82, ЮМЗ-6Л для легких та середніх ґрунтів, а при виконанні робіт на перезволожених ґрунтах — гусеничними тракторами Т-74 і ДТ-75, які обладнані гідроначіпними системами та зменшувачами ходів.

Основними складовими частинами комбайнів є активні лемеші, основні сепаруючі елеватори з механізмами для струшування, грудкоподрібнювачі, другі сепаруючі елеватори (також обладнуються механізмами струшування), бадиллєвідокремлювачі, барабанні транспортери, гірки, перебиральні столи, транспортери для завантаження бункерів, бункери, рами, обладнуються опорними та ходовими колесами, механізмами передач, гідравлічними механізмами піднімання бункерів, механізмами заглиблювання лемешів, а також площадками для комбайнерів і робітників для перебирання картоплі.

Для збирання бульб при середніх та незначних вологостях ґрунтів комбайни комплектуються опорними котками, а для перезволожених ґрунтів використовують опорні колеса.

Комбайни в агрегаті з енергозасобами, персуваючись вздовж рядів насаджень картоплі, активними лемешами 1 підкопують два суміжних ряди. Підкопані пласти ґрунту з картоплею та з рештками бадилля, яке до цього прибирається машинами типу КИР-1,5Б, надходять на основні сепаруючі

елеватори 15. На них за допомогою механізмів струшування відсіюються основні маси ґрунту. Картопля з домішками крупніших та міцніших груд, в комплексі з іншими включеннями елеваторами 15 подається на грудкоподрібнювачі 14. Вони складаються з пари пневматичних балонів, які здійснюють обертання назустріч один одному. При дії тиску грудки подрібнюються на дрібніші частинки і весь ворох надходить на другі сепаруючі елеватори 13, на яких відсіюються подріблені грудки ґрунту. Для більш інтенсивного відсіювання ґрунтів другі сепаруючі елеватори обладнані, як і основні, струшувальними механізмами.



1 — активний леміш; 2 — гірка; 3 — екран; 4 — бункер; 5 — транспортер домішок; 6 — транспортер завантажування бункера; 7 — розподільник; 8 — перебиральний стіл; 9 — барабанний транспортер; 10 — притискний транспортер; 11 — відбійні прутки; 12 — прутковий транспортер; 13 — другий сепаруючий елеватор; 14 — грудкоподрібнювач; 15 — основний сепаруючий елеватор

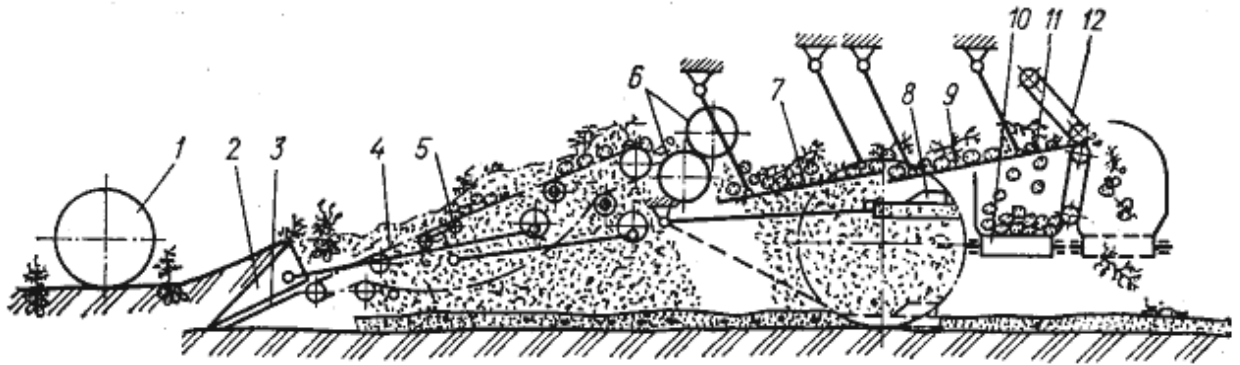
Рисунок 1.3 — Технологічна схема роботи комбайну ККУ-2А

Далі ворох з бульбами картоплі потрапляє на пруткові транспортери

бадиллєвідокремлювачів. На прутках транспортерів 12 бадилля картоплі зависають і рухаються до притискних транспортерів 10. Відірвана від бадилля картопля та дрібніші домішки через прогалини між прутками надходять у нижню частину барабанних транспортерів 9. Притискні транспортери 10 витискують не відокремлену від бадиллин картоплю униз до 2-ох відбійних прутків 11, що відривають картоплю. Затиснуті між транспортерами 12 і 10 бадилли викидаються на зібрану ділянку поля, а відокремлена картопля надходить на нижні частини барабанних транспортерів 9. Вони подають їх разом з елементами домішок на рухомі полотна гірок 2, на котрих відбувається відокремлення дрібних домішок ґрунту і залишків рослин від бульб. Картопля скочується по полотнах гірок і потрапляє на нижню частину перебиральних столів 8, а домішки відповідно на їх верхню частину. Перебиральні столи 8 виконані у вигляді рухомих транспортерів з нахилами у поперечних напрямках. На них бульби картоплі з верхньої частини потрапляють на нижню, а домішки відповідно за рахунок наявності більшого значення тертя затримуються. З двох боків розміщуються робітники, які здійснюють коригування розподілу на перебиральних столах картоплі та різних домішок. Вздовж столів встановлюють розподільники 7, які відокремлюють потік картоплі від небажаних домішок. Картопля по транспортерах завантажування 6 надходить у бункери 4, а домішки потрапляють на транспортери 5 і далі на зібрану ділянку поля. Якщо на транспортери для домішків 5 потрапляє велика кількість картоплі, то напрям його руху змінюється на протилежний шляхом реверсу і весь потік направляється на повторне доочищення в комбайни. З метою зменшення величин пошкодження картоплі при падінні з транспортерів 6 в бункери 4 на комбайнах встановлюють еластичні екрани 3, які дещо зменшують швидкість падіння. Із бункерів 4 картопля вивантажується у транспортуючі засоби під час руху комбайну або при його зупинці.

Картоплекопач-валкоутворювач УКВ-2

Картоплекопачі УКВ-2 (рис. 1.4) напівначіпні дворядні, призначені для збирання врожаю картоплі комбінованими або роздільними способами. Агрегатуються УКВ-2 з енергозасобами класу 1,4. Робочі органи приводять в дію від валу відбору потужності енергозасобу.



- 1 – опорне колесо; 2 – активні боковими; 3 – леміш; 4 – основний елеватор;
5 – струшувачі; 6 – балони-грудкоподрібнювачі; 7 – перше решето грохота;
8 – ложеутворювач; 9 – друге решето грохота; 10 – поперечний транспортер;
11 – бадиллевидаляючі тростини; 12 – бадиллевидаляючі гірки.

Рисунок 1.4 – Технологічна схема картоплекопача-валкоутворювача УКВ-2

Схема технологічного процесу виконання УКВ-2, спочатку така ж, як і у комбайнів ККУ-2А. Після проходження через балони-грудкоподрібнювачі 6 ворох картоплі з домішками потрапляють на перші решета грохотів 7, на яких проходить відокремлення часток ґрунту, потім – на другі решета грохотів 9, на котрих також відсіюється домішки ґрунту. Другі решета грохотів мають подовження із прутів, щілини між котрими є більшими, за попередні щілини прутів. В ці щілини картопля провалюється, а бадилля затримується на них. З метою забезпечення кращого транспортування бадилля пруті мають зубчасті поверхні.

З других грохотів бульби переміщуються у валки слідом за копачами на вирівняну ложеутворювачами 8 поверхні. При цьому поперечні транспортери 10

забезпечують переміщення гідросистемою копачів в заднє розміщення. Бадилини з других грохотів потрапляють між бадилиновидаляючі гірки 12, полотна котрих здійснюють рух одне назустріч одному, втягується і спрямовується на поперечні транспортери 10, які викидують його на зібрану частину поля. При подальших проходженнях копачів поперечні транспортери поміщують у передні положення і картопля надходить на них, а далі у валки, утворені при перших проходах. Бадилини при цьому викидуються слідом за копачами на зібрану ділянку поля.

Картоплезбиральний самохідний чотирирядний комбайн КСК-4-1

Картоплезбиральні самохідні чотирирядні комбайни КСК-4-1 призначені для збирання врожаю картоплі, відокремлювання картоплі від домі шків ґрунту, бараболиння, рослинних та інших решток і завантажування картоплі у транспортні засоби, що рухаються поряд. Вони призначені для проведення робіт на легких і середніх типах ґрунтів з вологістю не більш як 30%, які є слабо-засмічені каменнями (до 10 т/га) діаметрами до 120 мм і якщо маса рослинних рештків складає до 6 т/га, в сумі з бур'янами до 20%, на насадженнях картоплі з міжряддями 70 см. На комбайнах встановлюють дизельні двигуни СДМ-64. Комбайни обслуговуються комбайнером та його помічником.

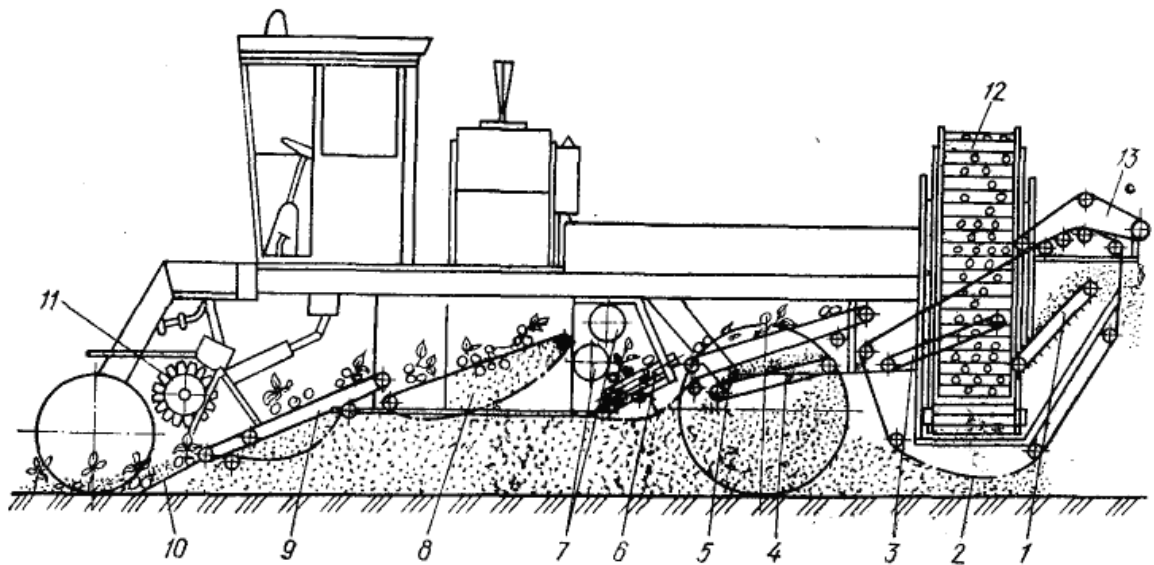
Базовими вузлами комбайнів є рами, підкопуючі робочі органи, елеватори, грудкороздавлювачі, поперечні транспортери, пристрої для видалення бадилиння, прибирачі картоплиннє, кабіни і площадки для комбайнерів, двигуни СМД-64, приводи робочих органів, трансмісії і ходові частини, системи для здійснення контролю за роботою основних робочих органів та електрообладнання комбайну. Комбайни обладнуються гідростатичними трансмісіями і трьох діапазонними коробками передач, які дозволяють проводити регулювання швидкостей від 0 до 20 км/год.

Технологічний процес роботи, що виконується комбайнами є наступним (рис. 1.5).

Під час руху комбайнів по поверхні поля лемешами підкопується чотири рядки і подається вся маса на перші елеватори, які розпушують скибу, відокремлюють основну частку ґрунту і подають ворох, що залишився, на другі

елеватори 8, на котрих відбувається подальша сепарація ґрунту, а частина маси, котра залишається, спрямовується на грудкороздавлювачі. На ділянці проходження між балонами грудкороздавлювачів крупні грудки роздавлюються. Далі весь ворох потрапляє на поперечні транспортери в третій елеватор, де і відбувається подальша сепарація. Відсепарована на третьому елеваторі частина ґрунту потрапляє на виносні конвеєри і далі видаляється на прибрану ділянку поля.

Ворох, що залишився з третього транспортера, потрапляє на проміжні конвеєри і пальцеві гірки прибирачів бадилля, а те картоплиння, яке має невідірвані бульби зависає на прутах пруткових транспортерів.



- 1 – гірка-гичковідокремлювач; 2 – прутковий конвеєр; 3 – проміжний конвеєр;
 4 – виносний конвеєр; 5 – третій елеватор; 6 – поперечні конвеєри;
 7 – грудкоподрібнювач; 8 – другий елеватор; 9 – перший елеватор; 10 – леміш;
 11 – бітер; 12 – вивантажувальний конвеєр; 13 – притискне полотно.

