

Л.П. Калафатова, д.т.н., проф.
М.О. Бабенко, к.пед.н.
С.О. Вірич, к.т.н., доц.

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

Обґрунтування технологічного процесу механічного оброблення деталей роликів вузлів конвеєрів як чинника впливу на ефективність їх експлуатації

Технологічна собівартість є показником конкурентоспроможності продукції, тому можливість отримання якісних і точних деталей за умови невеликої собівартості вироблення сприяє зростанню рівня машинобудівного підприємства. Шляхами регулювання технологічної собівартості є зменшення: часу машинного оброблення деталі, простоїв обраного обладнання, вартості інструмента та відновлення його різальної здатності, часу зміни та переналагодження інструменту.

У цій роботі обґрунтовано, що зменшення технологічної собівартості виготовлення відповідальних деталей роликів вузлів стрічкових і роликів конвеєрів при забезпеченні їх високої якості позитивно відобразиться на витратах підприємств – заказників цієї продукції, для яких конвеєрний транспорт є основним у технологічних ланках. Застосування ефективних технологій забезпечення надійного з'єднання елементів «вал – підшипник» сприятиме підвищенню безперервності процесів транспортування вантажів та збільшенню показників продуктивності підприємства.

Проведено аналіз чинників формування показника технологічної собівартості механічного оброблення відповідальних поверхонь валів за умови забезпечення високих вимог до якості поверхонь і точності розмірів. Досліджено можливість зменшення технологічної собівартості виготовлення осевих валів роликів вузлів конвеєрів шляхом впровадження нових організаційних моделей виробництва, пов'язаних із обґрунтованим вибором варіанта технологічного процесу оброблення.

Ключові слова: конвеєрні транспортні системи; роликові опори; технології механічного оброблення валів; підшипникові блоки роликів вузлів; технологічна собівартість процесу механічного оброблення.

Актуальність теми. Автоматизація процесів транспортування вагомо впливає на продуктивність багатьох технологічних процесів у різних промислових галузях. Найбільш розповсюдженим транспортним засобом реалізації вантажопотоків в умовах різних типів виробництва є конвеєри безперервної дії, переважно роликові, стрічкові, пластинчасті.

Роликові вузли є основним робочим елементом конвеєрного транспорту, що забезпечує надійність та довготривалість відпрацювання конвеєра, підвищуючи ефективність роботи усієї транспортувальної системи. Зношення та пошкодження роликів вузлів може призвести до зниження продуктивності конвеєра, збільшення часу простоїв і витрат на обслуговування та ремонт. Удосконалення технологічних методів механічного оброблення відповідальних деталей роликів вузлів є одним із чинників підвищення надійності роботи механізму конвеєра.

Використання технологічної собівартості як критерія оцінки ефективності процесу механічного оброблення осевих валів підшипникових блоків дозволяє обрати найбільш ефективний варіант, який при мінімальних витратах забезпечує підвищення надійності роботи роликів вузлів конвеєрів. За рахунок цього можна впливати на зростання технологічного і економічного рівнів як машинобудівних підприємств – виробників елементів роликів конвеєрних транспортних систем, так і споживачів конвеєрної продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Огляд наукових публікацій і досліджень, що спрямовані на підвищення ефективності роботи роликів і стрічкових конвеєрних транспортних систем, показує, що вони переважно стосуються питань удосконалення конструкцій роликів систем і умов їх експлуатації [1–3].

Встановлено, що основною причиною виходу з ладу роликів вузлів є їх заклинювання, яке виникає в результаті проникнення пилу в робочу зону підшипників і може призвести до підрізання конвеєрної стрічки. Тому пропонується вдосконалення конструкції роликів вузлів у напрямі підвищення герметичності конструкцій. Для покращення експлуатації конвеєрної техніки в умовах високого рівня запиленості виробники конвеєрних роликів вузлів розміщують підшипники у корпусі з канальними лабіринтами, заповненими мастилом [4]. Завдяки такій технології значно збільшується строк служби підшипникового блока, роликового вузла й конвеєрного устаткування загалом. Також відомі

удосконалення конструкції роликів вузлів, здійснені з метою зниження металоємності опорних дисків і підшипникових втулок, а також поліпшення захисту підшипників від зовнішнього середовища [5]. При цьому автори також автоматизували процес виготовлення корпусу роликів вузла шляхом викочування із обичайки труби.

Одним із напрямів забезпечення тривалої служби роликів вузлів є встановлення підшипників у захищеному від пилу корпусі, виробленому із матеріалів, стійких до корозії. Розроблена авторами [6–7] технологія застосування високоміцних і зносостійких полімерів для виготовлення корпусів роликів вузлів має низку переваг: зменшення собівартості, безшумність у роботі, зменшення зношення транспортальної стрічки завдяки еластичності та здатності до демпфування, унеможливлення підрізання стрічки в разі аварійного руйнування роликів. У науковій роботі [8] проведено аналіз показників продуктивності стрічкового передавального вугільного конвеєра, розглянуто можливість збільшення ефективності роботи шляхом підвищення якості його своєчасного обслуговування.

