

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технології ремонту конструктивних елементів картоплезбирального комбайна з розробкою оснащення для фрезерування шпонкових пазів»

Виконав: студент 3 курсу, групи 33к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Дяченко Валентин Володимирович
(прізвище та ініціали)

Керівник доцент Петриченко Є.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 Факультет інженерних технологій та професійної освіти
 Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ «Бакалавр»
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
 «__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Дяченку Валентину Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення технології ремонту конструктивних елементів картоплезбирального комбайна з розробкою оснащення для фрезерування шпонкових пазів»

керівник проекту Петриченко Євгеній Анатолійович, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 01 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: конструктивна будова, порядок функціонування та змащування ремонтowanego вузла; характеристика умов роботи з'єднань і можливих несправностей деталей

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; схема демонтажу редуктора із зірочкою та шарнірами ККУ 01.26.290.12; технологічний процес розбирання і подальшого складання складальної одиниці; будова та принцип роботи пристрою; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Технологічні основи ремонту (відновлення) конструктивних елементів машин	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Конструкторсько-технологічний розділ	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Техніко-економічна частина	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент

(підпис)

Дяченко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Петриченко Є.А.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕМОНТУ (ВІДНОВЛЕННЯ) КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН	5
1.1 Загальне призначення й коротка технічна характеристика ремонтovanого об'єкта	5
1.2 Конструктивна будова, порядок функціонування та змащування ремонтovanого вузла	7
1.3 Характеристика умов роботи з'єднань і можливих несправностей деталей	10
1.4 Висновки, мета та завдання кваліфікаційної роботи.....	11
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Складання схеми демонтажу редуктора із зірочкою та шарнірами ККУ 01.26.290.	12
2.2 Опис технологічного процесу розбирання і подальшого складання складальної одиниці	12
2.3 Технологія відновлення валу редуктора ККУ0102.290.....	12
2.4 Обґрунтування прийнятого маршруту відновлення деталей	14
2.5 Складання ремонтного креслення деталі.....	24
2.6 Комплект документів технологічного процесу відновлення деталі	25
2.7 Конструкція і призначення технологічного оснащення для фрезерування шпонкової канавки на валу ККУ01.26.290	25
2.8 Обчислення величини прикладених сил.....	26
2.9 Розрахунок конструктивних елементів технологічного оснащення.....	27
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	29
3.1 Заходи безпеки праці при виконанні технологічних операцій.....	29
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	32
4.1 Розрахунок економічної ефективності відновлення деталей	32
ВИСНОВОК.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕМОНТУ (ВІДНОВЛЕННЯ) КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН

1.1 Загальне призначення й коротка технічна характеристика ремонтованого об'єкта

Комбайн ККУ-2А є дворядною напівнавісною машиною і виступає базовою моделлю цього типу техніки. Його було запроваджено у виробництво в 1976 році як удосконалену заміну застарілого комбайна ККУ-2.

Комбайн ККУ-2А призначений для збирання картоплі з міжряддям 70 см способом прямого комбайнування або комбінованим способом на легких і середніх ґрунтах, що добре просіваються. На важких перезволожених ґрунтах збирання картоплі виконують роздільним способом, використовуючи комбайн як підбирач валків бульб, попередньо сформованих машиною УКХ-2. Крім того, на важких ґрунтах можливе застосування прямого комбайнування, але за умови зменшення швидкості руху агрегату.

Комбайн агрегатується з колісними тракторами МТЗ-50, МТЗ-52, МТЗ-80, МТЗ-82, а для роботи на важких ґрунтах — із гусеничним трактором ДТ-75МХ, обладнаним ходозменшувачем. На відміну від попередньої моделі ККУ-2, комбайн ККУ-2А оснащений активним лемешем і другим прутковим елеватором замість дворешітного гуркоту. В обох комкодавчих барабанах забезпечується однакова колова швидкість, що становить 2,8 м/с. У зоні переходу бульб із завантажувального елеватора до бункера встановлено захисний фартух, який зменшує механічні пошкодження картоплі.

До основних робочих органів і механізмів комбайна належать: рухомий леміш 1, основний елеватор 2 з механізмом примусового струшування, комкодавчі барабани 3, елеватор 4 з пасивним струшуванням, ботвовидалювач 5, підйомний барабан 6, гірка 7 з гумовопальчиковим полотном, перебірний транспортер 8, завантажувальний транспортер 9 із запобіжним фартухом, транспортер домішок 10 з реверсивним приводом, а також бункер 11 із вивантажувальним транспортером. Усі робочі органи комбайна приводяться в дію від вала відбору потужності трактора.

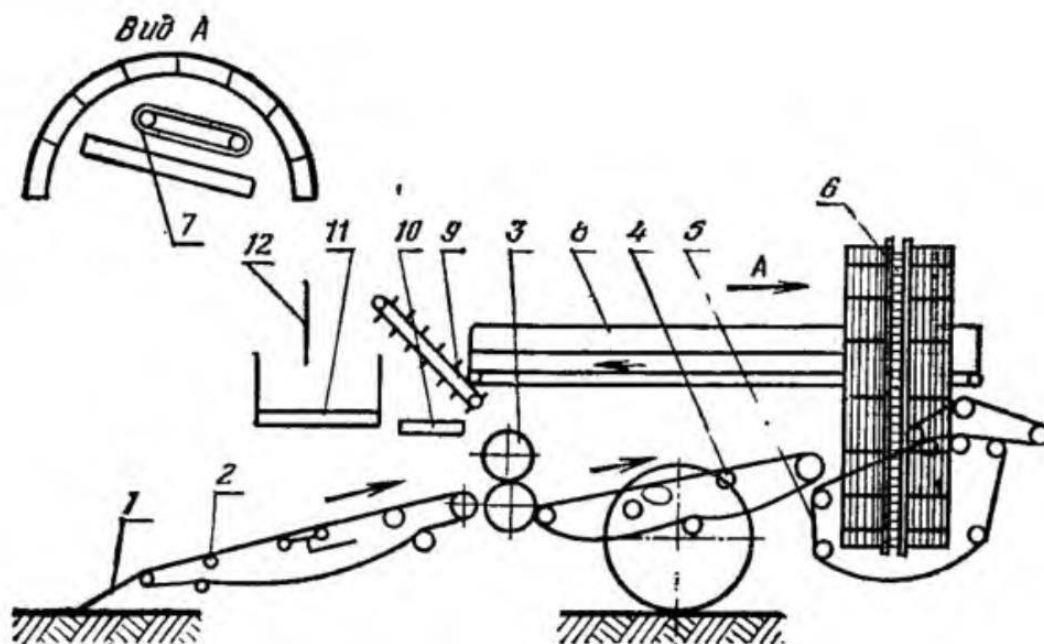


Рисунок 1.1 – Принципова схема картоплезбирального комбайна ККУ-2А:

1 – рухомий леміш; 2 – основний елеватор з механізмом примусового струшування; 3 – балони комкодавця; 4 – елеватор із пасивним струшуванням; 5 – ботвовидалювач; 6 – підйомний барабан; 7 – гірка з гумовопальчиковим полотном; 8 – перебірний транспортер; 9 – транспортер завантаження бункера; 10 – транспортер для видалення домішок; 11 – бункер з вивантажувальним транспортером; 12 – захисний фартух.

Під час збирання картоплі способом прямого комбайнування леміш комбайна підкопує дві сусідні грядки (рис. 1.2). Піднятий шар ґрунту надходить на основний елеватор, який здійснює коливальні рухи під дією механізму струшування. На цьому етапі відбувається відокремлення основної частини ґрунту від бульб, після чого решта маси переміщується до комкодавця. Тут за допомогою балонів руйнуються грудки ґрунту та здійснюється додаткове відділення бульб.

Потім маса надходить на елеватор із пасивним струшуванням, де продовжується просіювання розпушених грудок. Далі бульби разом із домішками, що залишилися, переходять на рідкопрутковий транспортер ботвовидалювача. Бадилля, затримуючись на прутках транспортера, під дією притискного транспортера відокремлюється і скидається на вже прибране поле, а бульби з рештками домішок спрямовуються до підйомного барабана.

Бульби, відокремлені від бадилля за допомогою бульбовідривних прутків, також надходять у підйомний барабан. Із підйомного барабана бульби разом із домішками переміщуються на похилу гірку. На цій ділянці від них відокремлюються дрібні

домішки, які скидаються у верхню частину транспортера, тоді як бульби скочуються по полотну гірки та потрапляють у нижню його частину.

Після цього очищені від домішок бульби, які додатково перебираються робітниками, надходять на транспортер завантаження бункера, а сторонні домішки спрямовуються на окремий транспортер домішок. Із бункера бульби вивантажують у тракторні причеми або автомобілі-самоскиди за допомогою вивантажувального транспортера. Транспортер домішок відводить грудки ґрунту, каміння та залишки бадилля за межі машини на вже прибране поле. Якщо разом із домішками на цей транспортер потрапляють бульби, реверсивний привід дозволяє повернути потік назад у комбайн для повторного сепарування.