Рисунок 1.5 – Технологічна схема роботи комбайну КСК-4-1

Бульби під дією відбійних прутків відриваються від бадилля, яке

виноситься на зібрану ділянку поля. З гірок прибирачів бадиління, бульби картоплі та частинки груд, що залишилися, скочуються на вивантажувальні конвеєри і подаються в транспортні засіб, котрі пересуваються поряд.

Технічна характеристика комбайна КСК-4-1

Продуктивність за годину, кг	
чистої роботи	0,89
експлуатаційного часу	0,52
Ширина захвату, м	2,8
Кількість рядків, <u>викопуваних</u> машиною	4
Основна ширина міжрядь, на яку розрахована машина, см	70
Швидкість, <u>км/год</u> :	
робоча	1—6
транспортна	До 20
Габаритні розміри (в транспортному положенні), мм	10100x3800x3850
Необхідна ширина поворотної смуги, м	18
Конструкційна маса (з комплектом робочих органів), кг	12310
Дорожній просвіт, мм	350

Аналіз конструкцій підкопуючої частини

Підкопувальні робочі органи призначаються для операції підкопування бульбоносних пластів ґрунту на глибини залягання картоплі, піднімання і передавання їх на сепаруючі робочі органи. Підкопувальні робочі органи повинні забезпечити забір якомога меншої кількості ґрунту разом з картоплею і поряд із проведенням якомога кращого кришіння пластів для полегшення подальшого сепарування.

Залежно від характеру впливу на пласти ґрунту підкопувальні робочі органи

підрозділяються на пасивної, активної і комбінованої дії; залежно від форми на: плоскої, секційної і коритоподібної форми. Основні види підкопувальних робочих органів зображені на рисунку 1.6.

Найпростішими конструкціями пасивних підкопувальних органів є плоскі прямі лемеші (рисунок 1.6, а). Такі лемеші слід застосовувати на в'язких ґрунтах за відсутності бур'янів. На рихлих і забур'янених типах ґрунтів рослини не перерізаються лезами, огортають їх, і як наслідок спостерігається так зване нагромадження пластів. Ці недоліки усуваються при застосуванні плоских лемешів трикутної форми (рисунок 1.6, б). Кути сходження лемешів γ виконують такими, щоби рослини пересувались по лезах. В двохрядних картоплезбиральних машинах плоскі лемеші за звичай складаються з 2-ох секцій – права і ліва. Кожну із секцій закріплюють консольно на кронштейнах. З метою зменшення кутів γ та глибини підкопування пластів для вільного проходження ланок елеваторів, в двохрядних картоплезбиральних машинах деколи встановлюється третя середня секція (рисунок 1.6, в). Недоліками плоских лемешів вважається явище розсипування ґрунта з певною кількістю картоплі по сторонам, особливо при проведенні робіт на рихлих нев'язких ґрунтах. Ці недоліки усуваються за використання коритоподібних та багатосекційних лемешів.

Особливостями конструктивних виконань секційних лемешів (рисунок 1.6, г) є закріплення кронштейнів окремих їх секцій на з'єднаннях боковин рам, які знаходяться під нижніми гілками елеваторів. З метою уникнення випадання бульб картоплі на сторони, з боків секційних лемешів також в окремих випадках встановлюють ножі дискового типу.

Коритоподібні лемеші (рисунок 1.6, д) утворюються з 2-ох секцій – права і ліва. Між секціями зберігається зазор, порядку 30...50 мм, для можливості видалення рослин. Недоліками коритоподібних лемешів вважається явище налипання ґрунтів в місцях заокруглення при проведенні робіт на вологих та відповідно липких типах ґрунтів.

Недоліки, якими володіють пасивні плоскі лемеші, не спостерігаються в комбінованих та активних підкопувальних робочих органах картоплезбиральних машин. Поміж комбінованими робочими органами доволі велика група складає

підкопувальні робочі органи, які поєднують пасивні лемеші і додаткові пристрої, що призначені для активізації руйнування пластів і передавання їх на сепарувальні робочі органи. Широке використання знайшли комбіновані робочі органи, які мають пасивні плоскі секційні лемеші та активні боковини (рисунок 1.6, е), яким передається коливальний рух за допомоги ексцентрикових валів.

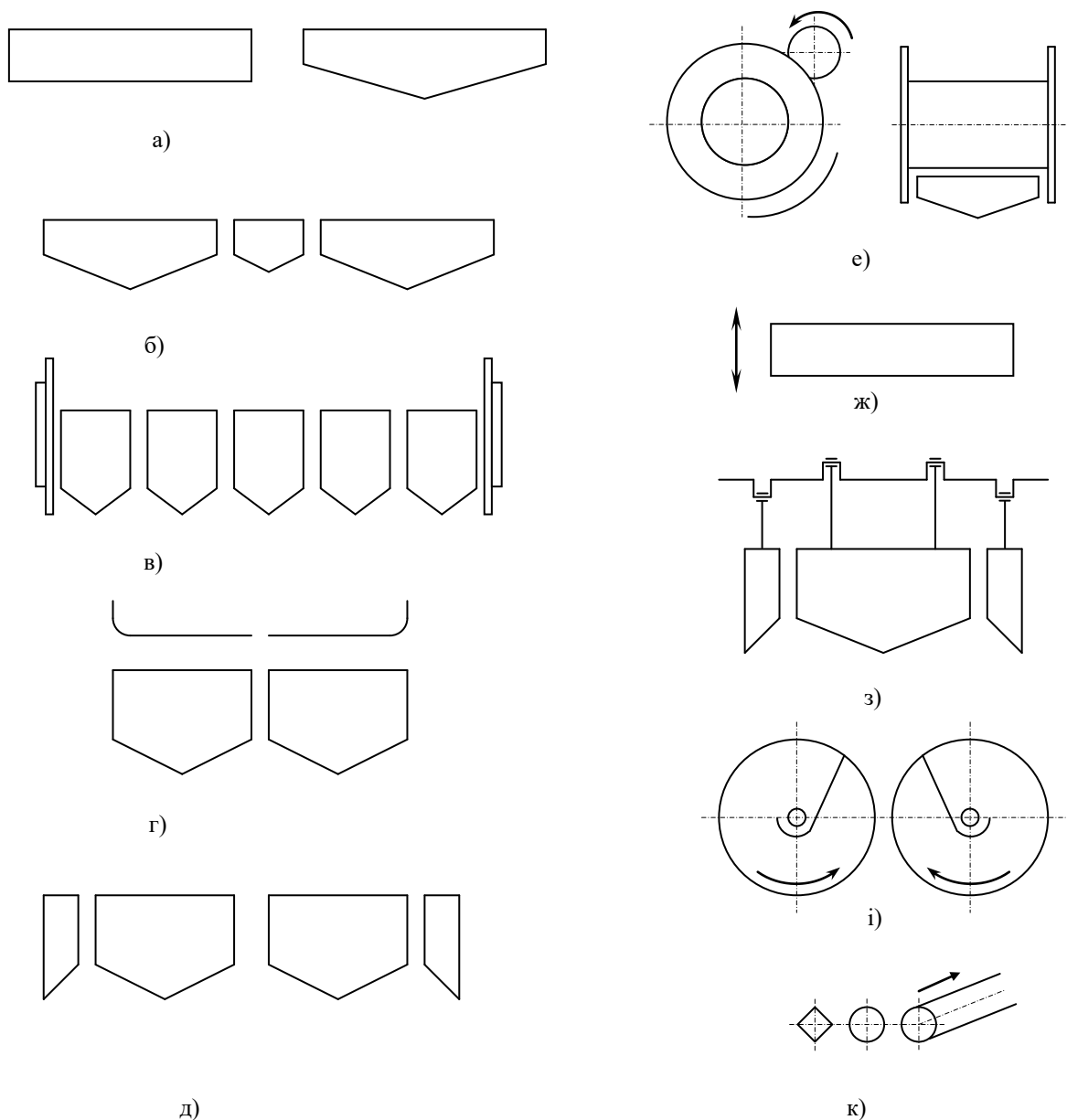


Рисунок 1.6 – Основні типи підкопувальних робочих органів

Прикладом комбінованих підкопуючих органів є також дискові грядкопідійомники, котрі складаються з лемешів і барабанів з закріпленими на них

дисками по бокам (рисунок 1.6, ж). Барабани перекочуються по гребенях рядків, пласти, підрізані лемешами та дисками, зацімлюються поміж дисків, переміщуються по лемешах вверх і скидаються обертаючими бітерами на елеватори. Перевагами таких підкопуючих робочих органів є піднімання пластів на відносно велику висоту, підкопування самих рядків, відсутність явища розвалювання пластів по сторонах.

В якості активних підкопуючих органів застосовують коливні лемеші (рисунок 1.6, з). Їх характерними ознаками є самоочищуваність лез та активне переміщення пластів при будь-якому стані ґрунтів. Леза цих лемешів можуть бути виконані без кутів сходу і не мати зазорів для виходу рослинних включень. З метою забезпечення меншої кількості ґрунту, що забирається при підрізанні рядків ці лемеші можуть бути виконані гнучими по профілях залягання картоплі в гніздах. Недоліками коливних лемешів є пилоподібний характер траєкторій руху лез, що робить необхідним заглиблювати їх дещо глибше, ніж пасивні лемеші.

Розроблено також конструкції лемешів, які можуть працювати в протифазах з коливними боковинами, що дозволить зрівноважувати сили інерції (рисунок 1.6, і).

Є також розроблені конструкції активних лемешів дискових типів (рисунок 1.6, к). Перевагами таких робочих органів є примусове переміщування підкопаних пластів та можливість для звужування потоків підкопаних матеріалів.

В картоплезбиральних машинах закордонного виробництва використовуються активні валикові підкопуючі робочі органи. Зазвичай вони складаються з двох валиків (квадратних та круглих), які здійснюють обертання в напрямі пересування пластів. Такі робочі органи дозволяють підкопувати пласти малих товщин та підбирати бульби картоплі з валків.

1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення продуктивності та якості збирання картоплі шляхом удосконалення лемешів картоплезбирального комбайну типу КСК-4.

При конструюванні картоплезбиральних на протязі тривалого часу зберігається тенденція розроблення універсальних робочих органів, котрі під час роботи в різноманітних умовах, за порівняно простої конструкції, були б високоефективними, довговічними та не пошкоджували бульб картоплі.

Однак, до тепер, поки що не розроблено такого універсального робочого органу. Прагнення усунути ці проблеми стало причинами розроблення великого числа різних робочих органів, котрі були проаналізовані нами раніше при огляді конструкцій машин для збирання картоплі. Проте лиш деяка кількість цих робочих органів впроваджено у використання на практиці збирання врожаїв картоплі.

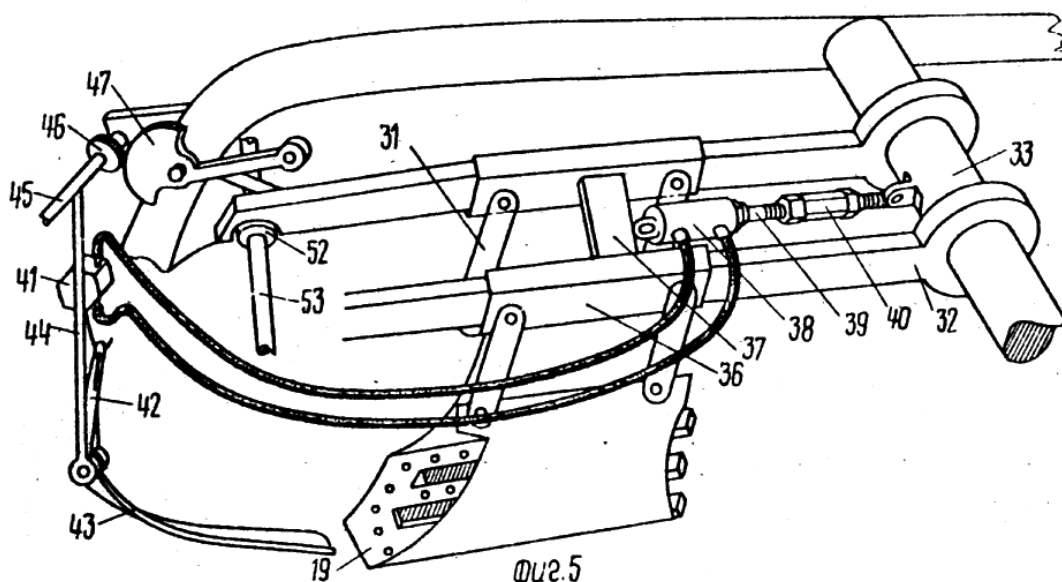


Рисунок 1.7 – Механізм для автоматичних регулювань величини заглиблювання вібраційного лемеша

Базові конструкції розглядуваних у роботі картоплезбиральних комбайнів

були обладнані вібраційними лемешами, а також декількома елеваторами для сепарації.

З метою покращення продуктивності та якості проведення робіт пропонується внутрішні площини вібраційних лемешів виконувати у вигляді направлених вгору повітровипускних отворів та повздовжніх зубів, що містять внутрішні канали, які також облаштовані повітровипускними отворами, сполученими з джерелом повітря під тиском для оптимального сепарування підкопаних пластів.

Крім цього приймальні частини комбайнів варто облаштувати механізмами для здійснення автоматичних регулювань заглиблювання вібраційних лемешів.