Проте серед сучасних досліджень за означеною тематикою недостатньо уваги приділяється технологічним умовам виготовлення відповідальних деталей підшипникового блоку роликів вузла. Від точності та якості оброблення посадкових місць валів залежить співвісність насаджуваних на них підшипників. Це суттєво впливає на працездатність роликів вузла і всієї конвеєрної системи в цілому.

Таким чином, підвищення ресурсу роботи підшипникових блоків, витрати на експлуатацію і підтримання працездатності роликів вузлів залежать як від особливостей їх конструкції, так і від ефективності технологій механічного оброблення деталей, які забезпечують тривале високоякісне з'єднання елементів «осьовий вал – внутрішнє кільце підшипника».

Метою статті є дослідження і обґрунтування ефективності методів механічного оброблення посадочних поверхонь осьових валів роликів вузлів конвеєрів для виявлення найбільш раціональної технології, яка б дозволяла отримувати задані технічні характеристики деталей (високі показники якості поверхонь, точність розмірів) при мінімальних витратах.

Викладення основного матеріалу. Роликові конвеєри застосовуються здебільшого на механооброблювальних підприємствах для переміщення штучних вантажів або вантажів у тарі (заготовок, палет, готових деталей, технологічних пристосувань, інструментів тощо). Залежно від умов транспортування роликів конвеєри підрозділяють на привідні і непривідні (гравітаційні) конвеєри, які встановлюють під кутом $2\text{--}7^\circ$. Окрім функції транспортування конвеєри такого типу можуть виконувати функції накопичувачів. Їх головним робочим елементом є ролики, встановлені на підшипниках кочення та змонтовані на жорсткій рамі. За конструкцією ролики бувають циліндричні, двоконусні (для циліндричних вантажів) і конусні (для поворотних ділянок конвеєра) (рис. 1). Виготовляють ролики з товстостінних труб, а ролики для переміщення важких вантажів роблять кованими.

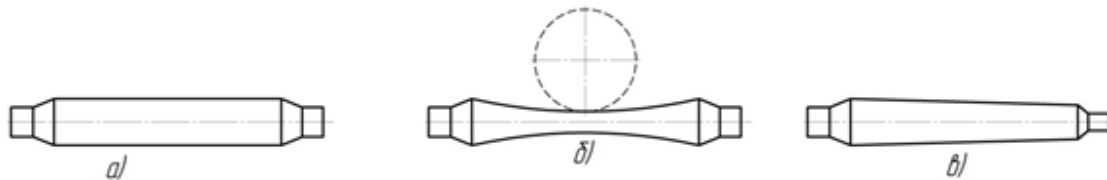


Рис. 1. Варіанти конструкцій роликів: а) циліндричні; б) двоконусні; в) конусні

Широкого використання для транспортування на великі відстані незорієнтованих і сипучих вантажів, здебільшого у гірничодобувній, металургійній промисловості, будівництві тощо, набули стрічкові конвеєри різних конструкцій завдяки таким перевагам: простота конструкції, легкість обслуговування, висока продуктивність, відносно велика довжина транспортування від одного привода, можливість автоматизації. Значення швидкості стрічкових конвеєрів сягає 8 м/с, продуктивності – 40000 т/год; ширина стрічки варіюється від 300 до 3000 мм.

Відповідальним вузлом стрічкового конвеєра є роликові опори, призначені для підтримки і захисту від провисання робочої та ненавантаженої гілок стрічки. Роликові опори опираються на підтримуючу конструкцію – став. Роликові опори є основним елементом стрічкового конвеєра. Від їх роботи залежить тривалість використання стрічки і споживання енергії приводом. Вони повинні бути довговічними, дешевими, мати малий опір обертанню роликів, зручними в експлуатації й монтажі. Роликовий вузол входить до структури роликів вузла. Він забезпечує контакт і плавне переміщення вантажа або вантажної стрічки вздовж конвеєра.

Конструкція конвеєрного роликів вузла (рис. 2, а) складається (рис. 2, б) з корпусу (обичайки) 1, і підшипникового блока. Своєю чергою до структури підшипникового блока входять: вкладник (обойма) 2, осьовий вал 3, підшипники кочення 4, ущільнювальні елементи 5 зі стопорними кільцями 6 та кришками 7.

Корпус захищає внутрішні деталі роликового вузла від зовнішніх впливів. Залежно від експлуатаційних вимог корпуси роликових вузлів виготовляють зі сталевих труб або виливанням із чавуну. Вони можуть бути покритими пластиком або гумою з метою забезпечення необхідного зчеплення зі стрічкою або вантажем та зниження рівня шуму при роботі конвеєра. Осьовий вал, на який насаджені підшипники, що забезпечують обертання ролика, і обойма зазвичай виготовляються із високоміцної сталі.