Рисунок 1.2 – Картоплезбиральний комбайн ККУ-2А

Під час комбінованого або роздільного способу збирання картоплі бульби за допомогою лемеша підбираються з валків і подаються на основний елеватор. Надалі технологічний процес відбувається аналогічно до прямого комбайнування.

Керування комбайном здійснюють тракторист і комбайнер. Тракторист забезпечує точне ведення агрегату по міжряддях та регулює швидкість його руху залежно від умов збирання. Комбайнер контролює перебіг технологічного процесу та виконує регулювання робочих органів комбайна. Для ручного перебору бульб на комбайні зазвичай залучають п'ять–шість працівників.

1.2 Конструктивна будова, порядок функціонування та змащування ремонтного вузла

Режим роботи активних лемешів регулюють зміною частоти їх коливань у межах $7,5\text{--}9,2\text{ с}^{-1}$. На легких ґрунтах частоту коливань зменшують, а на важких — збільшують.

Елеватори-сепаратори та комкодавець також потребують відповідного регулювання. Перший елеватор обладнаний активним регульованим струшувачем (рис. 1.3, б), а другий — пасивним. Якщо перший елеватор відокремлює менше 60–70 %

грунту, амплітуду його коливань збільшують; якщо ж сепарація ґрунту відбувається ефективно, як це буває на піщаних і супіщаних ґрунтах, амплітуду зменшують. Для цього корпус 6 повертають відносно диска 7. Амплітуду можна змінювати в межах від 0 до 65 мм. Під час збирання картоплі на вологих суглинкових ґрунтах амплітуду доцільно збільшувати, а на піщаних і супіщаних — знижувати до мінімального значення. У другому елеваторі в першому випадку вмикають еліптичний струшувач, а в другому — круглу зірочку. Надмірна амплітуда струшування може спричинити підвищене пошкодження бульб.

Комкодавець призначений для руйнування великих грудок ґрунту та часткового відокремлення бульб від бадилля. Під час роботи на легких ґрунтах тиск у балонах встановлюють у межах 0,01–0,015 МПа, а зазор між ними — 4–6 мм. Якщо в ґрунті міститься значна кількість твердих грудок розміром понад 30 мм, балони встановлюють без зазору. Для роботи на полях із великою кількістю великих грудок тиск у балонах підвищують до 0,03 МПа, а проміжок між ними зменшують до 2–3 мм. Відстань між щитками та балонами повинна становити 10–15 мм. За відсутності цього зазору спостерігається прискорений знос балонів, а при надмірно великому проміжку, понад 20 мм, можливі втрати бульб.

Регулювання ботвовидаляючого пристрою (рис. 1.3, в) виконують зміною натягу пружин 13 і 14 верхнього притискного транспортера 16 таким чином, щоб прутковий транспортер не захоплював бульби разом із бадиллям, а на перебірний стіл надходила лише незначна кількість бадилля та домішок. Зазор між відбійним прутком і рідкопрутковим транспортером повинен становити 2–3 мм.

Далі виконують регулювання підйомного барабана.

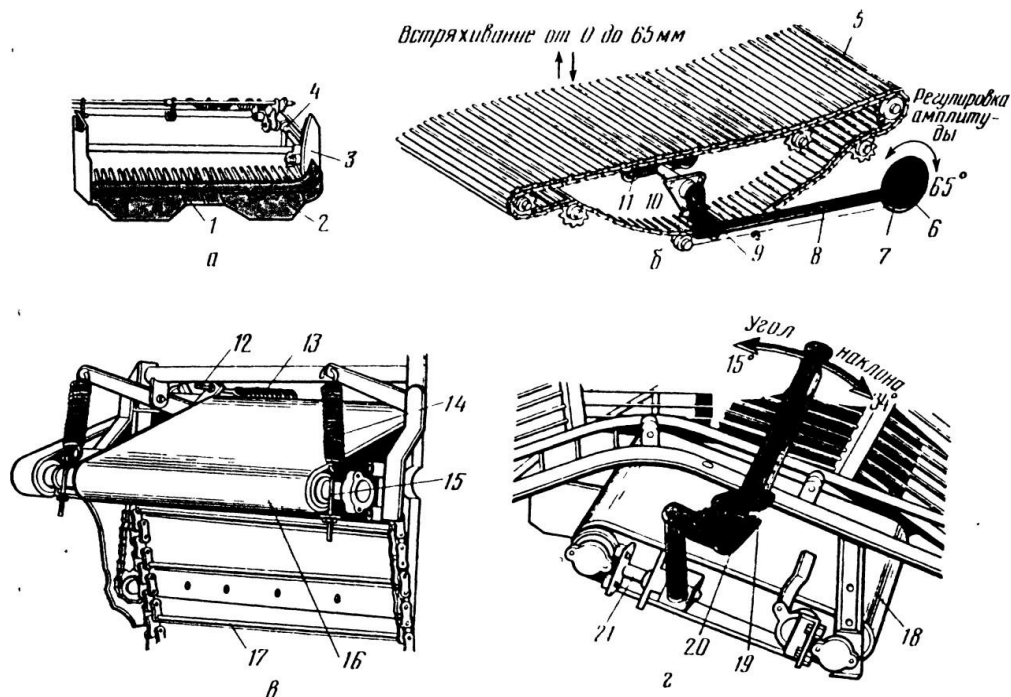


Рисунок 1.3 – Робочі органи комбайна ККУ-2А:

а — активний леміш; б — механізм струшування; в — ботвовидалювач; г — гірка;
 1 — плоский леміш; 2 — змінні лемеші; 3 — боковина; 4 і 8 — шатуни; 5 — елеватор;
 6 — корпус кривошипа; 7 — диск; 9 — кулак; 10 — вал; 11 — ролики; 12, 15 і 21 —
 регулювальні болти; 13 і 14 — пружини; 16 — притискний транспортер; 17 —
 рідкопрутковий транспортер; 18 — полотно гірки; 19 — важіль; 20 — сектор.

Підйомний барабан, виконаний у вигляді циліндра з ґратчастою поверхнею, сформованою витками сталевого троса, під час переміщення бульб забезпечує додаткове відокремлення дрібних домішок. Між внутрішньою крайкою лопатей барабана та напрямним щитком встановлюють проміжок 7–10 мм. Його регулюють зміщенням щитка в радіальному напрямку, враховуючи, що занадто великий зазор може спричинити випадання частини бульб, а надто малий — їх пошкодження.

Регулювання гірки та перебірного столу здійснюють залежно від умов роботи. Кут нахилу гірки змінюють у межах від 15 до 34° за допомогою регулювального важеля 19 (рис. 1.3, г). У разі надходження підвищеної кількості домішок нахил гірки збільшують.

Натяг полотна гірки регулюють болтами 21, які переміщують ведений вал. Дільник перебірного столу встановлюють таким чином, щоб у нижній частині, по нахилу, концентрувалися бульби, а у верхній — домішки. При цьому необхідно забезпечити, щоб у відходи потрапляла якомога менша кількість бульб. Проміжок між полотном і дільником приймають у межах 6–10 мм, що запобігає заклинюванню бадилля.

Транспортери та бункер також потребують відповідного регулювання. Транспортёр завантаження бункера бульбами спирається на гвинтовий підкіс, за допомогою якого встановлюють зазор 40–50 мм між лопатями полотна і стінкою бункера-накопичувача. Піднімання бункера виконує тракторист за допомогою гідроциліндра. У разі самовимикання механізму приводу транспортера регулювальний болт фіксатора необхідно загорнути на 2–3 оберти та зафіксувати контргайкою.

Привід механізмів комбайна здійснюється за допомогою редуктора ККУ 01.26.290 (рис. 1.4).