На основі міркувань наведених вище основними завданнями кваліфікаційної дипломної роботи буде проведення удосконалень конструкції лемешів картоплезбиральних комбайнів типу КСК-4 з обґрунтуваннями їх основних параметрів.

У роботі слід розглянути ряд питань.

Необхідно провести огляд особливостей проведення операції збирання урожаю картоплі машинами даного типу і проаналізувати основні переваги та можливі недоліки подібних агрегатів.

Потрібно провести розрахунки основних параметрів картоплезбиральних комбайнів, зокрема технологічні, конструктивні та енергетичні. На основі цього внести зміни у наявну конструкцію машини та провести відповідні міцнісні розрахунки.

Необхідно провести обґрунтування міцнісних характеристик ведучого вала повздовжнього елеватора та дослідити його напружено-деформований стан.

У роботі також слід розглянути питання з охорони праці при роботі з картоплезбиральною технікою та безпеки життєдіяльності.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

2.1. Технологічні розрахунки

Розраховуємо продуктивність картоплезбирального агрегату за формулою:

$$W_{\varepsilon} = 0,36 \cdot B_p \cdot V_M \cdot \tau, \text{ га/год} \quad (2.1)$$

де B_p – ширина захвату комбайну, м;

V_M – швидкість руху комбайну, км/год;

τ – коефіцієнт використання робочого часу зміни, $\tau=0,9$.

Знайдемо ширину захвату агрегату згідно формули:

$$B_p = b_p \cdot n_p, \text{ м} \quad (2.2)$$

де b_p – ширина міжряддя, $b_p = 0,7$ м;

n_p – число рядів, що викопується за один прохід, $n_p = 4$.

Отже, за формулою (2.2) отримаємо:

$$B_p = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{ м.}$$

Враховуючи, що швидкість руху картоплезбирального комбайна $V_M = 3,2$ км/год згідно формули (2.1) отримаємо:

$$W_{\varepsilon} = 0,36 \cdot 2,8 \cdot 3,2 \cdot 0,9 = 2,9 \text{ га/год}$$

Число годин роботи картоплезбирального комбайну в рік знайдемо згідно формули:

$$T_p = \frac{W_p}{W_{\varepsilon}}, \text{ год} \quad (2.3)$$

де W_p – величина річного об'єму виробництва, $W_p = 350$ га;

Тоді

$$T_p = \frac{350}{2.9} = 120.7 \text{ год.}$$

Розрахунки підкопуючої частини

Підкопувальна частина картоплезбирального комбайну призначається для підрізування бульбоносних пластів на задану глибину та подавання їх на сепаруючі елеватори. В даному комбайні підкопуюча частина складається з вібруючих лемешів з боковинами, котрі запобігають виникненню явища розсипуванню пластів ґрунту з бульбами та відповідно втратам картоплі.

Розрахунки підкопуючих лемешів

Кути нахилу лемешів α вибирають виходячи із умови забезпечування ковзання бульбоносного шару по поверхнях лемешів, тобто повинна виконуватись наступна умова:

$$\alpha \leq \varphi, \quad (2.4)$$

де φ – кут тертя усієї маси бульбоносних пластів по поверхнях лемешів, $\varphi = 30 \dots 40^\circ$ [24].

У відповідності із умовою (2.4) та проведеними експериментальними дослідженнями в даній галузі оптимальні значення цих кутів α складає 25° [24].

Кути сходження лемешів γ вибираються із умови забезпечування ковзних рухів по лезах лемешів рослинних залишків, що забезпечує їх перерізання або виведення за межі підкопуючих частин. Для того, щоб виконувалась ця умова необхідним є справдження наступної нерівності:

$$\gamma \leq 2\psi, \quad (2.5)$$

де ψ – величина кута тертя рослинних залишків по поверхнях лемешів, $\varphi = 45 \dots 50^\circ$ [24].

Прийmemo значення кута $\psi = 45^\circ$.

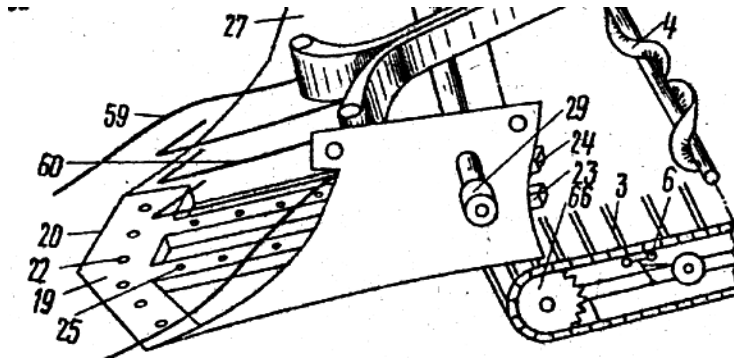


Рисунок 2.1 – Технологічна схема підкопувальної частини

Ширина лемешів b визначається із умови найменшого завантаження сепаруючих органів бульбоносним шаром з одного боку, та забезпечення відсутності втрат картоплі:

$$b = B - 2b_1, \quad (2.6)$$

де B – величина ширини підкопаного пласту, $B = 400$ мм;

b_1 – значення зазору між лемешами та боковинами, $b_1 = 20$ мм.

$$b = 400 - 2 \cdot 20 = 360 \text{ мм}$$

Довжина лемешів L визначається згідно формули [2]:

$$L = \frac{h_{\text{л}}}{\sin \alpha} - l_{\text{п}}, \quad (2.7)$$

де $h_{\text{л}}$ – значення висоти підйому пластів лемешами, м;

$l_{\text{п}}$ – значення довжини відкидних пальців, м.

$$h_{\pi} = d + s + b \cdot \operatorname{tg} \theta / 2, \quad (2.8)$$

де d – діаметр зірочок елеваторів, $d = 0,13$ м;

s – величина найбільшого розміру твердих груд та каміння, $s = 0,06 \dots 0,08$ м.

$$h_{\pi} = 0,13 + 0,05 + 0,36 \cdot \operatorname{tg} 30^{\circ} / 2 = 0,27 \text{ м.}$$

Довжина відкидних пальців розраховується за умовою:

$$l_{\pi} \geq s. \quad (2.9)$$

Приймаємо $l_{\pi} = 0,1$ м.

Отже:

$$L = \frac{0,27}{\sin 30^{\circ}} - 0,1 = 0,44 \text{ м.}$$

Значення ширини відкидних пальців, виходячи із конструктивних міркувань, приймемо рівною $b_{\pi} = 4$ см.

Знайдемо кількість пальців згідно формули:

$$z = \frac{b}{b_{\pi} + \Delta b}, \quad (2.10)$$

де Δb – значення монтажного зазору між пальцями, $\Delta b = 0,01 \dots 0,03$ м.

$$z = \frac{0,36}{0,04 + 0,02} = 6.$$

2.2. Розрахунок гідроприводу комбайну

При розробці механізму для проведення автоматичних регулювань величин

заглиблювання вібраційних лемешів планується провести заміну механічного приводу роторів на гідравлічний. На даний час, на закордонних картоплезбиральних комбайнах широко застосовується гідравлічний привід робочих органів, особливо там, де використання механічного приводу є недоцільним.

Складання принципової гідравлічної схеми

Гідравлічні схеми будь-яких машин має складатися із трьох основних частини:

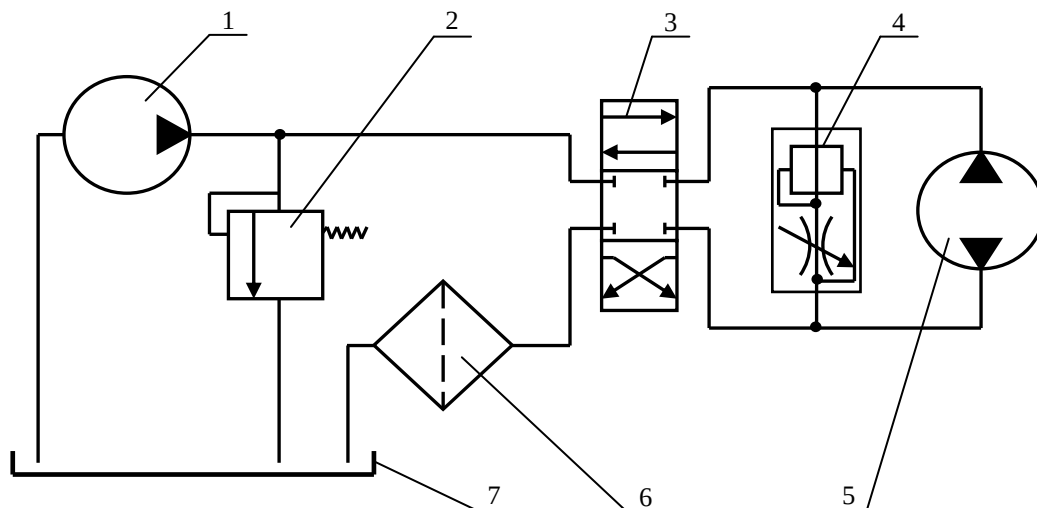
- силової або насосної, в яких механічна енергія привідних двигунів перетворюється в гідравлічну енергію робочих рідин;
- розподільчо-регулювальної, яка забезпечує зміну спрямування руху робочих рідин від насосів до гідромоторів і далі в гідробаки, дозволяє проводити регулювання швидкості потоку робочих рідин, а отже і швидкості дії виконавчих механізмів;
- виконавчі або робочі частини (гідродвигуни), які призначені для приведення в рух робочих органів машини.

Окрім цього в гідравлічні системи входять: гідробаки, фільтра, трубопроводи, клапани запобіжні та інше обладнання допоміжного характеру.

Для того, щоб забезпечити можливість регулювань величин заглиблювання лемешів для приводу механізмів регулювання виберемо регульовану гідравлічну систему із дросельним регулюванням.

З огляду кінематичної схеми картоплезбирального комбайну складемо принципову гідравлічну схему даного агрегату(рисунок 2.2).

Від правильного вибору робочих рідин багато в чому залежить роботоздатність гідравлічного приводу та довговічність всього гідрообладнання. Навіть оптимально спроектовані гідросистеми може виявитись непрацездатними або малоефективними, в тому випадку якщо робочі рідини не будуть відповідати заданим умовам експлуатації.



1 – гідронасос; 2 – запобіжний клапан; 3 – розподільник; 4 – дросельно-регулюючий пристрій; 5 – гідромотор; 6 – фільтр; 7 – гідробак.

Рисунок 2.2 – Принципова гідравлічна схема для приводу механізмів регулювання

Марка робочих рідин вибирається виходячи із певних умов експлуатації, типу насосів і відповідальності гідросистем. Чим нижчою є температура повітря, тим меншою має бути в'язкість рідин.

Виходячи із розглянутих рекомендацій та для забезпечення уніфікації з гідросистемами картоплезбиральних комбайнів в якості робочих рідин вибираємо масло М10Г [15].

Розрахунок основних параметрів гідромоторів проведемо при їх повному завантаженні, тобто повна потужність та найменші частоти обертання ведучих валів.

Визначимо крутні моменти, які необхідно прикласти до ведучих валів:

$$M_{кр} = \frac{30 \cdot N}{1000 \cdot \pi \cdot n_{min}}, \quad (2.11)$$

де N – величина потужності на привід механізмів регулювання, $N = 3,34$ кВт;

$n_{\min}$ – значення мінімальної частоти обертання ведучих валів,
 $n_{\min} = 236 \text{ хв}^{-1}$.

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot 3,34}{1000 \cdot 3,14 \cdot 236} = 135,2 \text{ Н·м.}$$

Визначимо витрати робочих рідин за один оберт валу гідромотора [15]:

$$q_m = \frac{M_{\text{кр}} \cdot 2\pi}{P \cdot \eta_{\text{заг}}}, \quad (2.12)$$

де P – значення перепаду тиску на гідромоторі, $P = 9 \text{ МПа}$;

η – величина загального ККД гідромотору, $\eta = 0,78$ [15].

$$q_m = \frac{135,2 \cdot 2 \cdot 3,14}{13 \cdot 0,78} = 83,7 \text{ см}^3/\text{об.}$$

Для приводів робочих органів картоплезбиральних машин використовуються такі типи гідромоторів:

- а) шестеренчастого типу: МНШ-32У, МНШ-46У, ГМШ-32-3, ГМШ-50-3, ГМШ-100-3;
- б) аксіально-поршневого типу: НПА-64, 210-12, 210-16, 210-25;
- в) планетарного типу: ПМТ-320, ПМТ-400, МГП-80, МГП-100, МГП-160.

Із цих гідромоторів найбільш широко застосовуються гідромотори планетарного типу, які можуть експлуатуватися як при низьких швидкостях обертів ($5 \dots 300 \text{ хв}^{-1}$) так і при достатньо високих значеннях крутних моментів ($120 \dots 300 \text{ Н·м}$).

При застосуванні гідромоторів планетарного типу можна проводити зміну напрямку потоків масла (реверсування). Перевагами даних конструкцій гідромоторів є те, що при плавальних роторах та безпосередніх розподіленнях рідин забезпечуються високі об'ємні ККД (близько 0,99). Однак, через малі значення пропускних здатностей каналів такі гідромотори рекомендовано для

використання для вузлів з малими частотами обертів робочих органів.