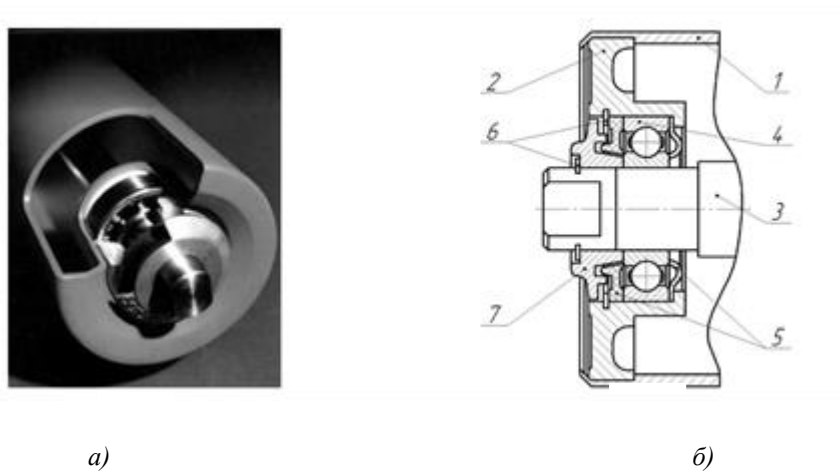


Рис. 2. Конструкція роликового вузла: а) загальний вигляд; б) підшипниковий вузол [1, с. 17]

Конструкції роликових вузлів можуть відрізнятися окремими елементами підшипникових блоків та їх ущільненнями (рис. 3). Роликові вузли є найбільш масовим елементом конвеєрів, їх вартість сягає 30 % від загальної вартості стрічкового конвеєра і 70 % від вартості роликового конвеєра.

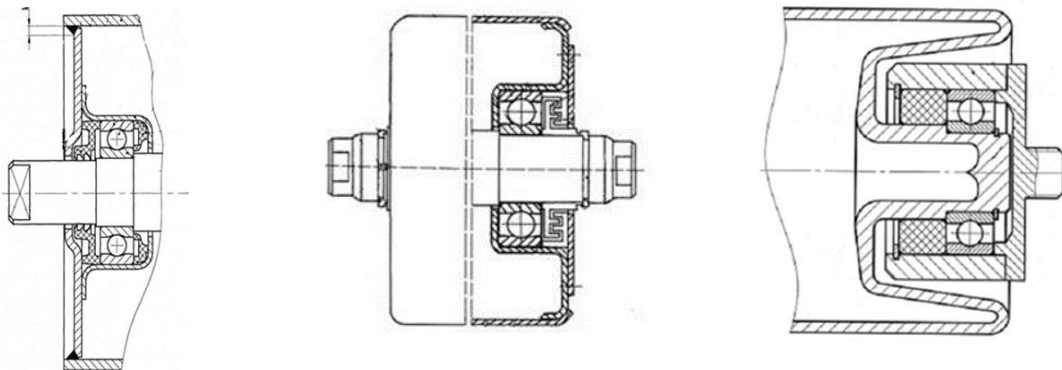


Рис. 3. Конструкції підшипникових блоків роликових вузлів конвеєрів

Встановлено, що завдання забезпечення безвідмовної довготривалої роботи конвеєрів із дотриманням необхідних показників продуктивності при зменшенні експлуатаційних витрат на систему може бути реалізоване шляхом підвищення надійності роботи роликових опор у таких напрямках:

- удосконалення конструкції роликових вузлів і використання високоміцних і зносостійких матеріалів для виготовлення їх елементів;
- підвищення надійності роботи вузлів механізму конвеєра за рахунок удосконалення технологічних методів механічного оброблення відповідальних деталей підшипникових вузлів роликових опор на стадії їх виготовлення;
- дотримання умов експлуатації конвеєрів відповідно до технічних характеристик, забезпечення безвідмовності роботи за рахунок раціонального планування ремонтних робіт і обслуговування.

З урахуванням різноманіття конструкцій спільним для усіх підшипникових блоків є наявність з'єднання «вал – внутрішнє кільце підшипника». Однією з причин відмов підшипників кочення у роликових вузлах конвеєрів є недостатнє забезпечення якості з'єднання «осьовий вал – внутрішнє кільце підшипника». Основними дефектами, що спричиняють повне руйнування підшипника і, як наслідок, зупинку конвеєра, є тріщини на елементах підшипників кочення, що можуть бути спричинені посадкою з надмірним натягом, малим кутом конусності вала, нециліндричністю вала. Таким чином, якість і точність

механічної обробки посадочних шийок вала під внутрішнє кільце підшипника значно впливає на довговічність роботи підшипникового блока роликового вузла конвеєра.

Аналіз креслень показав, що надійність з'єднання вала з підшипником забезпечується посадкою з натягом, а вимоги до посадочної шийки вала під підшипник висуваються за 6 квалітетом точності із забезпеченням якості поверхні R_a 0,63–0,8 мкм. Причому значну складність у виробництві валів додають саме ці високоточні поверхні. Це пов'язано з необхідністю забезпечення заданих якості і точності обробки при мінімальній собівартості випуску продукції.

З метою отримання якісних поверхонь підбирають і аналізують різні варіанти виконання технологічних операцій. Існує значна кількість методів обробляння, що забезпечують потрібні якісні характеристики виробів. Розглянемо деякі з них: шліфування, обробляння поверхневим пластичним деформуванням (ППД) обкочуванням роликами, ППД алмазним вигладжуванням. При цьому врахуємо, що реалізації вказаних фінішних операцій передують виконання підготовчих чорнових і чистових операцій, здебільшого токарних [9].