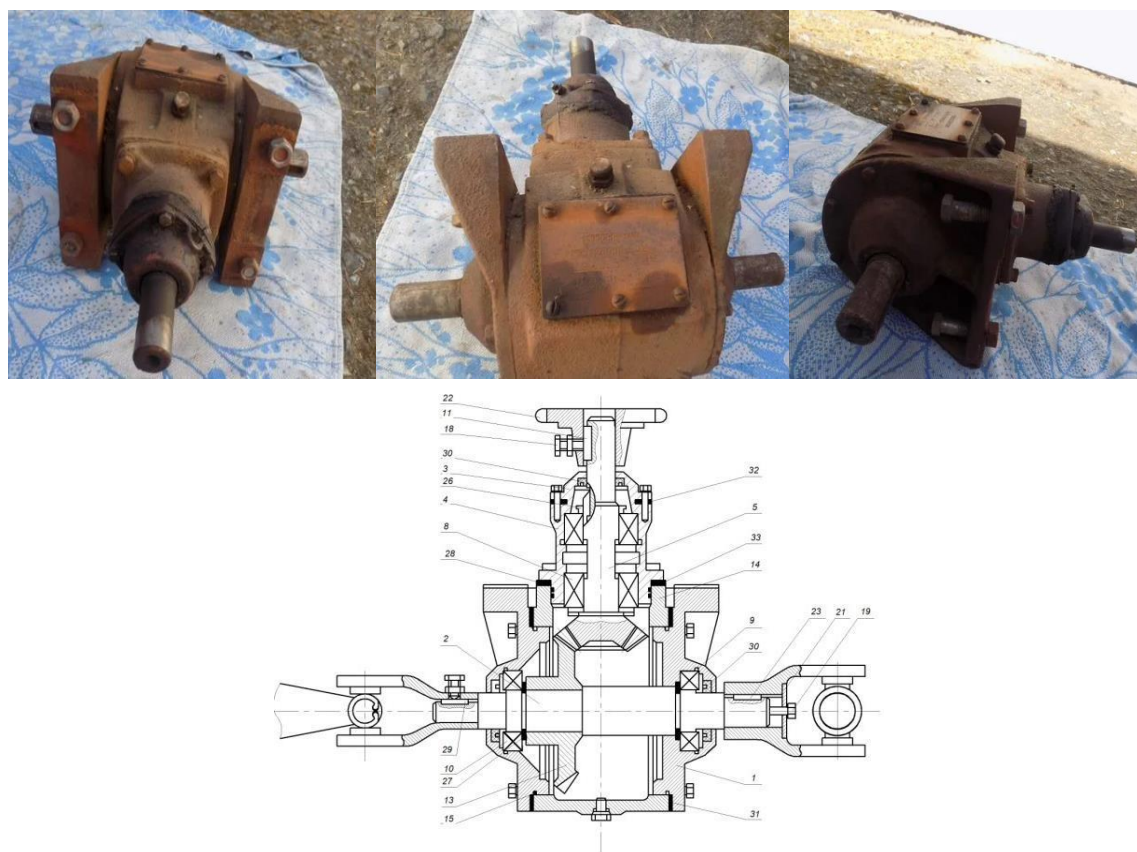


Рисунок 1.4 – Редуктор привода комбайна ККУ

Конічний редуктор (рис. 1.4) працює в умовах масляної ванни. У процесі експлуатації в ньому відбувається поступове зношування валів і зубців шестерень. За дії критичних навантажень можливе викривлення або задири на робочих поверхнях зубців. Досить поширеним дефектом є спрацювання шпонкових канавок на валах і шестернях. Крім того, можливий знос підшипників, що, у свою чергу, прискорює спрацювання зубчастого зачеплення.

1.3 Характеристика умов роботи з'єднань і можливих несправностей деталей

Конічний редуктор, який функціонує в мастильному середовищі, під час роботи зазнає значних навантажень, що призводить до поступового зношування його основних

елементів. Найбільш характерними дефектами є спрацювання валів, зубців шестерень, пошкодження шпонкових пазів, а також знос підшипникових опор. При перевантаженнях можуть виникати пошкодження робочих поверхонь зубців, що негативно впливає на надійність роботи всього вузла. Зношування підшипників викликає порушення співвісності валів, унаслідок чого ще більше посилюється знос зубчастого зачеплення.

1.4 Висновки, мета та завдання кваліфікаційної роботи

Редуктор ККУ 01.26.290 є дорогим і відповідальним вузлом, від якого значною мірою залежить працездатність причіпного картоплезбирального комбайна ККУ-2А. На ринку запасних частин цей агрегат представлений у дуже обмеженій кількості, причому більшість наявних варіантів уже були в експлуатації. Окремі запасні частини до редуктора також реалізуються в незначних обсягах, що ускладнює його ремонт і відновлення.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є підвищення ресурсу складальної одиниці редуктора ККУ 01.26.290 дворядного картоплезбирального комбайна ККУ-2А шляхом удосконалення технології відновлення вала редуктора ККУ 01.02.290.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких завдань: розробити технологічний процес розбирання редуктора, виконати дефектування та відновлення вала редуктора ККУ 01.02.290, а також спроектувати технологічне оснащення, необхідне для відновлення цього вала.

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Складання схеми демонтажу редуктора із зірочкою та шарнірами ККУ 01.26.290

Для побудови схеми розбирання та складання заданої складальної одиниці необхідно попередньо вивчити її конструкцію за складальним кресленням і ознайомитися з типовими технологічними процесами, які застосовуються у ремонтному виробництві.

Схема розбирання та складання є початковою основою для розроблення технологічного процесу виконання цих операцій. Крім того, вона може використовуватися як окремий технологічний документ безпосередньо на робочому місці в ремонтній майстерні. З урахуванням трудомісткості операцій така схема дає можливість обґрунтовано визначити кількість і спеціалізацію робочих місць, необхідних для виконання розбирально-складальних робіт на підприємстві, оскільки на ній відображається як послідовність, так і можливість паралельного виконання окремих операцій.

Розбирання і складання складальної одиниці повинні виконуватися в певній технологічній послідовності, яка визначається її конструктивними особливостями. Основні принципи побудови схеми розбирання та складання наведено у джерелах [1, 19–21].

2.2 Опис технологічного процесу розбирання і подальшого складання складальної одиниці

Під час розроблення технологічного процесу розбирання і складання у кваліфікаційній роботі необхідно передбачити комплект обов'язкових технологічних документів, а саме: титульний аркуш (ТАР), відомість технологічних документів (ВТД), карту ескізів (КЕ), маршрутну карту (МК) та відомість оснащення (ВО). Методичні засади щодо їх оформлення наведені у джерелах [1, 19–21].

2.3 Технологія відновлення валу редуктора ККУ0102.290

2.3.1 Технологія дефектації деталі та карта поєднання дефектів за маршрутами

Комплект технологічної документації на дефектування є складовою загальної документації з ремонту деталі виробу і включає такі документи: титульний аркуш (ТАР), відомість технологічних документів (ВТД), карту ескізів (КЕ), карту

технологічного процесу дефектування (КТПД) та відомість оснащення (ВО). Вимоги до оформлення цих документів наведені в методичних вказівках [1, 19–21], а приклади їх заповнення подано в додатках К і Л.

Послідовність виконання технологічних операцій з усунення дефектів залежить від виду технологічного процесу за формою його організації, характеру виявлених дефектів та особливостей їх поєднання.

Технологічний процес відновлення може передбачати усунення кожного дефекту окремо, тобто за подефектною технологією, або одночасне усунення кількох дефектів у межах одного маршруту — за маршрутною технологією. Остання є найбільш доцільною для спеціалізованих підприємств, оскільки являє собою завершений технологічний процес відновлення деталей із раціонально визначеною послідовністю операцій для усунення певної групи дефектів.

Обґрунтування вибору маршруту та поєднання дефектів, що до нього входять, значною мірою визначається частотою повторюваності конкретних дефектів у загальному обсязі ремонтіваних деталей, тобто коефіцієнтом повторюваності. Для цього, як правило, потрібні значні обсяги експериментальних досліджень. Кількість маршрутів повинна бути мінімальною, але водночас достатньою для забезпечення раціональної організації технологічного процесу.

У кваліфікаційній роботі кількість маршрутів і перелік дефектів, які входять до кожного з них, студент визначає на основі матеріалів виробничої практики та літературних джерел, після чого уточнює їх спільно з викладачем. Отримані результати оформлюють у вигляді карти поєднання дефектів за маршрутами (табл. 2.1). Для одного з визначених маршрутів, за завданням викладача, розробляють технологічний процес відновлення деталі.

Таблиця 2.1 – Карта розподілу дефектів за маршрутами. Найменування і позначення деталі: вал редуктора ККУ0102.290

№ Деф.	Найменування дефекту	Найменування та поєднання дефекту		
		I	II	III
1	Знос шпонкової канавки по ширині	+	+	-
2	Знос поверхні під шарикопідшипник	+	+	+
3	Знос поверхні під шестерню	+	-	+
4	Знос шпонкової канавки	+	+	
5	Пошкодження різьби	+	-	+

Таблиця 2.2 – Основний і можливий способи ліквідації дефекту

№ дефекта	Найменування дефекту	Основний спосіб усунення дефекта	Допустимий спосіб усунення дефекта
1	Знос шпонкової канавки по ширині до розміру більше 8,030мм	Наплавити дротом 1,6 Нп-30ХГСА ДСТУ 3671 у вуглекислому газі ДСТУ 4817:2007	-
2	Знос поверхні під шарикопідшипник до розміру менше 43,9мм	Наплавити дротом 1,6 Нп-30ХГСА ДСТУ 3671 у вуглекислому газі ДСТУ 4817:2007	ДСТУ 3671 у вуглекислому газі стрічку 50 ХФА ДСТУ 3833-98електроконтактним способом
3	Знос поверхні під шестерню до розміру менше 43,9мм	Наплавити дротом 1,6 Нп-30ХГСА ДСТУ 3671 у вуглекислому газі ДСТУ 4817:2007	ДСТУ 3671 у вуглекислому газі стрічку 50 ХФА ДСТУ 3833-98електроконтактним способом
4	Знос шпонкової канавки по ширині до розміру більше 10,070мм	Наплавити дротом 1,6 Нп-30ХГСА ДСТУ 3671 у вуглекислому газі ДСТУ 4817:2007	-
5	Пошкодження різьби (забоїни, зрив більше двох ниток)	Наплавити дротом 1,6 Нп-30ХГСА ДСТУ 3671 у вуглекислому газі ДСТУ 4817:2007	-

Технологічний маршрут відновлення передбачає виконання таких операцій: наплавлення для усунення дефектів 1, 2, 3, 4 і 5; токарну обробку для дефектів 1–5; нарізання шпонкових канавок для усунення дефектів 1 і 4; нарізання різьби для дефекту 5; загартування струмами високої частоти для дефектів 1, 2, 3 і 4; шліфування для остаточного усунення дефектів 1, 2, 3 і 4.

