

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.02

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра _____

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Оптимізаційне дослідження режимів обробки
на токарному верстаті горизонтальної компоновки_

Виконав: студент II курсу, групи МВд-2

напряму підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Сагайдак Богдан Степанович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. Луців І.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль - 2019

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра, циклова комісія Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

голова циклової комісії _____

к.т.н. Кобельник В.Р.

“ 20 ” листопада 2019 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Сагайдаку Богдану Степановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оптимізаційне дослідження режимів
обробки на токарному верстаті горизонтальної компоновки

керівник проекту (роботи) Луців Ігор Володимирович, д.т.н., проф.,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11” листопада 2019 року № 4/7-1009

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Робоче креслення деталі

Вал тихохідний; базовий технологічний процес виготовлення деталі;

паспорт токарно-гвинторізного верстата

робоче креслення спеціального пристосування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Актуальність, мета і завдання дипломної роботи. Оптимізація

схем формоутворення на проєктованому верстаті. Вибір компоувальної схеми

проєктованого верстату. Інформаційно-патентне дослідження. Комплекс технологічних

розрахунків. Проєктування конструкції верстатного обладнання. Елементи САПР. Науково-

дослідні розробки. Економічні розрахунки. Охорона праці та БЖД. Екологічна безпека.

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

Креслення деталі – 1 арк. ф. А2; Кінематична схема верстата – 1 арк. ф. А1;

Аналіз схем формоутворення – 0,5 арк. ф. А1; Аналіз схем компоновок – 0,5 арк. ф. А1;

Шпиндельний вузол – 1 арк. ф. А1; Тема, мета і завдання дослідження – 1 арк. ф. А1;

Результати проведених досліджень – 2 арк. ф. А1; Карти налашки – 0,5 арк. ф. А1

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20 листопада 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	<i>Аналіз завдання на дипломну роботу і обґрунтування напрямків роботи</i>	26.11.2019 р.	
	<i>Аналіз конструктивно-технологічних особливостей деталі</i>	26.11. 2019 р..	
	<i>Вибір комплексу рухів для забезпечення обробки деталі</i>	29.11.2019 р.	
	<i>Формування структурно-кінематичної та кінематичної схем верстата</i>	02.12.2019 р.	
	<i>Оптимізація компоновальної схеми верстата</i>	05.12.2019 р.	
	<i>Комплекс технологічних розрахунків для формування вихідних даних на розробку верстатного обладнання</i>	06.12.2019 р.	
	<i>Кінематичний розрахунок верстатного обладнання</i>	10.12.2019 р.	
	<i>Конструктивний розрахунок окремих вузлів верстата</i>	11.12.2019р.	
	<i>Реалізація САПР окремого вузла верстата</i>	13.12.2019 р.	
	<i>Оформити елементи автоматизованого розрахунку (САПР)</i>	13.12.2019 р.	
	<i>Організаційно-економічні розрахунки до дипломного проекту</i>	16.12.2019р.	
	<i>Розробка питань ОП та БЖД</i>	18.12.2019 р.	
	<i>Розробка питань екологічної безпеки</i>	18.12.2019р.	
	<i>Оформлення науково-дослідної частини роботи.</i>	19.12.2019 р.	
	<i>Оформлення графічної частини дипломного проекту</i>	19.12.2018р.	
	<i>Оформлення пояснювальної записки дипломного проекту</i>	19.12.2018 р.	

Студент

_____ (підпис)

Сагайдак Б.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Луців І.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	8
1. Аналітичний розділ.....	10
1.1. Аналіз завдання на дипломну роботу.....	10
1.2. Інформаційне дослідження.....	12
1.2.1. Поняття про задачі оптимізації.....	12
1.2.2. Характер вибору критеріїв оптимізації при механічній обробці матеріалів	13
1.2.3. Існуючі дослідження вибору оптимальних режимів різання при точінні	14
1.3. Висновки та методика вирішення поставленої проблеми.....	17
2. Технологічний розділ.....	18
2.1. Аналіз деталі- представника. Її конструкторсько-технологічні особливості	18
2.2.Аналіз типу виробництва. Визначення його технологічних характеристик	22
2.3. Вибір заготовки. Техніко- економічне обґрунтування.....	24
2.4. Вибір та обґрунтування раціонального технологічного маршруту	26
2.5. Вибір металообробного обладнання.....	28
2.6. Розрахунок припусків.....	29
2.7.Розрахунок елементів режимів різання.....	31