Шліфування – вид абразивного обробляння, при якому швидкість різання (швидкість обертання круга V_k) сягає до 40 м/с. Швидкість руху подачі залежить від схеми різання і може здійснюватися як заготовкою, так і абразивним інструментом. При шліфуванні зняття необхідного шару матеріалу відбувається за допомогою абразивних інструментів – шліфувальних кругів, різальна частина яких складається із абразивних або алмазних зерен, сполучених зв'язкою. Залежно від умов і необхідних кінцевих результатів обробляння використовують зерна різної структури, зернистості, конфігурації, твердості і міцності, за умовами різної концентрації у робочому шарі круга. За рахунок таких технологічних характеристик абразивних інструментів при чистовому шліфуванні можна досягти 5-го квалітету точності оброблених поверхонь і шорсткості R_a 0,2 мкм. Швидкість різання при шліфуванні значно перевищує швидкість різання при токарній обробці, тому цей спосіб вважається більш продуктивним. Реалізується на шліфувальних верстатах з використанням різних схем обробляння [10].

ППД обкочуванням роликами часто застосовується саме при обробці зовнішніх циліндричних поверхонь, до яких висуваються не тільки вимоги щодо забезпечення високої якості поверхонь та точності розмірів, але й вимоги щодо зносостійкості при роботі деталей в умовах тертя. При використанні ППД обкочуванням роликами можливе збільшення точності розміру до 15 % та покращення чистоти обробленої поверхні у 2–3 рази із досягненням показників шорсткості від R_a 0,2 мкм до R_a 0,8 мкм.

Алмазне вигладжування – один із варіантів реалізації процесу ППД. При алмазному вигладжуванні за рахунок виняткових фізико-механічних та експлуатаційних властивостей алмаза як інструментального матеріалу створюється можливість отримати виключно високий клас чистоти поверхні (R_a 0,1 мкм). Основною перевагою ППД є підвищення зносостійкості, контактної та втомної міцності оброблених поверхонь за рахунок утворення наклепу і підвищення мікротвердості [9–11].

Таким чином, усі розглянуті вище варіанти обробляння задовольняють висунуті раніше вимоги щодо точності розмірів та шорсткості поверхонь. Ефективність кожного з перерахованих варіантів залежить від обґрунтованості та доцільності їх використання на конкретному виробництві, вибору верстатного обладнання та інструментів, обраних параметрів режиму різання (швидкості різання v , подачі s , глибини різання t) відповідно до схем обробляння та вимог до якості і точності оброблених поверхонь.

Для різних технологічних умов обробляння вартість інструменту та витрати на його відновлення можуть значно збільшити собівартість продукції. Тому як базовий критерій при виборі параметрів механічного обробляння, що мають забезпечити необхідний рівень точності і якості при заданій продуктивності, використано технологічну собівартість процесу C_t . При порівнянні варіантів фінішного обробляння було розглянуто: 1) кругле шліфування, 2) ППД обкочуванням роликами, 3) ППД алмазним вигладжуванням. Обрання найбільш раціонального варіанта здійснено за мінімальними витратами на механічне обробляння деталей – осьових валів роликових вузлів з урахуванням впливу чинника серійності виробництва і забезпечення однакового показника точності (6-й квалітет) і якості обробленої поверхні посадочних шийок вала (R_a 0,8 мкм).

Кожен технологічний варіант розроблявся для умов багатосерійного або масового типів виробництва, що є найбільш вживаними при виробництві роликових вузлів конвеєрів. Фінішним операціям обробляння деталей за обраним варіантом передують низка проміжних операцій технологічного процесу, під час яких забезпечуються необхідні показники якості і точності поверхонь, що формуються (табл. 1). І це треба враховувати під час визначення технологічної собівартості обробки за кожним з варіантів.

Технологічна собівартість є тим показником, що свідчить, наскільки конкурентоспроможна продукція того чи іншого виробництва. За умови правильно обраного методу обробляння деталі, ефективності верстатного обладнання, виду, конструкції та матеріалу інструмента, способів його відновлення можна значно зменшити технологічну собівартість процесу обробляння, оскільки, наприклад, неправильно підібрані тип та матеріал інструменту негативно вплинуть на рівень якості продукції. Підвищення продуктивності процесів різання можна реалізувати за рахунок варіювання параметрами режимів обробляння, зважаючи при цьому на ті технологічні обмеження, що пов'язані з можливістю виникнення

негативних наслідків. До них можна зарахувати підвищення температури в зоні різання, що може негативно вплинути на фізико-механічні характеристики поверхневого шару деталей і їх експлуатаційні характеристики, призвести до підвищеного зносу інструменту, що буде супроводжуватися погіршенням якості і точності оброблення [11–14].