2.4 Обґрунтування прийнятого маршруту відновлення деталей

2.4.1 Оцінка й вибір раціональних варіантів технологічних процесів усунення дефектів

Після вибору конкуруючих способів відновлення та їх питомих показників необхідно провести їх порівняльний аналіз і визначити найбільш ефективний варіант відновлення деталі.

Для здійснення такого аналізу та визначення інтегрального показника ефективності складають таблицю встановленої форми (див. табл. 2.2).

Відносний питомий показник i -го способу визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$\gamma_i = \frac{W_i}{\sum W_n} + \frac{Q_i}{\sum Q_n} + \frac{\beta_i}{\sum \beta_n} + \frac{T_i}{\sum T_n} + \frac{C_{bi}}{\sum C_{bn}} \quad (2.1)$$

де $W_i, Q_i, \beta_i, T_i, C_{bi}$ — значення питомих показників i -го способу відновлення;

$\sum W_n, \sum Q_n, \sum \beta_n, \sum T_n, \sum C_{bn}$ — сукупні значення однойменних питомих показників для всіх можливих способів відновлення.

Інтегральний показник i -го способу визначають за відповідною формулою:

$$I_i = \frac{\gamma_i}{a_i} \quad (2.2)$$

де γ_i — відносний питомий показник i -го способу;

a_i — відносна довговічність деталі після відновлення i -м способом.

Інші показники відновлення деталі за вибраним варіантом визначають аналогічно. Після цього розробляють маршрут відновлення деталі обраним способом із зазначенням назв і змісту операцій, технологічних режимів, використовуваного обладнання та матеріалів. Оскільки співвідношення витрат на матеріали, енергоресурси й заробітну плату змінюється, а також постійно з'являються нові технічні рішення, результати оптимізації необхідно періодично уточнювати.

Таблиця 2.3 – Питомі параметри способів відновлення

Способи відновлення	Питомі показники на 1 дм ² поверхні					Відносна довговічність на 1 дм ² поверхні a_i
	W, кВт·год	Q,кг	β ,м ²	T, люд·год	C, у.о.	
Газополуменеве напилення:	0,98	0,17	2	0,034	1,7	0,8
- дротом	0,67	0,16	2	0,023	4	0,8
- порошком						
Газополуменеве надзвукове напилення	0,7	0,18	5	0,018	9	0,8
Дугове напилення	0,3	0,18	1,8	0,015	1,26	0,8
Гіперзвукове напилення	0,3	0,17	5,4	0,085	1,7	0,8
Плазмове напилення	1,25	0,18	6	0,025	5,04	0,8
Плазмове надзвукове напилення	1,3	0,18	10	0,03	7,2	0,8
Газополуменеве наплавлення	0,47	0,17	0,25	0,34	0,34	0,8
Газодинамічне	0,02	0,07	3	0,014	1,3	0,8

напилення						
Електроіскрова обробка	0,45	0,2	1,5	0,07	3,5	0,8
Гальванічне натирання	3,1	0,2	6,5	0,41	0,7	0,8

Таблиця 2.4 – План виконання операцій з відновлення деталі

Номер операції	Найменування операції. Спосіб установаження деталі. Обладнання, пристосування, інструмент.	Номер переходу	Зміст переходу
005	Наплавна Установка деталі. Наплавочна установка УД-209 Перетворювач ВДУ-506 Балон із CO ₂ 40-150 ДСТУ 949-73 Оправка (цехова) Шаблон 252 (цеховий) Кліщі (цехові))	1	Встановити деталь на оправку, закріпити Наплавити зовнішню поверхню дротом 1,6 Нп-30ХГСА ДСТУ 10543-75 з Ø246мм до Ø252мм на довжині 90 мм. Зняти деталь
		2	
		3	
010	Токарна Патрон 7100-0008 Токарний верстат 1К62 Різець прохідний 2100-0029 Т15К6 ДСТУ 18878-73 Штангенциркуль ЩЦ-П-250-0,05 ДСТУ 166-80	1	Установити деталь у патрон, закріпити. Точити наплавлену поверхню з Ø252мм до Ø248мм-1,15 Точити фаску 1,5мм×45° Зняти деталь
		2	
		3	
		4	
015	Фрезерна Вертикальний консольно-фрезерний верстатк 6К12 Пристрій для фрезерування шпоночних пазів ПТ01.00.000СБ Фреза Ø8 Фреза Ø10	1	Встановити деталь в пристрій Закріпити Фрезерувати шпоночний паз Ø8 Фрезерувати шпоночний паз Ø108 Зняти деталь
		2	
		4	
		5	

015	Токарна Патрон 7100-0008 Токарний верстат 1К62 Різець прохідний 2100-0029 Т15К6 ДСТУ 18878-73 Штангенциркуль ШЦ-П-250- 0,05 ДСТУ 1660	1	Встановити деталь у патрон, закріпити. Точити наплавлену поверхню з Ø252мм до Ø248мм-1,15 Точити фаску 1,5мм×45° Зняти деталь
		2	
		3	
		4	
020	Різь нарізальна Патрон 7100- 0008 Токарний верстат 1К62 Різець різьбовий	1	Встановити деталь Нарізати нарізь Зняти деталь
		2	
		3	
025	Темічна Піч ТВЧ ВЧ-25АВ	1	
030	Шліфувальна Верстат круглошліфувальний 3Б161 Круг 39А24-40 СМ2-С1 Штангенциркуль ШЦ-П-250- 0,05 ДСТУ 166	1	Встановити деталь Шліфувати Поводковий патрон Зняти деталь
		2	
		3	

Розрахунок режимів і нормування процесу наплавлення в середовищі вуглекислого газу.

Необхідно визначити режими виконання та норму часу на операцію наплавлення в середовищі вуглекислого газу поверхні 1 вала картоплезбирального комбайна. Товщина наплавленого шару становить $h = 1,6$ мм. Матеріал деталі — сталь 30. Маса деталі в обробленому стані дорівнює 2,47 кг.

$$i = \frac{h}{t} \quad (2.3)$$

де h — загальна товщина шару, що підлягає наплавленню; у даному випадку $h = 1,6$;

t — товщина шару, який наплавляється за один прохід; приймаємо $t = 1,6$ мм.

$$i = \frac{1,6}{1,6} = 1$$

Крок наплавлення визначаємо за відповідною розрахунковою формулою:

$$S = k_{\text{ш}} d_{\text{пр}} \quad (2.4)$$

де $d_{\text{пр}}$ — діаметр електродного дроту;

$k_{\text{ш}}$ — коефіцієнт кроку наплавлення, який приймаємо $k_{\text{ш}} = 2,5$.