Тому враховуючи технічні характеристики планетарних гідромоторів виберемо гідромотор МГП-100, технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.1 [15].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики гідромотору МГП-100

Показники	Значення
Робочий об'єм, см ³ /об	100
Тиск, МПа:	
Номінальний	16
максимальний	21
Частота обертання, с ⁻¹	
мінімальна	0,17
максимальна	10,8
Крутний момент, Н · м	158
Повний коефіцієнт корисної дії	0,78
Корисна потужність, кВт	6,0
Маса, кг	10

Вихідними даними при виборі гідронасосів вважається величина пропускної здатності гідромотора та частоти обертів ведучих валів механізмів регулювання.

$$q_m = 80,5 \text{ см}^3/\text{об};$$

$$n_{\max} = 250 \text{ хв}^{-1}.$$

Визначимо витрати робочих рідин гідронасосами для приводу гідромоторів [15]:

$$Q_n = \frac{q_m \cdot n_{\max}}{10^3}, \quad (2.13)$$

$$Q_n = \frac{80,5 \cdot 250}{10^3} = 20,125 \text{ л/хв.}$$

Визначимо величину необхідного робочого об'єму гідронасоса:

$$q_n = \frac{n_m}{n_n} \cdot \frac{q_n}{\eta}, \quad (2.14)$$

де n_m – значення максимальної частоти обертання валу гідромотора, $n_m = 250 \text{ хв}^{-1}$;

n_n – значення частоти обертів валу гідронасоса, $n_n = 1920 \text{ хв}^{-1}$;

η – значення коефіцієнту корисної дії передачі, $\eta = 0,8$.

$$q_n = \frac{250}{1920} \cdot \frac{80,5}{0,8} = 13,1 \text{ см}^3/\text{об.}$$

В гідравлічних системах тракторів та більшості сільськогосподарських машин гідравлічні насоси є основними засобами для перетворення механічної енергії двигунів енергозасобів в енергію потоку рідини, що приводить в дію усі елементи гідроприводів. Залежно від характеру процесів витіснення робочих рідин гідронасоси поділяються на поршневі, пластинчасті та ротаційні.

Серед них найбільшого поширення в сільськогосподарських машинах знайшли гідронасоси ротаційні шестеренчасті.

Виходячи із практики використання в сільськогосподарських машинах та високої надійності при експлуатації виберемо гідронасос шестеренчастого типу НШ. Для таких насосів допускається $n_n = 800 \dots 2400 \text{ хв}^{-1}$ та $P_n = 14 \dots 16 \text{ МПа}$.

З огляду із проведених розрахунків приймемо гідронасос марки НШ-32-2, технічні характеристики котрого наведемо в таблиці 2.2.

Тип і марка розподільника вибирається за величиною номінального тиску, значенням подачі насоса та числом гідродвигунів.

Головними параметрами розподільних апаратів є:

– умовні проходи;

- значення номінального тиску;
- номінальні витрати робочих рідин.

Під умовними проходами розуміється величина номінального внутрішнього діаметру вхідного отвору, заокруглена до найближчого значення з ряду встановленого згідно ГОСТ 16516-70.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика гідронасоса НШ-32-2

Показники	Значення
Робочий об'єм, см ³ /об	31,5
Тиск, МПа:	
номінальний	14
максимальний	16
Частота обертання, с ⁻¹	
мінімальна	32
максимальна	40
мінімальна	15
Споживана потужність, кВт	15,4
Коефіцієнт корисної дії:	
об'ємний	0,92
повний	0,8
Маса, кг	6,8

Величина умовного проходу розподільника визначимо за формулою [15]:

$$D_y = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{Q}{V_p}}, \quad (2.15)$$

де V_p – величина швидкості рідини в каналах розподільника, $V_p = 5 \dots 10$ м/с.

$$D_y = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2,79 \cdot 10^{-5}}{12}} = 0,006 \text{ м.}$$

Виберемо розподільник Р75-В3, максимальні витрати рідини через котрий складає 75 л/хв, з робочим тиском – 14 МПа, числом золотників – 3.

Регулювальна апаратура призначається для захисту гідроприводів від можливих перевантажень, для змінювання тиску та витрат робочих рідин через часткове відкриття чи перекриття прохідних клапанів.

При розробці гідроприводів регулюючу гідроапаратуру зазвичай не розраховують, а вибирають за номінальними тисками, витратами робочих рідин та умовних проходах. Згідно цих показників відповідають клапани Г-52-1-1,5, для яких номінальні витрати рідини складають 0,4 л/с, налаштування значень робочих тисків в межах – 1,5...15 МПа.

Запобіжні клапани налагоджуються на значення тиску, яке визначається згідно формули [15]:

$$P_{нк} = 1,05 \cdot P_{н},$$

$$P_{нк} = 1,05 \cdot 14 = 14,7 \text{ МПа.}$$

Регулятори потоків для підтримування сталих витрат робочих рідин незалежно від перепадів тиску на вході та виході повинні складатися з дроселів та послідовно включених редуційних клапанів. В цьому випадку дроселі встановлюють витрати робочих рідин, а редуційні клапани підтримують постійні перепади тиску на гідромоторах.

Виберемо регулятори Г-55-3, для яких номінальні витрати рідини складають 0,6 л/с, мінімальні витрати рідини – 0,004 л/с, діапазони змін вихідного тиску – 0,5...14,5 МПа.

Зважаючи, що для планетарних гідромоторів є необхідною підвищена чистота робочих рідин (10 мкм), пропонується встановлення на зливних лініях фільтри 1.140.10 (ОСТ – 22833 - 75)

Під гідравлічними розрахунками трубопроводів розуміється встановлення

значень внутрішніх діаметрів труб на основі рекомендованих значень швидкостей потоку робочих рідин, вибір матеріалів для труб та розрахунок товщин стінок для трубопроводу.

Значення внутрішніх діаметрів рукавів високих тисків знайдемо за формулою:

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{60 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot V_{\text{пр}}}}, \quad (2.16)$$

де Q – витрати робочих рідин через рукава, $Q = 20,125$ л/хв;

$V_{\text{пр}}$ – значення швидкості потоку робочих рідин:

напірні трубопроводи $V_{\text{пр}} = 3 \dots 6$ м/с;

зливні трубопроводи $V_{\text{пр}} = 1,4 \dots 2,25$ м/с;

всмоктувальні трубопроводи $V_{\text{пр}} = 0,5 \dots 1,5$ м/с.

Величина діаметру напірного трубопровода:

$$d_H = \sqrt{\frac{4 \cdot 20,125}{60 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 5}} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Величина діаметру зливного трубопровода:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 20,125}{60 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 1,8}} = 15,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Величина діаметру всмоктувального трубопровода:

$$d_B = \sqrt{\frac{4 \cdot 20,125}{60 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 1}} = 20,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

В дренажних трубопроводах потрібно забезпечити вільне зливання накопичених рідин, тому незалежно від величини втрат значення мінімального

діаметру дренажної лінії повинне бути в межах 8...10 мм.

Згідно ГОСТ 8734-75 приймемо:

$$d_H = 10 \text{ мм};$$

$$d_3 = 16 \text{ мм};$$

$$d_B = 20 \text{ мм};$$

$$d_d = 8 \text{ мм}$$

Товщина стінки трубопроводу знайдемо згідно формули [15]:

$$\delta = \frac{P_{\max} \cdot d}{2 \cdot [\sigma_p]}, \quad (2.17)$$

де $P_{\max}$ – величина максимального тиску робочих рідин, $P_{\max} = 14,7$ МПа;

m – допустиме значення відхилень діаметра трубопроводів, мм;

$[\sigma_p]$ – величина допустимого напруження для матеріалу труб, МПа.

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_B}{n_B}, \quad (2.18)$$

де σ_B – межа міцності матеріала труб, МПа;

n_B – значення коефіцієнту запаса міцності, $n_B = 3...5$.

В якості матеріалу для труб приймемо Сталь 10, для котрої $\sigma_B = 320$ МПа.

$$[\sigma_p] = \frac{320}{4} = 80 \text{ МПа}$$

Отже значення товщини стінки напірного трубопроводу складатиме:

$$\delta_H = \frac{14,7 \cdot 0,01}{2 \cdot 80} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Приймемо $\delta_H = 1$ мм.

Значення товщини стінки зливних та всмоктувальних трубопроводів з умови міцності при монтажі приймемо рівною 0,5 мм. Значення товщини стінки

дренажних трубопроводів приймемо рівною 0,3 мм.

З огляду на компоновання гідроприводів на машини, визначимо значення довжини трубопроводів:

- від насосу до розподільників $l_{н-р} = 1,5$ м;
- від розподільників до гідромотору $l_{р-г} = 3,5 + 3,5 = 7$ м;
- від розподільників до гідробаку $l_{р-б} = 1,5$ м.

Визначаємо величину втрат тиску в трубопроводах від насосу до розподільників:

Число Рейнольдса:

$$R_e = \frac{5 \cdot 0,01}{10 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^3.$$

Порівняємо отримане значення з критичним числом Рейнольдса:

$$R_e = 5 \cdot 10^3 > R_{e\text{кр}} = 2300 \text{ — що характерно для турбулентного режиму.}$$

Розрахуємо значення коефіцієнту тертя згідно формули Блазіуса [15]:

$$\lambda = 0,3164 \cdot R_e^{-0,25}, \quad (2.19)$$

$$\lambda = 0,3164 \cdot 5000^{-0,25} = 0,037.$$

Знайдемо втрати тиску:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{V_p^2}{2} \cdot \rho, \quad (2.20)$$

де ρ – густина робочих рідин, $\rho = 865$ кг/м³.

$$\Delta P_{н-р} = 0,037 \cdot \frac{1,5}{0,01} \cdot \frac{5^2}{2} \cdot 865 = 0,060 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Аналогічно визначаємо величину втрат тиску в трубопроводах від

розподільників до гідромотору:

Число Рейнольдса:

$$R_e = \frac{5 \cdot 0,01}{10 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^3.$$

Порівняємо його із значенням критичного числа Рейнольдса:

$$R_e = 5 \cdot 10^3 > R_{e_{кр}} = 2300 - \text{характерно для турбулентного режиму.}$$

Коефіцієнт тертя:

$$\lambda = 0,3164 \cdot 5000^{-0,25} = 0,037.$$

Втрати тиску:

$$\Delta P_{p-г} = 0,037 \cdot \frac{7}{0,01} \cdot \frac{5^2}{2} \cdot 865 = 0,28 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Величина втрат тиску в трубопроводах від розподільників до гідробаку:

Число Рейнольдса:

$$R_e = \frac{1,8 \cdot 0,016}{10 \cdot 10^{-6}} = 2,9 \cdot 10^3.$$

Порівняємо його із значенням критичного числа Рейнольдса:

$$R_e = 2,9 \cdot 10^3 > R_{e_{кр}} = 2300 - \text{характерно для турбулентного режиму.}$$

Коефіцієнт тертя:

$$\lambda = 0,3164 \cdot 2900^{-0,25} = 0,043.$$

Втрати тиску:

$$\Delta P_{p-b} = 0,043 \cdot \frac{1,5}{0,016} \cdot \frac{1,8^2}{2} \cdot 865 = 0,005 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Знайдемо величину втрат тиску в трубопроводах від гідробаку до гідронасосу:

Число Рейнольдса:

$$R_e = \frac{1,0 \cdot 0,02}{10 \cdot 10^{-6}} = 2000 .$$

Порівняємо його із значенням критичного числа Рейнольдса:

$R_e = 2000 < R_{e \text{ кр}} = 2300$ – характерно для ламінарного режиму.

Коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \frac{75}{R_e}, \quad (2.21)$$

$$\lambda = \frac{75}{2000} = 0,038$$

Втрати тиску:

$$\Delta P_{b-n} = 0,038 \cdot \frac{1,5}{0,02} \cdot \frac{1,0^2}{2} \cdot 865 = 0,001 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Знайдемо величину сумарних лінійних втрат тиску в трубопроводах:

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,06 + 0,28 + 0,005 + 0,001 = 0,346 \text{ МПа.}$$

З компоновочної схеми гідропривода маємо такі значення місцевих опорів:

а) в трубопроводах від насоса до розподільників:

вихід і вхід під кутом $90^0 - 2$;

плавні повороти під кутом $90^0 - 5$.

б) в трубопроводах від розподільників до гідромотору:

вихід і вхід під кутом $90^0 - 4$;

плавні повороти під кутом $90^0 - 4$;

плавні повороти під кутом $30^0 - 4$.

в) в трубопроводах від розподільників до гідробаку:

вихід і вхід під кутом $90^0 - 2$;

плавні повороти під кутом $90^0 - 2$;

плавні повороти під кутом $30^0 - 2$;

фільтр – 1;

вхід в гідробак – 1.

г) в трубопроводах від гідробаку до гідронасосу:

вихід з гідробаку – 1;

вихід під кутом $90^0 - 1$;

плавні повороти під кутом $90^0 - 2$.

Величина втрат тиску від значення місцевих опорів знайдемо згідно формули [15]:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho, \quad (2.22)$$

де ξ – коефіцієнт місцевих втрат опору.