Таблиця 1

Якість оброблення поверхонь шийок осевого вала згідно зі структурою технологічного процесу відповідних варіантів фінішних операцій

Варіант фінішної обробки	Якість оброблення поверхонь R_a , мкм, на відповідних операціях ТП, розроблених згідно з варіантом фінішної обробки					
	Чорнове точіння	Чистове точіння	Тонке точіння	Шліфування	Обкочування	Алмазне вигладжування
Варіант 1. Шліфування	6,3	3,2	1,6	0,8		
Варіант 2. Обкочування	6,3	3,2	1,6		0,8	
Варіант 3. Алмазне вигладжування	6,3	3,2	1,6			0,8

З іншого боку, зменшення технологічної собівартості оброблення відповідальних деталей роликів вузлів стрічкових і роликів конвеєрів при забезпеченні їх високої якості позитивно відобразиться на витратах підприємств – замовників цієї продукції, для яких конвеєрний транспорт є основним у технологічних ланках. Так, наприклад, в умовах роботи збагачувальної фабрики «Свято-Варваринська», м. Покровськ застосовано спосіб транспортування рядового вугілля канатно-стрічковим конвеєром, довжина якого становить 5,209 км. Цей спосіб є найменш енерговитратним порівняно з використанням традиційних вантажно-розвантажувальних пристроїв: на 24 % дешевше транспортування залізничним транспортом та на 19 % дешевше транспортування автомобільним транспортом. Підвищення надійності роботи конвеєрних роликів у системах такого типу шляхом дослідження ефективних технологій забезпечення надійного з'єднання елементів «вал – підшипник» сприятиме підвищенню безперебійності процесів транспортування вантажів та збільшенню показників продуктивності підприємства.

При розрахунку технологічної собівартості було використано формулу (1) [15]:

$$C_T = T_T(C_{з.п.} + C_{а.об} + C_{ел}) + C_{ін} + C_{п} + C_{змін.ін} + C_{інш}, \text{ грн/шт.}, \quad (1)$$

де T_T – штучний час обробки заготовки, хв, розрахований за формулою (2);

$C_{з.п.}$ – витрати на заробітну плату, грн/хв;

$C_{а.об}$ – витрати на амортизацію обладнання, грн/хв, розраховані за формулою (3);

$C_{ел}$ – витрати на електроенергію, грн/хв, розраховані за формулою (4);

$C_{ін}$ – витрати, що враховують експлуатацію різального інструменту, грн/шт., розраховані за формулою (5);

$C_{п}$ – витрати на правку та заточування інструментів, грн/шт., розраховані за формулою (6);

$C_{змін.ін.}$ – витрати на зміну інструменту, дорівнює $0,09 \cdot C_{ін}$, грн/шт.;

$C_{інш}$ – інші витрати, грн/шт.

Зауважимо, що із переліку складових технологічної собівартості виключено параметр вартості матеріалу, оскільки він вважатиметься постійним для варіантів, що порівнюються.

Штучний час обробки заготовки:

$$T_T = T_L + T_0 + T_d \left(\frac{T_{ас}}{T} \right), \text{ хв}, \quad (2)$$

де T_L , T_0 , T_d – відповідно час простою обладнання на одну деталь, машинний час обробки деталі, час, що витрачається на зміну інструменту, хв;

$T_{ас}$ – час, що припадає на обробку деталі конкретними інструментами, хв;

T – нормативна стійкість конкретних інструментів, хв.

Витрати на амортизацію обладнання:

$$C_{а.об} = \frac{C_{об} \cdot N_a}{\Phi_b \cdot 100 \%}, \text{ грн/хв}, \quad (3)$$

де $C_{об}$ – вартість обладнання, грн;

N_a – норма амортизації обладнання, %; $N_a = 15$ %;

Φ_b – фонд робочого часу за рік, хв.

Витрати на електроенергію:

$$C_{ел} = \frac{M_{об} \cdot C_{кВт}}{60}, \text{ грн/хв}, \quad (4)$$

де $M_{об}$ – спожита обладнанням електроенергія, кВт·год;

$C_{кВт}$ – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн.

Витрати, що враховують експлуатацію різального інструменту:

$$C_{ін} = \frac{C_{ін.нов} \cdot T_0}{T \cdot k_n}, \text{ грн/шт.}, \quad (5)$$

де $C_{\text{ін.нов}}$ – вартість нового інструменту, грн;

T_0 – машинний час, хв;

k_n – кількість правок інструмента;

T – нормативна стійкість інструмента, хв.

Витрати на правку та заточування інструментів:

$$C_{\Pi} = \frac{T_{\Pi} \cdot C_{\text{заг.обл.}}}{T}, \text{ грн/шт.}, \quad (6)$$

де T_{Π} – час на правку, хв;

$C_{\text{заг.обл.}}$ – загальні витрати на обладнання, що включають: витрати на заробітну плату $C_{\text{з.п.}}$ з урахуванням часу на оброблення продукції, вартість обладнання і амортизаційні відрахування на обслуговування $C_{\text{а.об.}}$, вартість електроенергії C_e (7):

$$C_{\text{заг.обл.}} = T_T (C_{\text{з.п.}} + C_{\text{а.об.}} + C_e), \text{ грн/шт.} \quad (7)$$

Останнім чинником, що впливає на собівартість деталі, є інші витрати $C_{\text{інш.}}$, що становлять 25 % від загальних витрат на обладнання. Результати обчислень представлені на діаграмах (рис. 4).