Наплавлення циліндричних поверхонь деталей, як правило, здійснюють по гвинтовій траєкторії з перекриттям кожного попереднього валика наступним на $1/2$ – $1/3$ його ширини, тому приймаємо $d_{\text{пр}} = 1,6$ мм.

$$S = 2,5 \cdot 1,6 = 4 \text{ мм}$$

Швидкість процесу наплавлення розраховують за відповідною формулою:

$$V_H = \frac{a_H I}{h s \gamma} \quad (2.5)$$

де a_H — коефіцієнт наплавлення, для якого приймаємо $a_H = 11$ г/А·год;

γ — густина електродного дроту, $\gamma = 7,85$ г/см³;

I — сила зварювального струму, $I = 200$ А.

$$V_H = \frac{11 \cdot 200}{1,6 \cdot 4 \cdot 7,85} = 43,79 \text{ м/год}$$

Для визначення частоти обертання деталі використовують відповідну розрахункову залежність:

$$n = \frac{1000 V_H}{60 \pi d} \quad (2.6)$$

де d — значення діаметра деталі, 50 мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 43,79}{60 \cdot 3,14 \cdot 50} = 4,6 \text{ хв}^{-1}$$

У розрахунках приймаємо $n = 4,6 \text{ хв}^{-1}$. Швидкість подачі дроту визначають за відповідною формулою:

$$V_{\text{пр}} = \frac{4a_H I}{\pi d_{\text{пр}}^2 \gamma} \quad (2.7)$$

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot 11 \cdot 200}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 139,5 \text{ м/год}$$

Показник вильоту електрода знаходять за розрахунковим виразом:

$$\delta = k_e d_{\text{пр}} \quad (2.8)$$

Беремо значення $k_e = 10$.

$$\delta = 10 \cdot 1,6 = 16 \text{ мм}$$

У розрахунках приймаємо $\delta = 15 \text{ мм}$. Зміщення електрода обчислюють за встановленою формулою:

$$l = k_{3e} d \quad (2.9)$$

Коефіцієнт k_{3e} приймаємо рівним 0,06.

$$l = 0,06 \cdot 50 = 3 \text{ мм}$$

У розрахунках витрату вуглекислого газу приймаємо рівною 10 л/хв, а основний час знаходять за відповідною формулою:

$$T_o = \frac{60 \pi d L i}{1000 V_H S} \quad (2.10)$$

де L — довжина наплавлюваної поверхні деталі, яка становить 370 мм.

$$T_o = \frac{60 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 370 \cdot 1}{1000 \cdot 43,79 \cdot 4} = 19,9 \text{ хв}$$

Прийняте значення допоміжного часу становить $T_B = 3 \text{ хв}$, а додатковий час знаходять за розрахунковою залежністю:

$$T_{\text{дод}} = 0,1(T_o + T_B) \quad (2.11)$$

$$T_{\text{дод}} = 0,1(19,9 + 3) = 2,3 \text{ хв}$$

Прийняте значення підготовчо-заключного часу становить $T_{\text{пз}} = 16 \text{ хв}$. Тоді норма часу, або штучно-калькуляційний час, на наплавлення однієї деталі буде:

$$T_H = T_o + T_B + T_{\text{дод}} + T_{\text{пз}} \quad (2.12)$$

$$T_H = 19,9 + 3 + 2,3 + 16 = 41,2 \text{ хв}$$

Під час визначення режимів різання та норми часу на чистову операцію зовнішнього точіння розглядаємо обробку поверхні 1 валу машини з початкового діаметра $50,8^{-0,39} \text{ мм}$ до кінцевого $50,21^{-0,16} \text{ мм}$. Припуск на сторону становить 0,59 мм. Початкова шорсткість поверхні відповідає $R_a = 12,5 \text{ мкм}$, а після обробки потрібно

забезпечити $R_a = 3,2$ мкм. Закріплення деталі здійснюється в самоцентрувальному патроні з упором у задній центр. Матеріал валу — сталь 30 за ДСТУ 7809:2015, маса деталі становить 2,47 кг.

За технологічним завданням необхідно обробити поверхню 1 на довжині 370 мм і виконати фаску. Для цього вибираємо підрізний різець із пластиною з твердого сплаву Т15К6 та застосовуємо токарно-гвинторізний верстат 16К20. З урахуванням величини припуску $z = 0,59$ мм глибини різання для чистового зовнішнього точіння приймаємо $t = 0,35$ мм.

Кількість проходів при цьому визначають за розрахунковою залежністю:

$$i = z/t \quad (2.13)$$

$$i = \frac{0,59}{0,35} = 1,68$$

Кількість проходів приймаємо рівною $i = 2$, при цьому глибина різання в кожному проході становить:

$$t = \frac{z}{i} \quad (2.14)$$

$$t = \frac{0,59}{2} = 0,295 \approx 0,3 \text{ мм}$$

Приймаємо табличне значення подачі $S_{\text{табл}} = 0,1$ мм/об. Після перевірки за паспортом верстата остаточно встановлюємо $s = 0,1$ мм/об. Для однієї інструментальної наладки на токарних верстатах стійкість різального інструменту дорівнює $T = 60$ хв. Швидкість різання при точінні та розточуванні обчислюють за відповідною розрахунковою залежністю:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v \quad (2.15)$$

де C_v — коефіцієнт, що відображає характеристики оброблюваного матеріалу та умови виконання обробки; приймаємо $C_v = 420$;

m — показник відносної стійкості інструменту, $m = 0,2$;

x і y — показники степеня, відповідно $x = 0$ та $y = 0,2$;

K_v — поправковий коефіцієнт, який урахує різницю між реальними умовами роботи інструменту та умовами, покладеними в основу розрахунку:

$$K_v = K_M K_n K_u K_\phi K_{\phi 1} K_r K_q K_o \quad (2.16)$$

$K_M, K_n, K_u, K_\phi, K_{\phi 1}, K_r, K_q, K_o$ — поправкові коефіцієнти, що відображають вплив відповідних чинників на швидкість різання. Для 30 сталі $\sigma_b = 500$ МПа.

$$K_M = \frac{750}{500} = 1,5$$

$K_n = 0,85, K_u = 1, K_\varphi = 0,7, K_{\varphi 1} = 1, K_r = 1, K_q = 1,12, K_o = 1$. Тоді отримаємо:

$$K_v = 1,5 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1,07$$

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,1^{0,2}} 1,07 = 376 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання шпинделя верстата обчислюють за розрахунковою залежністю:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \quad (2.17)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 376}{3,14 \cdot 50,21} = 2384 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними характеристиками верстата уточнюємо частоту обертання шпинделя і приймаємо $n_{\text{ст}} = 1250 \text{ хв}^{-1}$. У такому разі скоригована швидкість різання буде:

$$v_{\text{ст}} = \frac{\pi D n_{\text{ст}}}{1000} \quad (2.18)$$

$$v_{\text{ст}} = \frac{3,14 \cdot 50,21 \cdot 1250}{1000} = 197 \text{ м/хв}$$

Розрахункову довжину поверхні, що підлягає обробці, обчислюють за встановленою залежністю:

$$L = l + y \quad (2.19)$$

де l — розрахункова довжина оброблюваної поверхні деталі, що становить 370 мм; y — величина врізання й перебігу, яка приймається рівною 2 мм.

$$L = 370 + 2 = 372 \text{ мм}$$

Для визначення основного часу використовують відповідну розрахункову залежність:

$$T_{01} = \frac{Li}{n_{\text{ст}}s} \quad (2.20)$$

де L — довжина оброблюваної поверхні, розрахована з урахуванням врізання та перебігу, $L = 372 \text{ мм}$; i — кількість проходів, $i = 2$; $n_{\text{ст}}$ — шпиндельна частота обертання, $n_{\text{ст}} = 1250 \text{ хв}^{-1}$; s — величина подачі, $s = 0,1 \text{ мм/об}$.

$$T_{01} = \frac{372 \cdot 2}{1250 \cdot 0,1} = 5,95 \text{ хв}$$

Для обробки фаски використовують ті самі режими, що й для поверхні деталі. Основний час на обробку фаски складає $T_{0\text{ф}} = 0,16 \text{ хв}$. Таким чином, основний час на всю операцію визначається так:

$$T_o = T_{o1} + T_{of} \quad (2.21)$$

$$T_o = 5,95 + 0,16 = 6,11 \text{ хв}$$

Час, що витрачається на встановлення, вивіряння та зняття деталі, приймаємо $T_{B1} = 1,06$ хв. Допоміжний час на два проходи при токарній обробці на верстаті 16K20 становить $T_{B2} = 2 \cdot 0,5 = 1,0$ хв. Отже, сумарний допоміжний час буде таким:

$$T_B = 1,06 + 1,0 = 2,06 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховують за відповідною формулою:

$$T_{оп} = T_o + T_B \quad (2.22)$$

$$T_{оп} = 6,11 + 2,06 = 8,17 \text{ хв}$$

Величину додаткового часу розраховують залежно від витрат оперативного часу:

$$T_{Дод} = \frac{T_{оп}K}{100} \quad (2.23)$$

де K — коефіцієнт, що відображає відношення додаткового часу до оперативного в процентному вираженні; $K = 8\%$.

$$T_{Дод} = \frac{8,17 \cdot 8}{100} = 0,65 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час становить $T_{ПЗ} = 9$ хв. Отже, штучно-калькуляційний час складе:

Для розрахунків беремо $T_{ПЗ} = 9$ хв. Тоді штучно-калькуляційний час визначається так:

$$T_H = T_{оп} + T_{Дод} + \frac{T_{ПЗ}}{n_{шт}} \quad (2.24)$$

де $n_{шт}$ — кількість деталей у виробничій партії, прийнята рівною 1.

$$T_H = 8,17 + 0,65 + \frac{9}{1} = 17,82 \text{ хв}$$

2.4.2 Розрахунок режимів і нормування операції круглого шліфування

Необхідно визначити режими різання та норму часу на виконання круглого зовнішнього шліфування відновленої поверхні 1 валу комбайна до діаметра $d = 40^{-0,017}$ мм. Припуск на одну сторону становить $z = 0,2$ мм. Шорсткість поверхні до обробки дорівнює $R_a = 6,3$ мкм, а після шліфування потрібно забезпечити $R_a = 3,2$ мкм. Обробку здійснюють у самоцентрувальному патроні з додатковим підтисканням заднім центром. Матеріал деталі — сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015, маса деталі становить 4,6 кг.