Для входів і виходів під кутом 90^0 $\xi = 1,4$;

Для плавних поворотів під кутом 90^0 $\xi = 0,15$;

Для плавних поворотів під кутом 30^0 $\xi = 0,12$;

Для входів і виходів з гідробаку $\xi = 0,7$;

Фільтр $\xi = 2,5$;

Розподільник $\xi = 4$;

$$\Delta P_{M-H-P-\Gamma} = (6 \cdot 1,4 + 9 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,12 + 4) \cdot \frac{5^2}{2} \cdot 865 = 0,154 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{p-б} = (2 \cdot 1,4 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,12 + 0,7 + 2,5) \cdot \frac{1,8^2}{2} \cdot 865 = 0,009 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$\Delta P_{б-н} = (1,4 + 2 \cdot 0,15 + 0,7) \cdot \frac{1^2}{2} \cdot 865 = 0,001 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Величина сумарних втрат тиску від місцевих опорів:

$$\Delta P_{\text{м}} = 0,154 + 0,009 + 0,001 = 0,164 \text{ МПа}.$$

Величина сумарних втрат тиску

$$\Sigma \Delta P = 0,346 + 0,164 = 0,51 \text{ МПа}.$$

Визначення коефіцієнту корисної дії гідроприводів

Значення потужності, яка затрачається на привод гідронасосу:

$$N_{\text{н}} = \frac{N_{\text{м}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{м}}} + \Sigma \Delta P \cdot Q, \quad (2.23)$$

$$N_{\text{н}} = \frac{3,34}{0,98 \cdot 0,9} + 0,51 \cdot 10^6 \cdot 0,335 \cdot 10^{-3} = 3,96 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт корисної дії гідропривода знайдемо згідно формули:

$$\eta_{\text{г}} = \frac{N_{\text{н}}}{N_{\text{м}}}, \quad (2.24)$$

$$\eta_{\text{г}} = \frac{3,34}{3,96} = 0,84.$$

Визначення місткості гідробаків

Величина втрат потужності в гідроприводі:

$$\Delta N = N_{\text{н}} - N_{\text{м}}, \quad (2.25)$$

$$\Delta N = 3,96 - 3,34 = 0,62 \text{ кВт.}$$

Знайдемо кількість теплоти, яка виділиться за годину роботи гідропривода:

$$\Theta = \frac{\Delta N}{1,16} \cdot K_d, \quad (2.26)$$

де K_d – величина коефіцієнта, який враховує тривалість безперервної роботи гідропривода, $K_d = 0,9$.

$$\Theta = \frac{620}{1,16} \cdot 0,9 = 481,7 \text{ ккал/год.}$$

Знайдемо місткість гідробаків із умови нагрівання робочих рідин:

$$V_b = \frac{1}{1000} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Theta}{\Delta T}\right)^3}, \quad (2.27)$$

Приймемо значення допустимої температури нагрівання робочих рідин $\Delta T = 70^\circ \text{C}$.

$$V_b = \frac{1}{1000} \cdot \sqrt{\left(\frac{481,7}{70}\right)^3} = 0,018 \text{ м}^3.$$

Визначимо значення розрахункової площі поверхні баку:

$$F_b = (6...7) \cdot \sqrt[3]{V_b^2}, \quad (2.28)$$

$$F_b = 6,5 \cdot \sqrt[3]{0,018^2} = 0,45 \text{ м}^2.$$

Знайдемо значення температури робочих рідин при встановленому режимі роботи:

$$\Delta T' = \frac{\Theta}{K \cdot F} + t_{0\max} \quad (2.29)$$

де K – величина коефіцієнта тепловіддачі, $K = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

$$\Theta = 481,7 \cdot 1,16 = 558,8 \text{ Вт.}$$

$$F = F_6 \cdot \alpha_6, \quad (2.30)$$

Де α_6 – значення коефіцієнта розрахункової площі розсіювання гідропривода, $\alpha_6 = 1,8$.

$$F = 0,45 \cdot 1,8 = 0,81 \text{ м}^2.$$

$$\Delta T' = \frac{558,8}{20 \cdot 0,81} + 30 = 64,5 ^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T' = 64,5 ^\circ\text{C} < \Delta T = 70 ^\circ\text{C}.$$

Висновок: вибраний гідропривід відповідає необхідним технічним вимогам, а отже дозволяє безпечно проводити вказану операцію.

2.3. Розрахунки на міцність елементів конструкції

2.3.1. Розрахунок величин навантажень на вали повздовжнього пруткового елеватора

Щоб визначити значення величин навантажень на вали елеватора скористаємось рисунком 2.3.

Так як ланцюги елеватора мають порівняно невеликі розбіжності по

довжинах, а потужність на приведення їх в дію розподіляється практично порівну між обома, то величини навантажень на вали від дії зусиль, що виникають в ланцюгах будемо вважати розподіленими рівномірно по довжині валу. Також по аналогії, за рахунок однакових товщин шару ґрунту по ширині елеватора навантаження на вали внаслідок ваги ґрунту також буде розподіленим рівномірно.

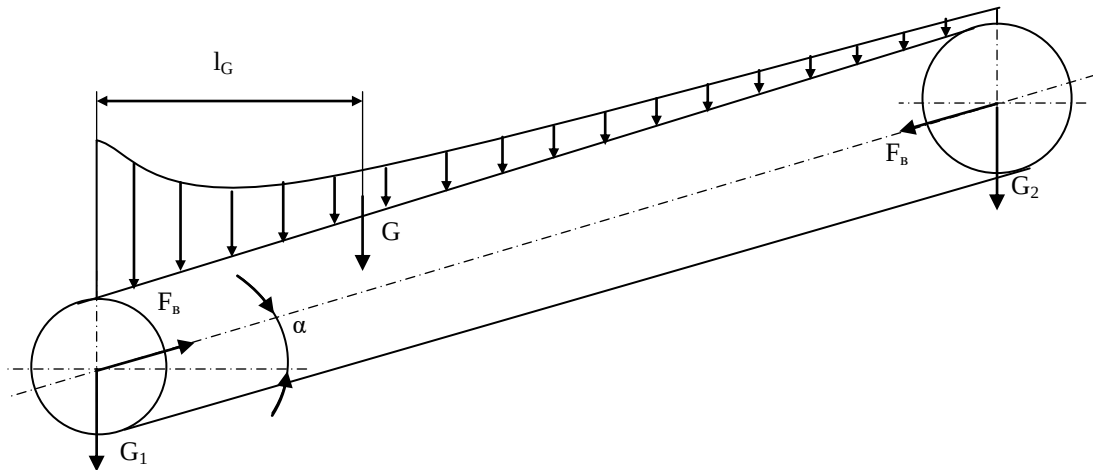


Рисунок 2.3 – Схема навантажень на вали повздовжнього елеватора

Величину навантажень на вали при дії ланцюгових передач знаходимо згідно формули:

$$F_B = \frac{z \cdot (F_t + 2 \cdot 9,81 \cdot k_f \cdot q \cdot a)}{B}, \quad (2.31)$$

де z – число ланцюгів, $z = 7$;

F_t – величина колового зусилля на зірочках, Н;

k_f – значення коефіцієнту, що враховує вплив величини провисання ланцюга, при $\alpha = 30^\circ k_f = 3,5$ [11];

q – вага 1-го погонного метра ланцюга, $q = 2,1$ кг/м [11];

a – величина міжосьової відстані елеватора, $a = 1,5$ м;

B – значення ширини прутків елеватора, $B = 0,455$ м.

Величину колового зусилля на зірочках знайдемо згідно формули:

$$F_t = \frac{N}{V_{ec}}, \quad (2.32)$$

де N – величина потужності, яка витрачається на приведення в дію елеватора,

$$N = 3340 \text{ Вт};$$

V_{ec} – величина середньої швидкості руху прутків елеватора, $V_{ec} = 2,68 \text{ м/с}$.

$$F_t = \frac{3340}{2,68} = 1246 \text{ Н}.$$

$$F_b = \frac{7 \cdot (1246 + 2 \cdot 9,81 \cdot 3,5 \cdot 2,1 \cdot 1,5)}{0,455} = 22497 \text{ Н/м}.$$

Щоб визначити силу з якою діє ворох, що знаходиться на елеваторах, на вали, найперше знайдемо вагу вороха:

$$G_b = \gamma \cdot V, \quad (2.33)$$

де γ – об'ємна вага вороха, $\gamma = 14000 \text{ Н/м}^3$;

V – об'єм вороха на елеваторі, м^3 .

Знайдемо об'єм вороха на елеваторі згідно формули:

$$V = \int_0^{1,5} h \cdot \left(1 - \frac{a \cdot l^b}{1 + a \cdot l^b} \right) dl \cdot B, \quad (2.34)$$

де h – значення товщини шару вороха на початку елеватора, $h = 0,1 \text{ м}$;

a і b – коефіцієнти визначені дослідним шляхом, $a = 4,5$, $b = 0,66$.

$$V = \int_0^{1,5} 0,1 \cdot \left(1 - \frac{4,5 \cdot l^{0,66}}{1 + 4,5 \cdot l^{0,66}} \right) dl \cdot 0,35 = 0,017 \text{ м}^3.$$

Тоді $G_b = 14000 \cdot 0,017 = 238 \text{ Н}.$

Знайдемо величину питомої ваги ґрунту, яка припадає на 1 м ширини

елеватора згідно формули:

$$G = \frac{G_B}{B} = \frac{238}{0,455} = 523 \text{ Н/м.} \quad (2.35)$$

Знайдемо координату центра ваги вороха:

$$l_G = \frac{\int_0^l \left(\int_0^{1-\frac{a \cdot l^b}{1+a \cdot l^b}} l \, dh \right) dl}{\int_0^l \left(\int_0^{1-\frac{a \cdot l^b}{1+a \cdot l^b}} 1 \, dh \right) dl \cdot \cos \alpha} = 0,488 \text{ м.}$$

$$\text{Тоді: } G_2 = G \frac{l_G \cdot \cos \alpha}{l} = 532 \cdot \frac{0,488}{1,5 \cdot \cos 30^\circ} = 200 \text{ Н/м,}$$

$$G_1 = G - G_2 = 523 - 200 = 323 \text{ Н/м.}$$

2.3.2. Розрахунок на міцність ведучого валу

Для проведення міцнісних розрахунків ведучого валу повздовжнього елеватора складаємо його розрахункову схему (рисунки 2.4).

Знайдемо реакції в опорах валу, при цьому приймемо до уваги що навантаження на вал є симетричним, тому реакції в обох опорах (лівій і правій) будуть рівними:

$$R_{21}^B = R_{22}^B = \frac{(Q_2 + F_B \cdot \sin \alpha_i \cdot b \cdot (0,5 \cdot b + c))}{a + b + c}, \quad (2.36)$$

$$R_{21}^B = R_{22}^B = \frac{(200 + 22497 \cdot \sin 30^\circ) \cdot 0,445 \cdot (0,5 \cdot 0,445 + 0,0725)}{0,0725 + 0,455 + 0,0725} = 2547,3 \text{ Н}$$

Горизонтальна площина:

$$R_{21}^{\Gamma} = R_{22}^{\Gamma} = \frac{F_B \cdot \cos \alpha \cdot b \cdot (0,5 \cdot b + c)}{a + b + c}, \quad (2.37)$$

$$R_{21}^B = R_{22}^B = \frac{22497 \cdot \cos 30^\circ \cdot 0,445 \cdot (0,5 \cdot 0,445 + 0,0725)}{0,0725 + 0,455 + 0,0725} = 4335 \text{ Н}.$$

Будуємо епюри поперечних сил Q:

$$\begin{aligned} Q_A^B = R_{21}^B = 2547,3 \text{ Н} & \quad Q_C^B = Q_A^B = 2547,3 \text{ Н}; \\ Q_B^B = -R_{22}^B = -2547,3 \text{ Н}; & \quad Q_D^B = Q_B^B = -2547,3 \text{ Н}. \end{aligned}$$

$$Q_A^{\Gamma} = R_{21}^{\Gamma} = 4335 \text{ Н}; \quad Q_C^{\Gamma} = Q_A^{\Gamma} = 4335 \text{ Н};$$

$$Q_B^{\Gamma} = -R_{22}^{\Gamma} = -4335 \text{ Н}; \quad Q_D^{\Gamma} = Q_B^{\Gamma} = -4335 \text{ Н}.$$

Будуємо епюри згинних моментів:

$$M_A^B = M_B^B = 0;$$

$$M_C^B = M_D^B = R_{21}^B \cdot a = 2547,3 \cdot 0,0725 = 184,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_E^B = R_{21}^B \cdot (a + 0,5 \cdot b) = 2547,3 \cdot (0,0725 + 0,5 \cdot 0,445) = 764,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_A^{\Gamma} = M_B^{\Gamma} = 0;$$

$$M_C^{\Gamma} = M_D^{\Gamma} = R_{21}^{\Gamma} \cdot a = 4335 \cdot 0,0725 = 314,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_E^{\Gamma} = R_{21}^{\Gamma} \cdot (a + 0,5 \cdot b) = 4335 \cdot (0,0725 + 0,5 \cdot 0,445) = 1300,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Значення сумарного згинного моменту:

$$M_{AC}^B = M_{BC}^B = 0;$$

$$M_C^C = M_D^C = \sqrt{(M_C^B)^2 + (M_C^T)^2} = \sqrt{184,7^2 + 314,3^2} = 364,6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_E^C = \sqrt{(M_E^B)^2 + (M_E^T)^2} = \sqrt{764,2^2 + 1300,5^2} = 1508,4 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Величина крутного моменту може бути знайдена за формулою:

$$M_{кр} = \frac{30 \cdot N}{\pi \cdot n}, \quad (2.38)$$

$$M_{кр} = \frac{30 \cdot 3340}{3,14 \cdot 236} = 135,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Згідно IV теорії міцності величина розрахункового моменту в небезпечному перерізі E рівна:

$$M_p = \sqrt{(M_E^C)^2 + 0,75 \cdot M_{кр}^2},$$

$$M_p = \sqrt{1508,4^2 + 0,75 \cdot 135,2^2} = 1513 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тоді потрібний діаметр валу в небезпечному перерізі буде рівним:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_p}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (2.39)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1513}{3,14 \cdot 260 \cdot 10^6}} = 0,039 \text{ м}.$$

Прийmemo діаметр валу в небезпечному перерізі рівним 40 мм.