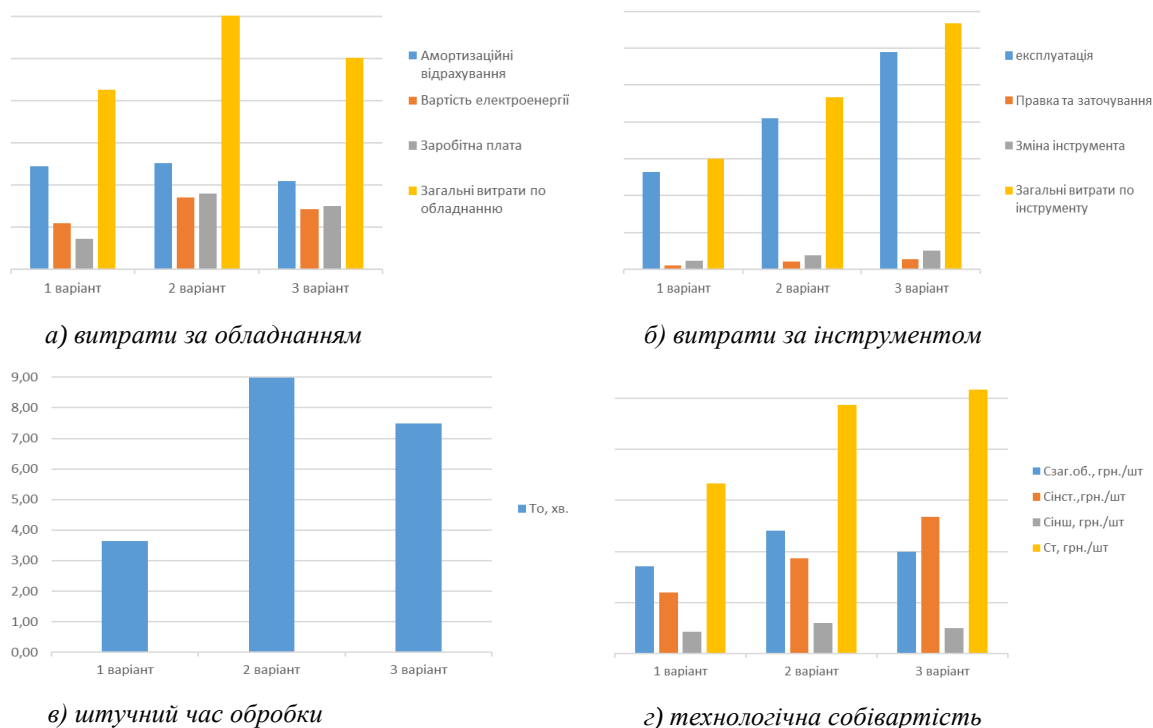


Рис. 4. Дані розрахунку складових технологічної собівартості обробки посадочних поверхонь осьового вала підшипникового вузла конвеєрних роликів для розглянутих варіантів фінішного оброблення

Отримані на діаграмах дані свідчать, що мінімальна технологічна собівартість досягається при першому варіанті оброблення, а саме при шліфуванні, якому передують виконання комплексу токарних операцій. Так порівняно із варіантом застосування алмазного вигладжування собівартість при шліфуванні менша на 15 %, а порівняно із варіантом обточування роликами – менша на 30 %.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, встановлено, що на технологічну собівартість механічного оброблення конкретних деталей, в нашому випадку – осьових валів роликів вузлів конвеєрів, впливає багато чинників, рівень яких можливо змінювати в необхідному напрямку для забезпечення потрібних економічних умов виробництва. Це можливо реалізувати як шляхом розв’язування додаткових завдань, так і впровадженням нових організаційних моделей виробництва, які насамперед, пов’язані з обґрунтованим вибором варіанта технологічного процесу оброблення.

Отримані результати проведеного аналізу чинників формування показника технологічної собівартості виготовлення валів роликів вузлів конвеєрів із одночасним забезпеченням високих вимог до точності розмірів якості відповідальних поверхонь деталей дають можливість обрання найбільш раціонального варіанта технологічного процесу. Адже, отримуючи якісні і точні деталі, при цьому маючи невелику собівартість їх вироблення, можна впливати на зростання технологічного і економічного рівнів як машинобудівних підприємств – виробників елементів роликів конвеєрних транспортних систем, так і споживачів цієї продукції.

Список використаної літератури:

1. Поліщук Л.К. Динаміка вмонтованого гідроприводу конвеєрів мобільних машин : монографія / Л.К. Поліщук. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 240 с.
2. Satria I. A Comparison of Effective Tension Calculation for Design Belt Conveyor between CEMA and DIN Standard / I.Satria, M.Rusli // MATEC Web of Conferences ICMAA 2018. – 2018. – № 166. DOI: 10.1051/mateconf/201816601007.
3. Сердюк О.Ю. Система контролю технічного стану обладнання конвеєра з візуалізацією основних параметрів / О.Ю. Сердюк, І.А. Маринич // Технічна інженерія. – 2021. – Вип. 2 (88). – С. 42–49. DOI: 10.26642/ten-2021-2(88)-42-49.
4. Губарев О.В. Деклараційний патент України № 85370, МПК B65G 39/09 (2006.01). Ролик конвеєра / Губарев О.В., Стичинська А.О. ; заявл. 11.09.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21/2013.
5. Губарев О.В. Деклараційний патент України № 85369, МПК B65G 39/09 (2006.01). Опорний ролик конвеєра / Губарев О.В., Стичинська А.О. ; заявл. 11.09.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21/2013.
6. Попович П.І. Деклараційний патент України № 92608, МПК (2014.01) B65G 39/02 (2006.01) B29C 43/00 B29C 70/00. Спосіб виготовлення корпусу конвеєрного ролика / Попович П.І. ; заявл. 24.03.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16/2014.
7. Попович П.І. Деклараційний патент України № 92607, МПК (2014.01) B65G 39/00. Спосіб складання конвеєрного ролика / Попович П.І. ; заявл. 24.03.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16/2014.
8. Sahrupri S. Usulan Penerapan Total Productive Maintenance pada Transfer Conveyor 17A / S.Sahrupri, J.Juriantoro // Jurnal Sistem dan Manajemen Industri. – 2018. – № 1 (2). – P. 51–57. DOI: 10.30656/jsmi.v2i1.568.
9. Калафатова Л.П. Обґрунтування способу фінішної обробки високоточних поверхонь валів / Л.П. Калафатова, В.С. Калмиков // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня – 02 листопада. – Краматорськ : Донбаська державна машинобудівна академія, 2018. – С. 64–67.
10. Patil P. FEM Simulation and Analysis of Temperature Field of Environmentally Friendly MQL Grinding / P.Patil, Ch.Patil // International Conference on Communication and Signal Processing 2016 (ICCASP), March 20–25. – Shanghai, China, 2016. – P. 182–186. DOI: 10.2991/iccasp-16.2017.30.
11. An investigation of ball burnishing process on CNC lathe using finite element analysis / M.R.S. John, A.W. Wilson, A.P. Bhardwaj and other // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2016. – № 62. – P. 88–101. DOI: 10.1016/j.simpat.2016.01.004.
12. Коваленко Я.П. Застосування методу скінчених елементів для пошуку шляхів оптимізації температурного поля при різанні інструментами із ПКНБ групи BL / Я.П. Коваленко, І.А. Бойко, П.П. Мельничук // Технічна інженерія. – 2022. – Вип. 2 (90). – С. 22–29. DOI: 10.26642/ten-2022-2(90)-22-29.
13. Pawlus P. Reverse Problem in Surface Texture Analysis – One-Process Profile Modeling on the Basis of Measured Two-Process Profile after Machining or Wear / P.Pawlus, R.Reizer, M.Wieczorowski // Materials. – 2019. – № 12 (24). DOI: 10.3390/ma12244169.
14. Радкевич С.І. Оброблюваність чавунів при фінішному торцевому фрезеруванні плоских поверхонь надтвердими матеріалами / С.І. Радкевич, Л.С. Глембоцька, П.П. Мельничук // Технічна інженерія. – 2021. – Вип. 1 (87). – С. 38–48. DOI: 10.26642/ten-2021-1(87)-38-48.
15. Технологія машинобудування : підручник / П.П. Мельничук, А.І. Боровик, П.А. Лінчевський, Ю.В. Петраков. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 882 с.

References:

1. Polishchuk, L.K. (2018), *Dynamika vmontovanoho hidropriyvodu konveieriv mobilnykh mashyn*, monografiya, VNTU, Vinnytsia, 334 p.
2. Satria, I. and Rusli, M. (2018), «A Comparison of Effective Tension Calculation for Design Belt Conveyor between CEMA and DIN Standard», *MATEC Web of Conferences ICMAA 2018*, No. 166, doi: 10.1051/mateconf/201816601007.
3. Serdiuk, O.Iu. and Marynych, I.A. (2021), «Systema kontroliu tekhnichnoho stanu obladnannia konveiera z vizualizatsiieu osnovnykh parametrov», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (88), pp. 42–49, doi: 10.26642/ten-2021-2(88)-42-49.
4. Hubariyev, O.V. and Stychynska, A.O. (2013), *Deklaratsiinyi patent Ukrainy No. 85370, MPK B65G 39/09 (2006.01) Rolyk konveiera*, zaivl. 11.09.2013, opubl. 11.11.2013, Biul. No. 21/2013.
5. Hubariyev, O.V. and Stychynska, A.O. (2013), *Deklaratsiinyi patent Ukrainy No. 85369, MPK B65G 39/09 (2006.01) Oporny rolyk konveiera*, zaivl. 11.09.2013, opubl. 11.11.2013, Biul. No. 21/2013.
6. Popovych, P.I. (2014), *Deklaratsiinyi patent Ukrainy No. 92608, MPK (2014.01), B65G 39/02 (2006.01) B29C 43/00 B29C 70/00 Sposib vyhotovlennia korpusu konveiernoho rolyka*, zaivl. 24.03.2014, opubl. 26.08.2014, Biul. No. 16/2014.
7. Popovych, P.I. (2014), *Deklaratsiinyi patent Ukrainy No. 92607, MPK (2014.01) B65G 39/00 Sposib skladannia konveiernoho rolyka*, zaivl. 24.03.2014, opubl. 26.08.2014, Biul. No. 16/2014.
8. Sahrupri, S. and Juriantoro, J. (2018), «Usulan Penerapan Total Productive Maintenance pada Transfer Conveyor 17A», *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, No. 1 (2), pp. 51–57, doi: 10.30656/jsmi.v2i1.568.
9. Kalafatova, L.P. and Kalmykov, V.S. (2018), «Obgruntuvannia sposobu finishnoi obrobky vysokotochnykh poverkhon valiv», *Mashynobuduvannia ochyma molodykh: prohresyvi idey – nauka – vyrobnytstvo*, materialy XVIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 31 zhovtnia – 02 lystopada, Donbaska derzhavna mashynobudivna akademiia, Kramatorsk, pp. 64–67.