Для обробки цапфи обираємо круглошліфувальний верстат моделі 3Б131. Розміри

інструмента обмежуються найбільшим допустимим діаметром шліфувального круга, який можна встановити на цьому верстаті. У зв'язку з цим приймаємо шліфувальне коло діаметром $D_k = 450$ мм і шириною $B_k = 50$ мм.

Подовжню подачу приймаємо в частках від ширини круга, тобто $\beta = 0,3$. Глибину шліфування встановлюємо $t = 0,01$ мм. При цьому колова швидкість деталі повинна становити $v_d = 20$ м/хв. Подовжню подачу визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$S_{\text{пр}} = B_k \beta \quad (2.25)$$

$$S_{\text{пр}} = 50 \cdot 0,3 = 15 \text{ мм/об}$$

Кількість проходів визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$i = \frac{0,2}{0,01} = 20 \text{ проходів}$$

Необхідні подовжня і поперечна подачі забезпечуються верстатом. За таблицею обираємо швидкість шліфувального круга $v_k = 30 - 35$ м/с. Частоту обертання деталі знаходять за розрахунковим виразом:

$$n_d = \frac{318 v_d}{d} \quad (2.26)$$

$$n_d = \frac{318 \cdot 20}{40} = 159 \text{ хв}^{-1}$$

Швидкість обертання деталі приймаємо $v_d = 150$ м/хв. Частоту обертання шліфувального круга встановлюємо $n_k = 1112 \text{ хв}^{-1}$. Відповідно скоригована швидкість шліфувального кола визначається так:

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60} \quad (2.27)$$

$$v_k = \frac{3,14 \cdot 450 \cdot 1112}{1000 \cdot 60} = 26,1 \text{ м/с}$$

Отримане значення швидкості шліфувального круга не виходить за межі допустимого діапазону $v_k = 30 - 35$ м/с. Для розрахунку основного часу використовують відповідну залежність:

$$T_o = \frac{Li}{n_d S_{\text{пр}}} K \quad (2.28)$$

Для визначення довжини оброблюваної поверхні використовують відповідну розрахункову залежність 2.19.

де $l = 156$ мм. Розрахунок величини врізання та перебігу виконують тільки для однієї сторони:

$$y = 0,5B_k \quad (2.29)$$

$$y = 0,5 \cdot 50 = 25 \text{ мм}$$

$$L = 156 + 25 = 181 \text{ мм}$$

Для подальших розрахунків коефіцієнт зачистних ходів беремо рівним 1,4.

$$T_o = \frac{181 \cdot 20}{150 \cdot 15} = 1,4 = 2,25 \text{ хв}$$

На встановлення та зняття деталі приймаємо допоміжний час $T_{B1} = 0,8$ хв. Допоміжний час T_{B2} , який припадає на перший і наступні проходи, визначають за формулою:

$$T_{B2} = 1,2 + 0,05 \cdot (20 - 1) = 2,15 \text{ хв}$$

$$T_B = 0,8 + 2,15 = 2,95 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховують за відповідною формулою:

$$T_{оп} = 2,25 + 2,95 = 5,2 \text{ хв}$$

Додатковий час обчислюють за встановленою формулою 2.23.

де K — показник відношення додаткового часу до оперативного в процентному вираженні, який приймаємо рівним 9%.

$$T_{Дод} = \frac{5,2 \cdot 9}{100} = 0,47 \text{ хв}$$

За табличними даними приймаємо підготовчо-заклучний час $T_{пз} = 11$ хв. Тоді штучно-калькуляційний час на операцію буде розраховуватись за формулою 2.24.

де $n_{шт}$ — число деталей у партії; у розрахунках беремо $n_{шт} = 1$.

$$T_H = 5,2 + 0,47 + \frac{11}{1} = 16,67 \text{ хв}$$

2.5 Складання ремонтного креслення деталі

До складу нормативно-технічної документації на ремонт входить ремонтне креслення деталі, яке містить усю необхідну технологічну інформацію.

Для розроблення ремонтного креслення необхідно мати комплект вихідних документів і довідкових матеріалів. До них належать: робоче креслення деталі для її виготовлення або креслення, виконане за натурним зразком; чинні на момент розроблення технічні вимоги чи умови на ремонт машини; а також дані про повторюваність дефектів, отримані під час дефектації відповідних деталей.

Ремонтні креслення виконують згідно з правилами, установленними ДСТУ 2604:2005. Написи, таблиці та технічні вимоги на ремонтних кресленнях деталей і складальних одиниць оформлюють відповідно до вимог чинних стандартів ДСТУ.

Основні правила виконання й оформлення ремонтних креслень наведені у джерелах [19–21]. Відповідно до ДСТУ 2.604 до позначення деталі або складальної одиниці на ремонтному кресленні додають літеру Р, що означає «ремонтний».

Ремонтне креслення, на якому зазначено кілька категорійних ремонтних розмірів деталі, позначають додаванням дробу: у чисельнику вказують літеру Р і цифру, що відповідає першій категорії ремонтного розміру, а в знаменнику — літеру Р з цифрою, що відповідає другій, третій та іншим категоріям ремонтних розмірів деталі.

У кваліфікаційній роботі ремонтне креслення, як правило, виконують на аркуші формату А1, а за потреби допускається використання формату А2.

Кількість проєкцій, а також необхідність застосування розрізів, перерізів і додаткових видів на ремонтному кресленні визначають, виходячи з умови забезпечення достатньої наочності та повноти зображення деталі.

2.6 Комплект документів технологічного процесу відновлення деталі

Виходячи з обраного технологічного процесу відновлення, операційних планів, установлених режимів відновлення, розрахунків норм часу та підготовленого ремонтного креслення, у роботі складають комплект документів для одиничного маршрутно-операційного технологічного процесу відновлення деталі. Під час його оформлення керуються методичними вказівками [19–21] або положеннями ОСТ 70.0009.005-85. Розроблення технологічної документації здійснюють за допомогою сучасних САРР-систем.

2.7 Конструкція і призначення технологічного оснащення для фрезерування шпонкової канавки на валу ККУ01.26.290

У роботі передбачається розроблення конструкції технологічного оснащення (пристрою), яке може бути запропоноване керівником або викладачем у завданні, а також самостійно обране студентом. Таке оснащення рекомендується для використання в технологічних процесах ремонту вузлів і відновлення деталей, що опрацьовуються в роботі.

Пристосування складається з таких основних елементів: ПТ 01.00.001 — плита; ПТ 01.00.002 — скоба; ПТ 01.00.003 — фланець; ПТ 01.00.004 — гайка, а також гвинтів М10, М16 і М22.

Запропонований пристрій призначений для закріплення вала на фрезерному верстаті під час обробки шпонкових канавок.

Фіксація вала в пристосуванні здійснюється за допомогою трьох болтів із призматичними наконечниками.

2.8 Обчислення величини прикладених сил

Під час виконання фрезерних робіт на пристосування діє сила різання. Без урахування сил, що виникають у процесі фрезерування, неможливо правильно спроектувати високопродуктивне обладнання, технологічне оснащення, ріжучий інструмент, а також обґрунтовано призначити режими механічної обробки.

Фрезерування належить до найбільш продуктивних способів механічної обробки. Основний рух різання при цьому є обертальним і здійснюється фрезою, а рух подачі, як правило, має прямолінійний характер і виконується заготовкою або інструментом залежно від конструкції верстата.

Методом фрезерування можна отримати деталі з точністю 6–12 квалітетів і шорсткістю поверхні до $R_a = 0,8$ мкм. Процес здійснюється за допомогою багатолезового інструменту — фрези. За видом фрези поділяють на циліндричні, торцеві, дискові, прорізні, відрізні, кінцеві та фасонні. За конструкцією вони можуть бути суцільними, складеними або збірними.

Під час роботи прямозубої фрези силу опору різанню R можна розглядати як геометричну суму двох складових: радіальної сили P_r , що діє вздовж радіуса фрези, та дотичної сили P_z , спрямованої по дотичній до кола її обертання. Радіальна складова намагається відтиснути фрезу від заготовки і викликає прогин оправки, тоді як дотична сила безпосередньо протидіє процесу різання. З боку інструмента ці сили впливають на заготовку у протилежному напрямку.