Діаметр валу під підшипники прийmemo рівним 35 мм.

Діаметр валу під муфту – 32 мм.

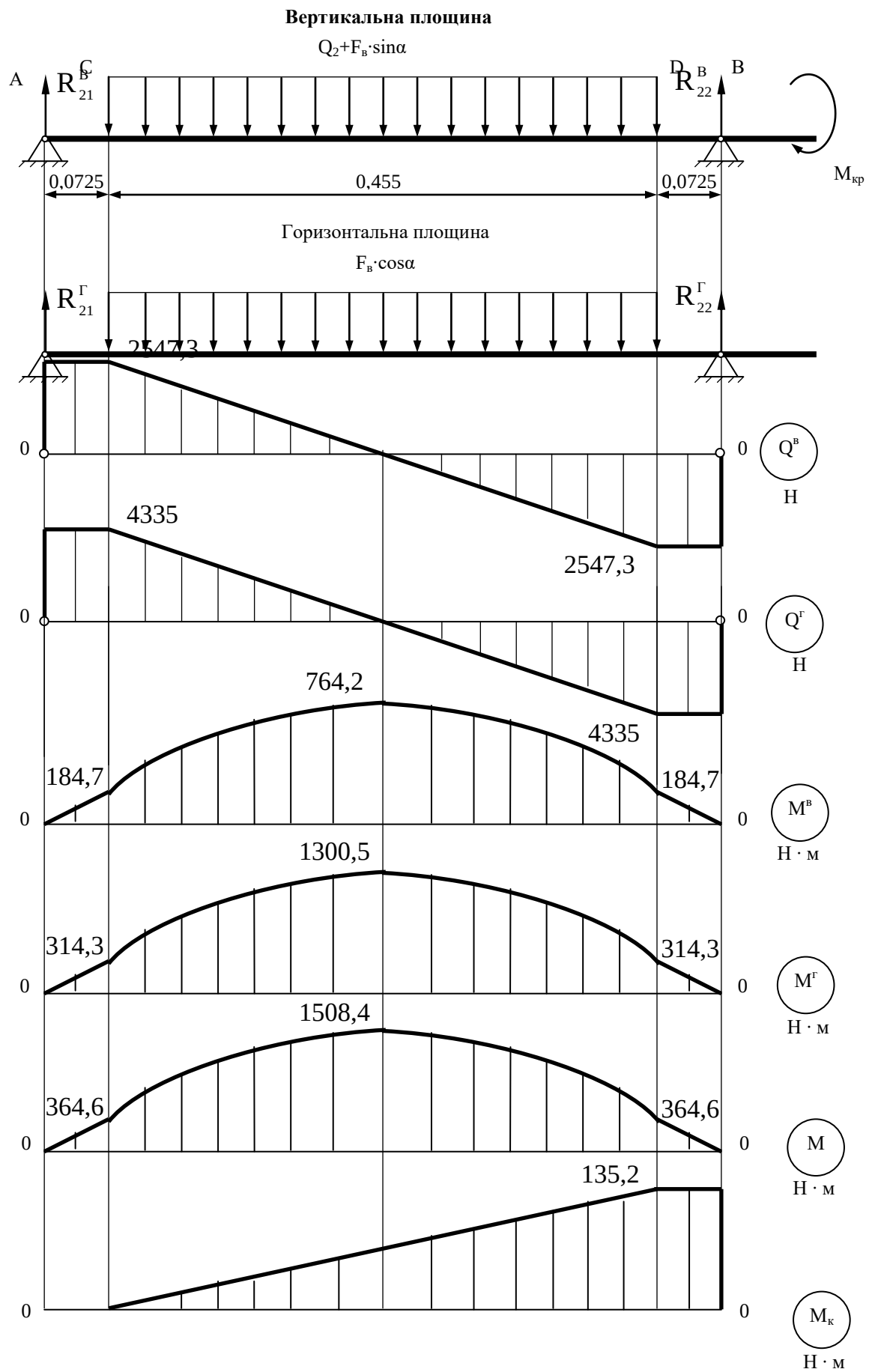


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема ведучого валу

2.3.3. Розрахунок підшипникових вузлів

Проведем розрахунки опорних підшипників для валів повздовжніх пруткових елеваторів.

З метою уніфікацій картоплезбиральних машин призначимо для ведучих і ведених валів підшипники однакових типорозмірів. Так як ведучі вали більш навантажені, то розрахунки підшипників проведемо за їх опорними реакціями.

Величина сумарної реакції в опорах:

$$R = \sqrt{R_{\Gamma}^2 + R_{\text{В}}^2} = \sqrt{2547,3^2 + 4335,0^2} = 5028 \text{ Н.} \quad (2.40)$$

Попередньо оберемо підшипники особливо легкої серії 107 ГОСТ 8338-75.

$d = 35 \text{ мм}; D = 80 \text{ мм}; B = 21 \text{ мм}; C = 33,2 \text{ кН.}$

Перевіримо підшипники на довговічність:

Величина еквівалентного навантаження:

$$P_{\text{Е}} = X \cdot V \cdot R \cdot K_{\text{Б}} \cdot K_{\text{Т}}, \quad (2.41)$$

де X – величина коефіцієнта, що враховує наявність радіальних навантажень,

$X = 1$;

V – величина коефіцієнту, що враховує вид навантажень на внутрішні кільця підшипників, $V = 1$;

$K_{\text{Б}}$ – коефіцієнт безпеки, $K_{\text{Б}} = 1,8 \dots 2,5$;

$K_{\text{Т}}$ – коефіцієнт, для врахування температурних режимів, $K_{\text{Т}} = 1$.

$$P_{\text{Е}} = 1 \cdot 1 \cdot 5028 \cdot 2,2 \cdot 1 = 11062 \text{ Н.}$$

Величина розрахункової довговічності в млн. об.:

$$L = \left(\frac{C}{P_{\text{Е}}} \right)^3 = \left(\frac{33,2 \cdot 10^3}{11062} \right)^3 = 27,0 \text{ млн. об.} \quad (2.42)$$

Розрахункова довговічність:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{27 \cdot 10^6}{60 \cdot 250} = 1800 \text{ год.} \quad (2.43)$$

Ресурс картоплезбиральних комбайнів складає 1600 год, тому довговічність підшипників є достатньою.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

3.1. Розробка моделі об'єкту досліджень

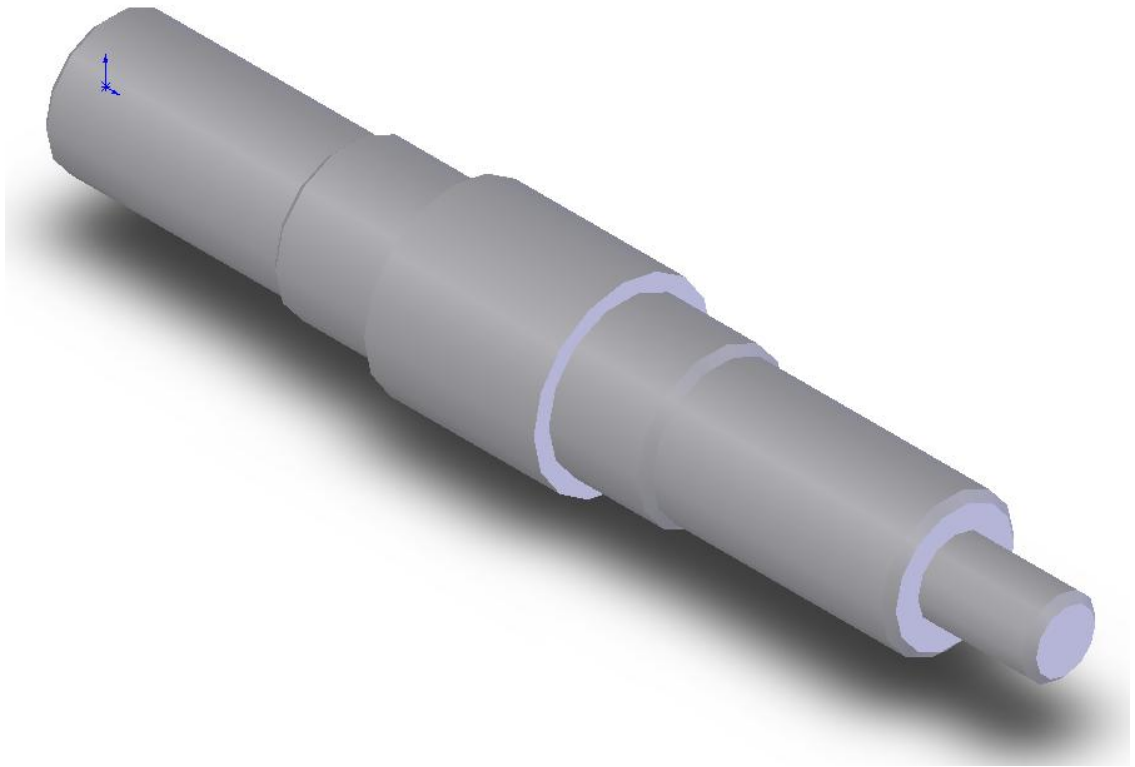
Проаналізуємо напружено-деформований стан ведучих валів повздовжніх елеваторів картоплезбиральних комбайнів типу КСК-4.

Використовуючи систему для тривимірних моделювань SolidWorks представим твердотільну модель ведучого вала повздовжнього елеватора (рис. 3.1, а).

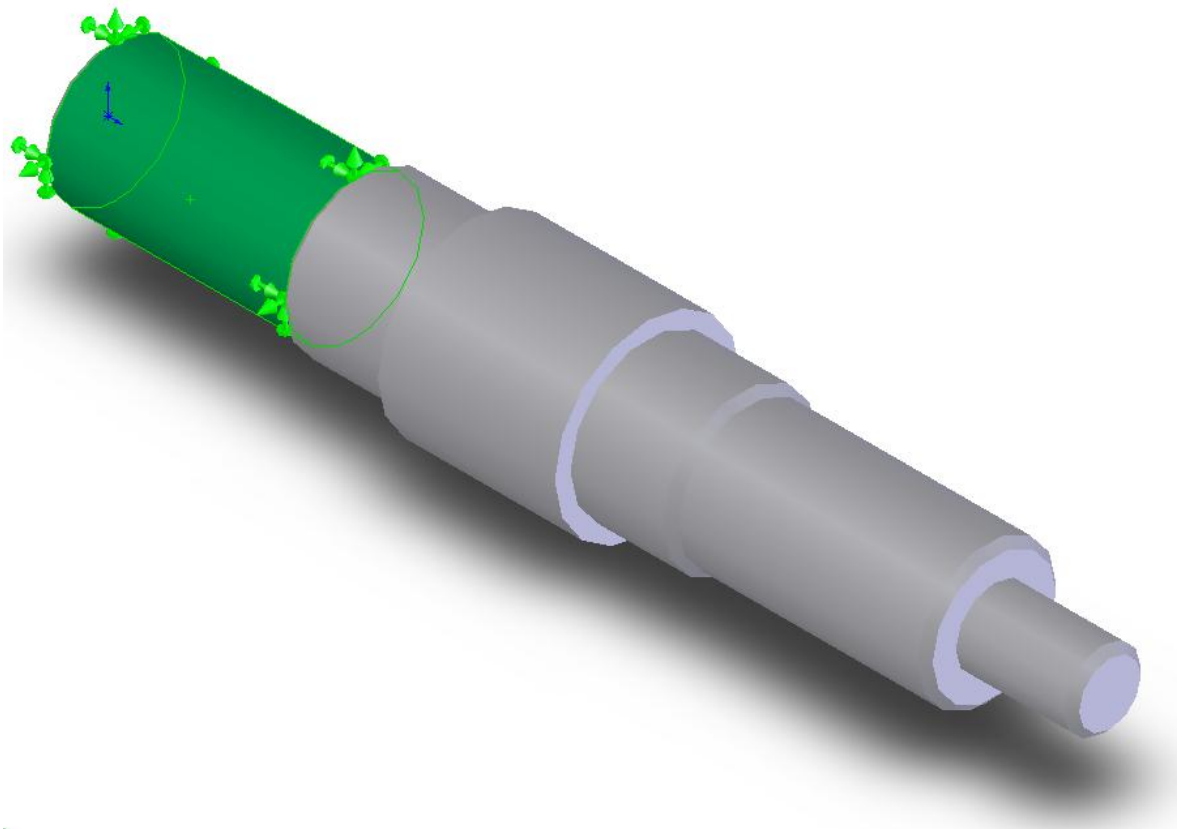
Застосувавши модуль для проведення кінцевоелементних аналізів CosmosWorks системи SolidWorks здійснюємо аналіз напружено-деформованих станів вала повздовжнього елеватора.