2.8. Нормування часу.....	32
3. Схеми формоутворення і компоновальні схеми токарного верстату горизонтальної компоновки. Їх оптимізація.....	34
3.1 Види формоутворення при обробці лезовими інструментами.....	34
3.2. Забезпечення виробничого циклу на токарному верстаті горизонтальної компоновки на основі вибору комплексу рухів.....	36
3.3. Обґрунтування структурно-кінематичної схеми токарного верстата горизонтальної компоновки.....	38
3.4. Оптимізація компоновальної схеми верстату. Загальні застереження.....	39
3.5. Формалізовані умови структурного відбору для токарного верстату горизонтальної компоновки.....	42
4. Оптимізація конструкційного рішення виконавчого вузла верстатного обладнання.....	49
4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчого вузла верстату.....	49
4.2. Оптимізаційний кінематичний розрахунок приводу. Обґрунтування кінематичної схеми.....	52
4.3. Розрахунок потужності і вибір типу двигунів.....	56
5. Науково-дослідницький розділ. Оптимізаційне дослідження режимів токарного оброблення	58
5.1. Поняття про систему різання та її оптимізацію.....	58
5.2. Математичне моделювання задач параметричної оптимізації.....	61
5.3. Економічні і технічні передумови оптимізаційного дослідження процесів різання.....	63

5.4. Мета, предмет, об'єкт і задачі наукового дослідження.....	65
5.5. Встановлення закономірностей між техніко-економічними характеристиками та елементами режиму процесу різання.....	66
5.6. Встановлення послідовності параметрів елементів режимі різання як передумова оптимізації процесу токарної обробки.....	70
5.7. Побудова математичної моделі оптимізації елементів режиму різання при чорновій токарній обробці.....	73
5.8. Аналітико-геометричний розв'язок оптимізаційної задачі	79
5.9. Перевірка системи на вібростійкість проти автоколивань.....	85
5.10. Висновки щодо оптимізації режимів обробки.....	86
6. Спеціальний розділ (САПР). Автоматизовані розрахунки шпиндельного вузла токарного верстату горизонтальної компоновки.....	88
6.1. Розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість.....	88
7. Обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень.....	92
7.1. Організація конструкторської підготовки.....	92
7.2. Економічна частина. Розрахунок основних техніко-економічних показників ділянки.....	99
7.3. Визначення критеріїв ефективності інвестиційного проекту.....	112
8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	117
8.1. Розрахунок захисту електродвигунів проектного верстата від перенавантажень.....	117
8.2. Розрахунок місцевої витяжної вентиляції для проектного верстата.....	122

8.3. Планування робіт щодо охорони праці.....	126
9. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	131
10. Екологія.....	138
10.1. Забруднення, які виникають у цехах механічної обробки, методи їх знешкодження	138
10.2. Методи переробки твердих металевих відходів	142
Загальні висновки.....	144
Перелік посилань.....	146
Додатки.....	149

Вступ

Дуже важливою задачею, яку розв'язують при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні, є досягнення якомога меншої собівартості механічної обробки за умови забезпечення якісних показників оброблених деталей – як їх форми поверхні, так і поверхневого шару. При цьому зниження собівартості можна досягнути, якщо вибрати раціональні режими різання. В цьому плані оптимізаційні дослідження режимів різання, які забезпечують вимоги до якості обробленої поверхні при виконанні заданих умов обробки є актуальним завданням.

Основним завданням дипломної роботи є вирішення проблеми оптимізації: технологічного забезпечення токарної обробки деталі обертання типу «вал» та конструкторського аспекту -верстатно-інструментального забезпечення цього процесу.

Дослідження необхідно проводити згідно чіткого плану. Спочатку слід поставити мету проведення досліджень і переглянути результати попередніх досліджень, проаналізувавши і врахувавши їх недоліки та недопрацювання, а також поставити чіткі задачі щодо дослідження.

Вагомим є те, що необхідно провести оптимізацію схем формоутворення для токарної обробки деталі; запропонувати оптимізацію компоувальної схеми для токарного верстату горизонтальної компоновки; провести технологічні розрахунки і оптимізувати технологічний маршрут деталі-представника; запропонувати оптимальний варіант кінематичної структури приводу головного руху токарного верстату горизонтальної компоновки.

Для проведення заданого в дипломній роботі оптимізаційного дослідження потрібно дослідити фактори, що обмежують досягнення найкращих характеристик токарної обробки, показати закономірності їх

зміни в процесі різання, а також. Провести вирішення оптимізаційної задачі визначення раціональних режимів різання при чорновому точінні.

Робота повинна включати оптимізаційний комп'ютерний розрахунок жорсткісних характеристик шпиндельного вузла як складової частини токарного верстату горизонтальної компоновки.

Запропоноване техніко-економічне обґрунтування технологічних і конструкторських рішень, супроводжується необхідними заходами з охорони праці і безпеки життєдіяльності та оглядом екологічних рішень, які застосовуються в машинобудуванні.