Для фрез із гвинтовими зубами характерною є також поява додаткової осьової сили P_o , яка виникає внаслідок геометричного розкладання загального зусилля різання R . Ця сила спрямована вздовж осі фрези і прагне змістити її в осьовому напрямку, тому бажано, щоб вона була орієнтована в бік більш жорсткої опори — шпинделя. Подібний характер дії сил спостерігається і під час роботи торцевих фрез.

Найбільшою за величиною є дотична сила P_z , яка перевищує інші складові зусилля різання у два і більше разів. Саме вона збігається з напрямком швидкості різання та безпосередньо виконує роботу зі зрізання стружки. Тому в технологічних розрахунках як загальне зусилля різання зазвичай приймають силу P_z .

Окружну силу різання при фрезеруванні, H , визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp} \quad (2.30)$$

де K_{Mp} — коефіцієнт поправки, який ураховує характеристики матеріалу, що підлягає обробці.

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n \text{ для сталі} \quad (2.32)$$

C_p — коефіцієнт, що характеризує умови обробки;

x, y, n, q, w — показники степеня;

t — глибина різання, мм;

S_z — величина подачі на один зуб фрези, мм/зуб;

V — швидкість різання, м/хв;

B — ширина фрезеруваної поверхні, мм;

D — діаметр фрези, мм.

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 1,8^{0,9} \cdot 0,1^{0,74} \cdot 80^{1,0} \cdot 10}{100^{1,0} \cdot 630^0} 1,15 = 1525,2$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{220}{190}\right)^{1,0} = 1,15$$

$$C_p = 54,5, x = 0,9, y = 0,74, u = 1,0, q = 1,0, w = 0$$

2.9 Розрахунок конструктивних елементів технологічного оснащення

2.9.1 Визначення діаметрів болтів

Діаметр болта або шпильки, що сприймає задане зовнішнє зусилля, знаходять за розрахунковою залежністю:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P_p}{\pi[\sigma_p]}} \quad (2.33)$$

де P_p — розтягувальне зусилля;

$[\sigma_p]$ — допустиме напруження на розтяг, що становить $0,6\sigma_T$;

d_1 — внутрішній діаметр різьби.

Розрахунок для перевірки на зріз здійснюють за формулою:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P_n}{\pi[\tau_{cp}]n}} \quad (2.34)$$

де P_n — поперечна сила;

$[\tau_{cp}]$ — допустиме напруження зрізу, яке орієнтовно становить $(0,2 \dots 0,3)\sigma_T$;

n – число площин зрізу.

Для різьбових з'єднань, що служать для закріплення заготовки в процесі механічної обробки і працюють під дією напружень кручення τ_1 та стиску $\sigma_{сж}$, обчислюють приведені напруження $\sigma_{1пр}$. Його значення зіставляють із допустимим, яке прирівнюють до $0,8\sigma_T$:

$$\sigma_{1пр} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 3\tau_1^2} \leq 0,8\sigma_T \quad (2.35)$$

$$\tau_1 = \frac{M_p}{0,2d_1^2} \quad (2.36)$$

$$\sigma_{сж} = \frac{4P}{\pi d_1^2} \quad (2.37)$$

З метою остаточної перевірки різьбового з'єднання визначають коефіцієнт запасу міцності за пластичністю:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{1пр}} \leq [n] \quad (2.38)$$

де $[n]$ - позначає допустимий запас міцності; $n = 1,5 \dots 2,5$, $\sigma'_T = 1,05\sigma_T$.

Закріплення заготовки відбувається торцем гвинта, у зв'язку з чим слід виконати перевірочний розрахунок на зминання опорної поверхні.

$$\sigma_{см} = \frac{P}{F_{см}} \leq [\sigma_{см}] \quad (2.39)$$

$$F_{см} = \frac{\pi D^2}{4} \text{ для торця круглої форми} \quad (2.40)$$

$$F_{см} = \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} \text{ для торця кільцеподібної форми} \quad (2.41)$$

$$[\sigma_{см}] \approx 400 \text{ МПа}$$

За результатами розрахунку вибираємо болти М10, М16 та М22.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Заходи безпеки праці при виконанні технологічних операцій

Експлуатація та технічне обслуговування картоплезбиральних машин потребують суворого дотримання вимог охорони праці, що обумовлено особливостями конструкції кожної марки машин і складними умовами виконання збиральних робіт.

До роботи на машинах комплексу для збирання картоплі допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли спеціальну підготовку, ознайомлені з правилами експлуатації машин, порядком виконання технічного обслуговування та регулювань, а також пройшли інструктаж з техніки безпеки та протипожежних заходів.

Перед початком роботи необхідно перевірити наявність і правильність встановлення захисних огорожень на карданних передачах, зірочках і шківках, які позначаються білими колами. Кожухи, що закривають телескопічну частину карданного вала, повинні бути з'єднані ланцюжками зі щитом трактора та кожухом проміжного вала карданної передачі і під час роботи не повинні обертатися.

Під час роботи агрегату та при початку руху забороняється перебувати попереду трактора, машини або збоку в зоні розташування обертових валів і зірочок. Під час роботи тракторист-комбайнер повинен постійно контролювати взаємне розташування збирального агрегату і транспортних засобів. У разі небезпечного зближення рух необхідно негайно зупинити.

Під час виконання технічного обслуговування або ремонту картоплезбиральних машин у польових умовах трактор слід заглушити або від'єднати машину. Перед оглядом чи ремонтом обов'язково потрібно вимкнути вал відбору потужності, а під ходові колеса підкласти упори, які унеможливають самовільне перекочування машини.

Одяг обслуговуючого персоналу не повинен мати довгих звисаючих частин; він має бути щільно застібнутий і заправлений. Перед увімкненням вала відбору потужності, механізму піднімання комбайна та перед початком руху слід переконатися, що до робочих органів не потрапили сторонні предмети, поблизу відсутні люди, а звукова сигналізація перебуває у справному стані.

Під час роботи в суху та вітряну погоду обслуговуючий персонал повинен використовувати пилозахисні окуляри, а за умов підвищеної запиленості — також інші

засоби індивідуального захисту органів дихання від пилу. Працівники, які обслуговують агрегати, мають бути одягнені в комбінезони із застібнутими манжетами.

Під час складання та ремонту машин забороняється застосовувати несправні вантажопідіймальні засоби або такі, що не відповідають необхідній вантажопідіймальності. Сигнал на ввімкнення машини має право подавати лише старший на агрегаті після попередження всіх працівників, що перебувають біля машини.

Змащування та очищення машин під час їх роботи в полі або навіть під час тимчасової зупинки не допускається. Очищення дозволяється проводити лише після повної зупинки машини та вимкнення двигуна трактора. Перед початком кожної зміни тракторист і комбайнер під час огляду агрегату зобов'язані переконатися не лише у справності робочих органів, а й у надійності кріплення всіх щитків і захисних огорожень.

Робота в нічний час допускається лише за наявності справного електричного освітлення, яке забезпечує достатню видимість попереду, позаду та в межах усього збирального агрегату. Агрегат повинен бути укомплектований необхідними санітарними засобами, зокрема аптечкою, ємністю для питної води тощо, а також протипожежним інвентарем — вогнегасником, лопатою та іншими засобами.

До початку роботи на збиральних агрегатах увесь обслуговуючий персонал обов'язково проходить інструктаж з техніки безпеки.

Для картоплезбиральних агрегатів слід дотримуватися також спеціальних правил безпеки. Зокрема, при переведенні комбайна з робочого положення в транспортне або навпаки, а також під час зміни положення коліс під швелер осі необхідно встановлювати підкладку у вигляді дерев'яного бруса. Особливої обережності вимагає складання та розбирання бункера, а також його опускання чи піднімання — ці операції повинні виконувати щонайменше чотири особи.

Збиральний агрегат вводять у роботу лише за командою старшого на агрегаті, який попереджає всіх працівників і подає відповідні вказівки. У разі виникнення аварійної ситуації сигнал про негайну зупинку може подати будь-який працівник, який помітив небезпеку.

Працівник, який обслуговує збиральний агрегат, повинен суворо дотримуватися встановлених вимог безпеки.

Перевезення комбайна трактором у нічний час забороняється. Під час роботи агрегату не допускається перебування сторонніх осіб на комбайні або поблизу нього. Також заборонено транспортувати комбайн трактором за відсутності габаритних знаків або при несправній гальмівній системі.