З цією метою задамо вихідні умови закріплення валів повздовжніх елеваторів – защемлення кінця вала (рис. 3.1, б). Задамо навантаження на протилежні ділянки валів, в даному випадку – крутний момент 314 Н м (рис. 3.1, в).

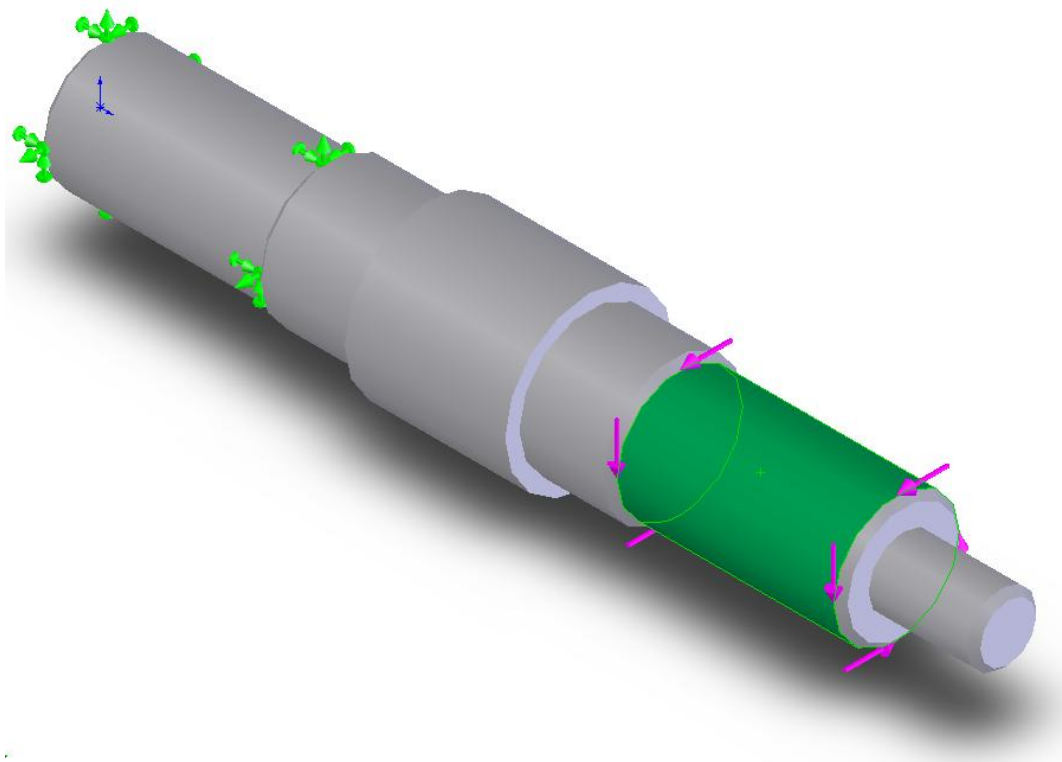
Створимо сітку кінцевих елементів на 3D-моделі валів повздовжніх елеваторів картоплезбиральних комбайнів, типу КСК-4 (рис. 3.1, г).



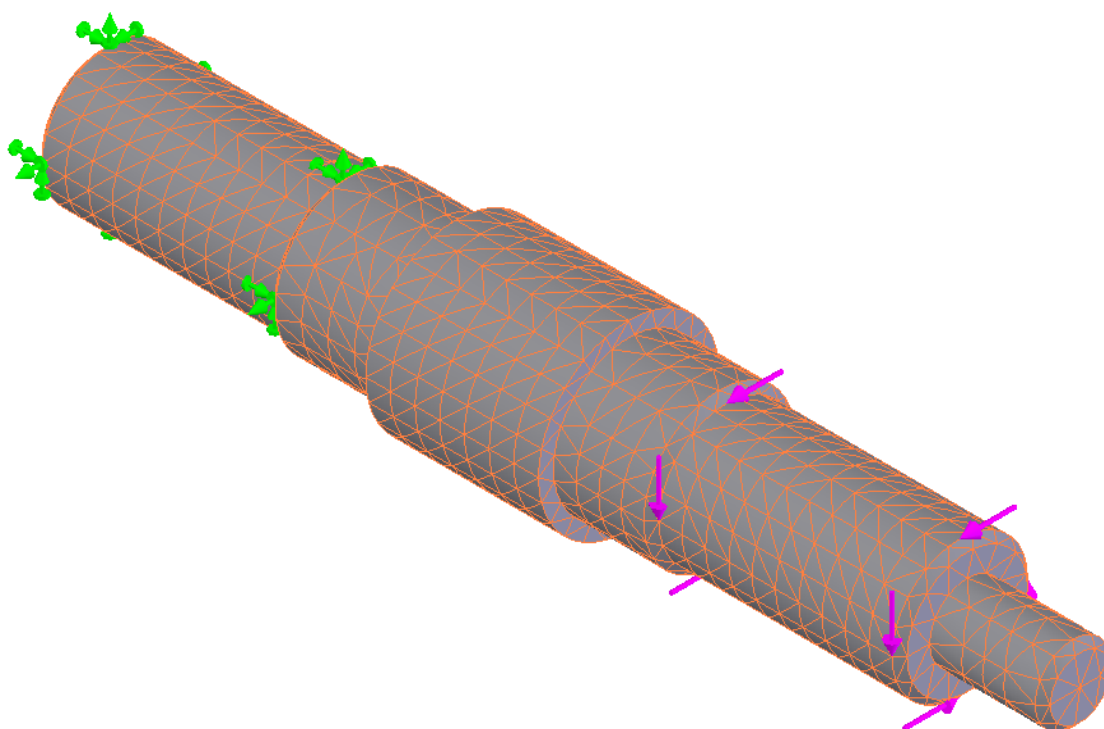
a)



b)



В)

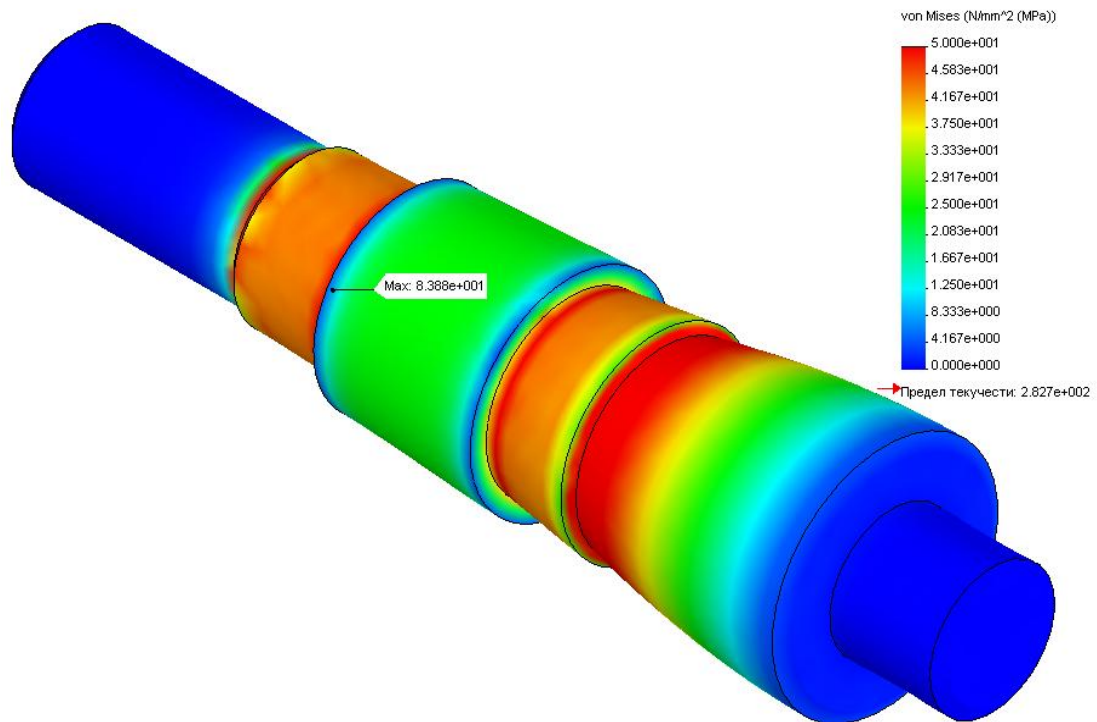


Г)

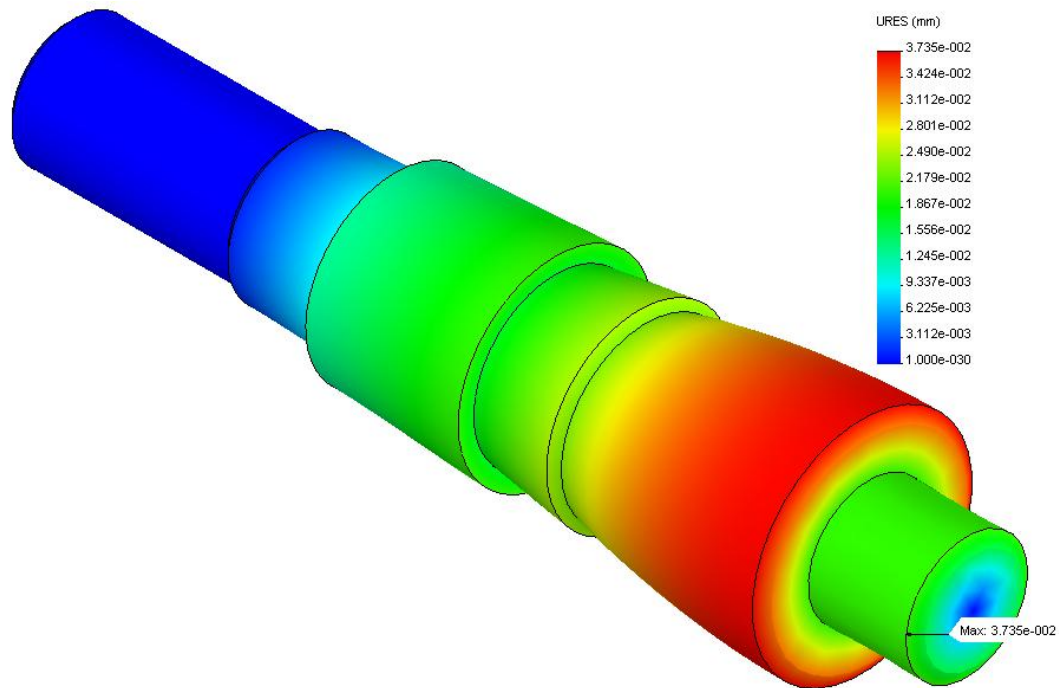
Рисунок 3.1 – Моделювання ведучого валу повздовжнього елеватора

3.2. Обробка даних, побудова діаграм за результатами моделювання

Результати проведених розрахунків напружено-деформованих станів валів повздовжніх елеваторів за використання модулів для кінцевоелементних аналізів CosmosWorks систем тривимірних моделювань SolidWorks подано на рис. 3.3.



a)



б)

Рисунок 3.2 – Результати розрахунків НДС вала повздовжнього елеватора:
а - напруження, МПа (за теорією Фон Мізеса); б - переміщення точок, мм.

Згідно отриманих методами скінчених елементів результатів проведених розрахунків можна зробити висновок, що максимальні значення напружень виникають поблизу місця закріплення вала ≈ 84 МПа.

Максимальне значення деформації вала становить $\approx 0,04$ мм.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Вимоги техніки безпеки при роботі картоплезбиральними комбайнами КСК-4

При експлуатації картоплезбиральних комбайнів КСК-4 необхідно дотримуватися вимог безпеки передбачених вимогами діючих стандартів. Для безпечної роботи з цією машиною слід керуватися наступними правилами:

- не допускати до роботи осіб без прав тракториста-машиніста, осіб, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, про що повинен бути зроблений відповідний запис у журналі;
- стороннім особам категорично забороняється знаходитися поблизу працюючої машини;
- забороняється проводити ремонт або регулювання вузлів машини під час роботи;
- всі види регулювань і технічного огляду виконувати тільки після зупинки машини і при виключеному двигуні трактора;
- забороняється проводити будь-які роботи при відчепленій машині, якщо під її колеса не поставлено противідкатні башмаки;
- забороняється робота на агрегаті у незаправленому одязі;
- перед початком роботи слід переконатися у повній справності всього агрегату, перевірити наявність і міцність кріплень всіх захисних щитків і кожухів; не розпочинати роботу при знятих кожухах;
- про початок руху агрегату необхідно попередити сигналом людей, які стоять поблизу;
- не можна торкатися руками робочих органів машини під час її роботи;
- забороняється знаходитися попереду, позаду і зліва агрегату під час його роботи;
- слід остерігатися рухомих частин механізму;

- після зупинки машини обов'язково перевести важіль коробки зміни швидкостей у нейтральне положення і виключити вал відбору потужностей;
- обганяти транспорт, який рухається, швидкість руху якого перевищує вказану транспортну швидкість машини забороняється;
- перевезення агрегатованої машини у нічний час, під час сильного туману забороняється;
- перегін машини дорогами загального користування необхідно проводити відповідно до “Правил дорожнього руху”;
- періодично обновляти знаки безпеки, які є на машині.