10. Patil, P. and Patil, Ch. (2016), «FEM Simulation and Analysis of Temperature Field of Environmentally Friendly MQL Grinding», *International Conference on Communication and Signal Processing 2016 (ICCASP)*, March 20–25, Shanghai, China, pp. 182–186, doi: 10.2991/iccasp-16.2017.30.
11. John, M.R.S., Wilson, A.W., Bhardwaj, A.P. et al. (2016), «An investigation of ball burnishing process on CNC lathe using finite element analysis», *Simulation Modelling Practice and Theory*, No. 62, pp. 88–101, doi: 10.1016/j.simpat.2016.01.004.
12. Kovalenko, Ya.P., Boiko, I.A. and Melnychuk, P.P. (2022), «Zastosuvannia metodu skinchenykh elementiv dlia poshuku shliakhiv optymizatsii temperaturnoho polia pry rizanni instrumentamy iz PKNB hrupy VL», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (90), pp. 22–29, doi: 10.26642/ten-2022-2(90)-22-29.
13. Pawlus, P., Reizer, R. and Wiczorowski, M. (2019), «Reverse Problem in Surface Texture Analysis – One-Process Profile Modeling on the Basis of Measured Two-Process Profile after Machining or Wear», *Materials*, No. 12 (24), doi: 10.3390/ma12244169.
14. Radkevych, S.I., Hlembotska, L.Ie. and Melnychuk, P.P. (2021), «Obrobliuvannist chavuniv pry finishnomu tortsevomu frezeruvanni ploskykh poverkhon nadtverdymy materialamy», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (87), pp. 38–48, doi: 10.26642/ten-2021-1(87)-38-48.
15. Melnychuk, P.P., Borovyk, A.I., Linchevskyi, P.A. and Petrakov, Yu.V. (2005), *Tekhnolohiia mashynobuduvannia*, pidruchnyk, ZhDTU, Zhytomyr, 882 p.

Калафатова Людмила Павлівна – доктор технічних наук, професор Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет».

<https://orcid.org/0009-0003-0181-3193>.

Наукові інтереси:

- підвищення ефективності механічної, насамперед абразивної, обробки виробів із важкооброблюваних крихких неметалевих матеріалів типу технічного скла, кераміки;
- розробка та впровадження прогресивних технологічних процесів механічної обробки.

E-mail: liudmyla.kalafatova@donntu.edu.ua.

Бабенко Марина Олегівна – кандидат педагогічних наук, старший викладач Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет».

<https://orcid.org/0009-0005-3125-1990>.

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки;
- автоматизація технологічних процесів машинобудування.

E-mail: maryna.babenko@donntu.edu.ua.

Вірич Світлана Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет».

<https://orcid.org/0000-0003-4734-345X>.

Наукові інтереси:

- математичне та комп'ютерне моделювання технічних процесів та систем;
- автоматизація технологічних процесів машинобудування.

E-mail: svitlana.virych@donntu.edu.ua.

Kalafatova L.P., Babenko M.O., Virich S.O.

Substantiation of the technological process for mechanical processing of roller unit parts of conveyors as a factor influencing the efficiency of their operation

Technological cost is a key indicator of product competitiveness; therefore, the ability to manufacture high-quality and precise components at a low production cost contributes to the overall advancement of a mechanical engineering enterprise. The main approaches to regulating technological cost include reducing the following: machining time for a component, downtime of selected equipment, tool costs and its reconditioning expenses, as well as the time required for tool changeover and reconfiguration.

This study substantiates that reducing the technological cost of processing critical components in roller assemblies of belt and roller conveyors while ensuring high product quality will have a positive impact on the expenses of enterprises that procure such equipment. The application of effective technologies for ensuring a reliable «shaft-bearing» connection will contribute to enhancing the uninterrupted transportation of goods and increasing enterprise productivity.

An analysis has been conducted on the factors influencing the technological cost of mechanical processing of critical shaft surfaces, considering the need to meet high requirements for surface quality and dimensional accuracy. The possibility of reducing the technological cost of manufacturing axial shafts for conveyor roller assemblies has been studied by implementing new organizational production models based on a justified selection of the optimal technological processing approach.

Keywords: conveyor transport systems; roller supports; shaft machining technologies; bearing units of roller assemblies; technological cost of machining processes.

Стаття надійшла до редакції 27.03.2025.