Під час роботи чи транспортування комбайна не дозволяється сідати на трактор або комбайн чи сходити з них під час руху. У вологу погоду, коли працівники піднімаються на комбайн або спускаються з нього, необхідно виявляти підвищену обережність.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок економічної ефективності відновлення деталей

У загальному вигляді собівартість відновлення вала редуктора ККУ0102.290 визначають за відповідною розрахунковою формулою.

$$C = C_3 + 3_{\text{пл}} + C_{\text{об}} + H_{\text{ц}} + C_{\text{бр}} + C_{\text{м}} \quad (4.1)$$

Вартість зношеної деталі визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$3_3 = m \cdot 250 = 1,7 \cdot 6,0 = 10,2 \text{ грн}$$

Заробітну плату визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$3_{\text{пл}} = \left(\frac{T_{\text{н1}} \cdot C_{\text{р1}}}{60} + \frac{T_{\text{н2}} \cdot C_{\text{р2}}}{60} + \frac{T_{\text{н6}} \cdot C_{\text{р6}}}{60} \right) K_{\text{н}} \cdot K_{\text{д}} = 336,50 \text{ грн} \quad (4.2)$$

Визначення витрат, пов'язаних з утриманням і експлуатацією обладнання, здійснюють за відповідною формулою:

$$C_{\text{об}} = 0,2(C_{\text{із}} + 3_{\text{пл}} + C_{\text{пл}}) \quad (4.3)$$

$$C_{\text{об}} = 0,2(420,1 + 78,2 + 105,2) = 220,7 \text{ грн}$$

Визначення цехових витрат здійснюють за встановленою розрахунковою залежністю:

$$H_{\text{ц}} = 1,65 \cdot 3_{\text{пл}} \quad (4.4)$$

$$H_{\text{ц}} = 1,65 \cdot 336,50 = 33,65 \text{ грн}$$

Визначення втрат від браку здійснюють із використанням розрахункового виразу:

$$C_{\text{бр}} = 0,1 \cdot 3_{\text{пл}} \quad (4.5)$$

$$C_{\text{бр}} = 0,1 \cdot 336,50 = 33,65 \text{ грн}$$

Показник витрат на матеріали розраховують за відповідною аналітичною залежністю:

$$C_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n g_i + Ц_i \quad (4.6)$$

$$C_{\text{м}} = 40,14 \text{ грн}$$

Визначення собівартості відновлення здійснюють за розрахунковим виразом:

$$C_{\text{в}} = 10,2 + 336,50 + 220,7 + 555,2 + 35,3 + 33,65 + 40,14 = 1231,7 \text{ грн}$$

Балансова вартість валу становить 1725 грн. Показник наведених витрат розраховують за відповідною аналітичною залежністю:

$$3_{\text{п}} = C_{\text{в}} = 1231,7 \text{ грн}$$

Визначення ефективності відновлення здійснюють із використанням розрахункового виразу:

$$E_{\text{тп}} = \frac{U_o - 3_{\text{п}}}{3_{\text{п}}} 100\% \quad (4.7)$$

$$E_{\text{тп}} = 40,05\%$$

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ресурсу редуктора ККУ 01.26.290 картоплезбирального комбайна ККУ-2А шляхом удосконалення технології відновлення його вала та розроблення технологічного оснащення для фрезерування шпонкових канавок. Актуальність роботи зумовлена тим, що редуктор є відповідальним і дороговартісним вузлом комбайна, а обмежена наявність нових запасних частин ускладнює своєчасний ремонт і підтримання техніки у працездатному стані. У роботі визначено мету — підвищення ресурсу складальної одиниці редуктора за рахунок удосконалення технології відновлення вала, а також сформульовано основні завдання: розроблення схеми розбирання, виконання дефектації, відновлення деталі та проєктування спеціального оснащення.

У процесі виконання роботи проаналізовано призначення, будову та умови роботи редуктора привода комбайна ККУ, встановлено характерні дефекти його деталей, серед яких найбільш поширеними є зношування посадочних поверхонь під підшипники і шестерні, спрацювання шпонкових канавок та пошкодження різьби. На основі цього розроблено схему розбирання редуктора, підібрано комплект необхідної технологічної документації та складено карту поєднання дефектів за маршрутами, що дало змогу обґрунтувати раціональну послідовність відновлювальних операцій.

Для відновлення вала редуктора ККУ0102.290 обрано маршрутну технологію, яка передбачає наплавлення зношених поверхонь, токарну обробку, нарізання шпонкових канавок і різьби, загартування струмами високої частоти та остаточне шліфування. Така послідовність забезпечує усунення виявлених дефектів, відновлення геометричних параметрів деталі та створює передумови для підвищення її зносостійкості й надійності в експлуатації. У роботі також виконано обґрунтування вибору технологічного маршруту на основі порівняння можливих способів відновлення та їх питомих показників.

Важливою складовою роботи стало розроблення технологічного оснащення для фрезерування шпонкових канавок на валу ККУ01.26.290. Проведені інженерні розрахунки дали змогу визначити величини діючих сил та обґрунтувати параметри основних елементів конструкції оснащення. У результаті запропоноване оснащення може бути використане для надійного закріплення деталі та підвищення точності виконання ремонтно-відновлювальних операцій, що сприяє покращенню якості

ремонту та зниженню трудомісткості робіт. Це узгоджується із загальною метою роботи щодо удосконалення технології ремонту конструктивних елементів картоплезбирального комбайна.

У розділі з охорони праці наведено основні вимоги безпеки під час обслуговування збирального агрегату, зокрема заборону перебування сторонніх осіб поблизу комбайна під час роботи, вимоги до транспортування техніки та правила дій у разі виникнення аварійної ситуації. Це свідчить про те, що запропоновані технічні рішення розглянуто не лише з технологічної, а й з безпекової точки зору.

Отже, поставлену в роботі мету досягнуто: розроблено технологічний процес розбирання редуктора, виконано обґрунтування і вибір маршруту відновлення вала редуктора ККУ 01.26.290, а також спроєктовано технологічне оснащення для фрезерування шпонкових канавок. Запропоновані техніко-технологічні рішення спрямовані на підвищення ресурсу відновленої деталі, покращення якості ремонту та забезпечення доцільності застосування відновлення в умовах ремонтного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремонт машин та обладнання : підручник / В. І. Черкун, М. І. Белов, О. В. Мельник. Київ : Урожай, 2018. 376 с.
2. Технологія ремонту машин : навч. посіб. / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, А. Я. Поліський. Харків : ХНТУСГ, 2017. 452 с.
3. Ремонт сільськогосподарської техніки : навч. посіб. / В. М. Кравчук, М. І. Грицишин, В. В. Каплун. Київ : Аграрна освіта, 2015. 320 с.
4. Технологічні процеси ремонту машин : навч. посіб. / А. І. Бойко, В. М. Чумак, С. П. Погорілий. Київ : НУБіП України, 2016. 428 с.
5. Надійність і ремонт машин : навч. посіб. / В. Я. Анілович, В. М. Гриньов, М. І. Черновол. Харків : ХДТУСГ, 2014. 348 с.
6. Черновол М. І. Відновлення деталей машин : навч. посіб. Кіровоград : КНТУ, 2012. 352 с.
7. Молодик М. В., Зенкін А. С. Відновлення деталей машин. Київ : Урожай, 1989. 264 с.
8. Організація та технологія ремонту машин : навч. посіб. / В. М. Барановський, С. М. Кухарець, В. М. Поліщук. Житомир : ЖНАЕУ, 2018. 286 с.
9. Сільськогосподарські машини : підручник / В. М. Булгаков, В. В. Адамчук, В. Т. Надикто, І. В. Головач. Київ : Аграрна наука, 2018. 608 с.
10. Машини для збирання картоплі та овочевих культур : навч. посіб. / В. М. Кравчук, М. І. Грицишин, В. В. Каплун. Київ : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2016. 240 с.
11. Трактори та автомобілі : підручник / В. М. Погорілий, В. М. Кравчук, О. В. Лавріненко. Київ : Урожай, 2016. 420 с.
12. Машиновикористання в землеробстві : підручник / В. М. Булгаков, В. Т. Надикто, О. М. Калетнік. Київ : Аграрна наука, 2019. 492 с.
13. Деталі машин і основи конструювання : підручник / М. Н. Кіницький, В. О. Бойко, М. М. Кіницький. Київ : Кондор, 2018. 520 с.
14. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2004. 655 с.
15. Розрахунок і конструювання передач : навч. посіб. / В. О. Бойко, О. М. Кіницький. Київ : Кондор, 2017. 280 с.
16. Металорізальні верстати та технологічне оснащення : навч. посіб. / В. В. Боженко, О. М. Литвиненко. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 368 с.

17. Технологія машинобудування : підручник / М. А. Солонинко, О. І. Капустян, В. В. Мельник. Львів : Новий Світ-2000, 2018. 536 с.
18. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 55 с.
19. ДСТУ 2.604:2005. Єдина система конструкторської документації. Кресленики ремонтні. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 18 с.
20. ДСТУ 2604:2005. Єдина система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 32 с.
21. ДСТУ 2500-94. Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 52 с.
22. ДСТУ ISO 286-1:2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 44 с.
23. ДСТУ 7806:2015. Сталь конструкційна легована. Марки. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 18 с.
24. ДСТУ 7809:2015. Сталь якісна конструкційна вуглецева. Марки. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
25. ДСТУ 3671-97. Дріт сталевий наплавлювальний. Технічні умови. Київ : Держстандарт України, 1998. 24 с.