До роботи з технічного обслуговування, транспортування, обкатки і використання машини допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку, інструктаж з техніки безпеки і протипожежної безпеки при наявності відповідного посвідчення.

Працювати необхідно у зручному одязі, щоб не допустити його попадання у рухомі частини машини.

При одночасному обслуговуванні, ремонту машини кількома виконавцями необхідно призначити старшого групи, доручивши йому контроль за дотриманням правил техніки безпеки (черговості робіт).

У машині повинна бути аптечка з необхідними медикаментами.

Наявність на машинах робочих та стояночних гальм повинна бути встановлена у технічних вимогах. Стоянкові гальма повинні утримувати машину на схилі не менше 18%.

Устаткування робочими та стоянковими гальмами і страховими ланцюгами (тросами) типу тракторних причіпів або напівпричіпів є обов'язковим.

Машини, ширина яких перевищує габарит енергозасобу, повинні бути устатковані світлоповертачами; задні світлоповертачі повинні бути червоного, передні — білого кольорів. Допускається замість світлоповертачів нанесення на елементи продукції машини кругів, трикутників або прямокутників червоного або білого кольорів, вписаних в окружність діаметром 100 мм.

Машини, які при агрегуванні з енергозасобами закривають прилади світлової сигналізації енергозасобу, повинні бути устатковані власними приладами світлової сигналізації.

Машини та робочі органи повинні бути вкомплектовані механічними фіксаторами, які утримують їх у транспортному положенні.

Місця встановлення засобів пожежогасіння повинні бути легкодоступними та забезпечувати їх знімання без застосування інструменту.

Елементи конструкції машин повинні забезпечувати безпечний та зручний підхід до них при монтажі, технічному обслуговуванні та ремонті.

Машини, які мають робочі місця оператора, повинні мати систему звукової сигналізації для зв'язку з оператором ЕЗ. Рівень звуку звукового сигналу повинен бути на 8 дБ вище рівня звуку зовнішнього шуму від роботи самого агрегату.

4.2. Захист персоналу та навколишнього середовища від небезпечних виробничих факторів

Охорона навколишнього середовища є важливим завданням загальнодержавного значення, вирішення якого пов'язане з охороною здоров'я людей.

Особливу увагу слід приділяти правильному регулюванню паливної апаратури, тому що при неправильному її регулюванні виділяється сажа. Вона викликає подразнення носоглотки, а при тривалій дії - легеневі захворювання.

В атмосферу часто виділяються токсичні речовини, що не є продуктами згорання. До таких в першу чергу належать сполуки свинцю. Щоб підвищити потужність та економічність бензинових двигунів, збільшують октанове число бензину. Для цього до нього додають етилову рідину, що запобігає відкладенню свинцю на деталях двигуна.

Як і відпрацьовані гази атмосферу забруднюють картерні гази та

випаровування з бака і карбюратора, в яких міститься майже 40% вуглеводів. що виділяються двигуном. Значної шкоди завдають ці речовини тваринам. негативно впливають вони на стан земельних угідь, водних ресурсів та тваринного світу.

Необхідно слідкувати за справністю та правильним регулюванням системи живлення, тому від цього залежить кількість токсичних викидів. Склад суміші значно впливає на токсичність відпрацьованих газів та економічність двигунів.

Внаслідок неправильної експлуатації автомобільного парку та самохідних сільськогосподарських машин нафтопродукти потрапляють в ґрунт в результаті переливів при заправках, зливанні відпрацьованих масел з двигунів та агрегатів трансмісії, а також під час миття автомобілів, тракторів та сільськогосподарських машин в непризначених для цього місцях. Значної шкоди завдають нафтопродукти водним джерелам.

Правильна підготовка транспортних засобів та раціональна організація їх роботи також є заходами, що запобігають забрудненню навколишнього середовища. Перед початком роботи щоденно слід провести контрольний огляд автомобіля чи машинно-тракторного агрегату і переконатись у відсутності підтікань палива з елементів системи живлення, масла через нещільності у з'єднаних двигуна, коробки передач, мостів, рульового керування, електроліту з акумуляторних батарей.

Значний вплив на забруднення навколишнього середовища має загальний технічний стан транспортного засобу чи МТА, тому слід пам'ятати, що будь-яка несправність призводить до підвищення витрати палива та збільшення викидів шкідливих речовин. Цьому можна запобігти, якщо раціонально використовувати техніку і високоякісно її обслуговувати.

При широкому впровадженні в сільському господарстві нових технологій, технологічних процесів і енергонасичених і технічних засобів, використання електроенергії, мінеральних добрив, пестицидів одночасно із зростанням продуктивності і культури праці, може поширюватись на працівників шкідлива і небезпечна дія виробничих факторів, спричиняючи різні захворювання і виробничий травматизм. Керівництво підприємства зобов'язане приділяти велику увагу поліпшенню умов і безпеки праці на виробництві. Передбачено створювати

сприятливі умови для високопродуктивної праці, покращувати культуру виробництва, послідовно скорочувати ручну малокваліфіковану і важку фізичну працю.

В процесах сільськогосподарського виробництва повинні бути застосовані змінні режими праці і відпочинку обслуговуючого персоналу.

При переїздах, а також при виконанні робіт під електропередачами напругою до 1000 В віддаль від машини до електричного провідника не повинна бути меншою по горизонталі 1,5 м, а по вертикалі 1 м.

Якщо агрегати працюють біля ліній високої напруги, то віддаль збільшують і в кожному конкретному господарстві є свої норми. Під час викопування картоплі можлива дія таких небезпечних факторів:

- рухомі механізми; незахищені рухомі частини; підвищені рухомі частини;
- підвищення концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- фізичні і нервово психологічні перевантаження, які діють на персонал при роботі;
- підвищення запиленості і загазованості повітря в робочій зоні;
- підвищення рівня шуму на робочому місці.

Розроблені заходи безпеки з охорони праці сприятимуть уникненню травмонебезпечних і аварійних ситуацій при технічному обслуговуванні картоплезбирального агрегату і під час збирання урожаю картоплі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи було підвищення продуктивності та якості збирання урожаю картоплі шляхом удосконалення лемешів картоплезбирального комбайну типу КСК-4.

Базова конструкція картоплезбирального комбайну була обладнана вібраційними лемешами та декількома сепаруючими елеваторами.

З метою покращення продуктивності та якості проведення робіт пропонується внутрішні площини вібраційних лемешів виконувати у вигляді направлених вгору повітровипускних отворів та повздовжніх зубів, що містять внутрішні канали, які також облаштовані повітровипускними отворами, сполученими з джерелом повітря під тиском для оптимального сепарування підкопаних пластів.

Крім цього приймальні частини комбайнів варто облаштувати механізмами для здійснення автоматичних регулювань заглиблювання вібраційних лемешів.

У кваліфікаційній роботі розглянуто особливості виконання операцій збирання картоплі подібними машинами і проаналізовано переваги та недоліки машин-аналогів.

На основі вихідних даних проведено розрахунки основних параметрів картоплезбирального комбайну, а саме технологічні, конструктивні та енергетичні розрахунки.

Виходячи з цього внесено зміни у базову конструкцію комбайну та проведено розрахунки на міцність елементів конструкції даного агрегату.

У кваліфікаційній роботі також розглянуто питання з охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі з картоплезбиральною технікою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 2. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 559 с.
2. Блинков И.В. Первичная сепарация почвы картофелеуборочными машинами. – В кн. : Актуальные в-сы эксп. и рем. МТП. – Алтайский СХИ, 1984. – с. 99-101.
3. Водолазов И.К. Курсовое и дипломное проектирование по механизации сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1991. – 335 с.
4. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. – К.: Урожай, 1994. – 224 с.
5. Довідник ланкового по вирощуванню картоплі / В.Д.Волков, В.С.Куценко, В.І.Дзюба та ін.; За ред. В.Д.Волкова. - К. : Урожай, 1987. - 248 с., іл.
6. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю.Ільченко, П.І.Карасьов, А.С.Лімонт та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка.- К. : Урожай, 1993. - 288 с.
7. Интенсивная технология производства картофеля / Сост. К.А.Пшеченков. - М.: Росагропромиздат, 1989. - 303 с.
8. Інтенсивна технологія вирощування картоплі / В.Д.Волков, Г.М.Колонтай, М.П.Мукосій, П.К.Сердюк. - К. : Урожай, 1989. – 40 с.
9. Карненко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. – М.: Агропромиздат, 1989., - 527с.
10. Кириллов Е.Н. Справочник механизатора-картофелевода. - М.: Моск. рабочий, 1983. -159 с.
11. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с.: ил.
12. Лехман С.В. Довідник з охорони праці в сільському господарстві, К.: Техніка, 1990.

13. Литвинов А.П. Некоторые предпосылки выбора параметров комбинированного подкапывающего органа картофелеуборочных машин // Труды ЧИМЭСХ, вып. 132, 1978. – с. 72 – 77.
14. Ловкис З.В. Гидроприводы сельскохозяйственной техники: конструкция и расчет. – М.: Агропромиздат, 1986. – 207 с.
15. Любошиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. Изд. 2-е, исправл. и дополн. – Минск: Высшая школа, 1969. – 464 с.
16. М.И.Клецкин. Справочник конструктора с/х машин. ТЗ., М.: Машиностроение, 1969р – 430с.
17. Мацепуро М.Е. Технологические основы механизации уборки картофеля. – Минск: Госиздат БССР, 1959. – 348 с.
18. Машиновикористання в землеробстві /В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, П.А.Джолос та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. - К.: Урожай, 1996. - 384 с.
19. Настенко П.М., Романченко М.А. Індустріальна технологія виробництва картоплі.- 3-є вид., доп і перероб. - К.: Урожай, 1986. - 144 с., іл.
20. Никулин И.В. Анализ и классификация подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин // Сб. науч. трудов МИИСП, 1980, т. 17, вып. 1. В кн.: Земледельческая механика. – с. 40 – 45.
21. Операційна технологія виробництва картоплі /В.І.Дзюба, В.Г.Батюта, В.С.Куценко та ін.; За ред. В.І.Дзюби, В.Г.Батюти.: - К.: Урожай, 1987. – 200 с., іл.
22. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. – К.: Вища школа, 1974. – 304 с.
23. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. – 2-е изд., перераб и доп.. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
24. Петров Г.Д. Тенденции развития технологических схем картофелеуборочных комбайнов // Труды ВИСХОМ, вып. 58, М., 1969.
25. Петров Г.Д., Магомедова В.В. Комплексная механизация в овощеводстве и картофелеводстве. – М.: Знание, 1990. – 64 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Сельское хозяйство»; №10).

26. Производство картофеля на промышленной основе / А.И.Замотаев, Б.П.Литун, А.В.Коршунов, К.А.Пшеченков. - Агропромиздат, 1985. - 271 с.
27. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др. Под общей ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
28. Точельников Ю.С. Эрозия и дефляция почв: способы борьбы с ними. – М.: Агропромиздат, 1990. – 158 с.
29. Угланов М.Б. Справочник механизатора-картофелевода. - Агропромиздат, 1986. - 207. с., ил.
30. Успенский И.А. К выбору рациональной формы подкапывающего рабочего органа картофелеуборочной машины. В кн.: Соверш. констр. с.-х. техники. – Тр. Горьковского СХИ. – Горький, 1984. – с. 50 – 56.
31. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. – Київ: вид-во УСГА, 1992. – 240 с.
32. Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчально-методичний посібник до виконання курсової роботи / А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 191 с.
33. Хомик Н.І. Основи агрономії. Курс лекцій /Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Олексюк В.П. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. – 300 с.
34. Гевко Р.Б. Оцінка ринкової вартості та конкурентоспроможності машин і технологій. /Гевко Р.Б., Гарькавий А.Д., Гладич Б.Б., Павх І.І., Павелчак О.Б. – Тернопіль: ТДПУ, 2004.- 199с.
35. Гевко Р.Б. Машини сільськогосподарського виробництва. /Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. - Тернопіль, 2005.- 228с.
36. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання дипломної роботи для здобуття освітнього ступеня «магістр» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 Галузеве машинобудування з орієнтацією на спеціалізацію «Машини сільськогосподарського виробництва» / Н.І. Хомик, М.Я. Сташків, В.П. Олексюк. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. – 164 с.

ДОДАТКИ