1. Аналітичний розділ

1.1. Аналіз завдання на дипломну роботу

Основним завданням дипломної роботи є вирішення проблеми оптимізації: технологічного забезпечення токарної обробки деталі обертання типу «вал» та конструкторського аспекту -верстатно-інструментального забезпечення цього процесу. Тому у дипломній роботі потрібно виконати такі основні завдання:

- провести інформаційно-аналітичне дослідження існуючих спроб оптимізації технологічних і конструкторських параметрів при токарній обробці;
- провести оптимізацію схем формоутворення для токарної обробки деталі типу «вал»;
- запропонувати оптимізацію компоувальної схеми для токарного верстату горизонтальної компоновки;
- провести технологічні розрахунки і оптимізувати технологічний маршрут деталі «Вал тихохідний» як деталі-представника;
- запропонувати оптимальний варіант кінематичної структури приводу головного руху токарного верстату горизонтальної компоновки;
- дослідити фактори, що обмежують досягнення найкращих характеристик токарної обробки, показати закономірності їх зміни в процесі різання;
- запропонувати вирішення оптимізаційної задачі визначення раціональних режимів різання при чорновому точінні з врахуванням зміни динамічного характеру процесу різання;

- провести оптимізаційний комп'ютерний розрахунок жорсткісних характеристик шпиндельного вузла як складової частини токарного верстату горизонтальної компоновки;

- запропонувати техніко-економічне обґрунтування технологічних і конструкторських рішень;

- вказати необхідні заходи охорони праці і безпеки життєдіяльності в технологічній практиці механічної обробки деталей та зробити огляд екологічних рішень, які застосовуються в машинобудуванні

1.2. Інформаційне дослідження

1.2.1. Поняття про задачі оптимізації

При виборі найкращого рішення в технічних задачах застосовують розгляд оптимізаційних задач [1]. При цьому використовують різні методи оптимізації, тобто оптимізаційні алгоритми, які засновані на застосуванні методів математичного програмування. На будь-яку технічну систему [2]також накладають обмеження, які включають певні залежності між змінними керування, а також граничні умови, в яких може функціонувати технічна система чи відповідний об'єкт. Вся сукупність значень розглядуваних змінних, які задовольняють вимогам обмежень і граничних умов у сукупності складають інтегральну область можливих допустимих рішень. У цій області якраз і знаходиться точка, яка виражає сукупність параметрів, що є оптимальними для даної постановки задачі.

Зазвичай оптимальне рішення знайти важко через велику сукупність факторів, які діють на конкретну технічну систему чи об'єкт. Тому краще із можливих умовно ідеальних рішень, яке можна назвати умовно оптимальним знаходять, використовуючи поняття функції мети, або ж цільової функції. Метою оптимізації є якась найважливіша якісна характеристика або ж декілька таких характеристик. Формалізовано цільова функція може бути виражена через критерії оптимізації. Тобто критерій оптимізації виступає як вибір певного рішення із декількох чи багатьох з області допустимих рішень.

Оскільки кожний технічний об'єкт, а також процес характеризується структурою і параметрами [1], то розрізняють структурну і параметричну оптимізацію. Коли ми говоримо про оптимізацію режимів різання, то маємо на увазі параметричну оптимізацію. Також може розглядатися оптимізація інших технологічних параметрів, таких як допуски на між операційні розміри, припуски та інших.

В загальному функцію мети при параметричній оптимізації можна сформулювати так [3]: $E(x_1, x_2, \dots, x_n) \Rightarrow (\max, \min)$, де x_1, x_2, \dots, x_n – це керовані параметри, які підлягають оптимізації, а n – їх кількість. Якщо цільова функція має досягати найбільшого значення, то говоримо про задачу максимізації, а якщо – найменшого значення, то маємо на увазі задачу мінімізації цільової функції. Також враховуємо систему обмежень, яка формує область допустимих рішень.

Отже, постановку задачі параметричної оптимізації в загальному вигляді можна сформулювати як задачу знаходження параметрів, які задовольняють обмеженням і при цьому приводять до досягнення максимального чи мінімального значення цільової функції (в залежності від характеру постановки задачі).

1.2.2. Характер вибору критеріїв оптимізації при механічній обробці матеріалів

Дуже важливою задачею, яку розв'язують при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей у машинобудуванні, є досягнення якомога меншої собівартості механічної обробки [4] за умови забезпечення якісних показників оброблених деталей – як їх форми поверхня, так і поверхневого шару. При цьому зниження собівартості можна досягнути, якщо вибрати раціональні режими різання. В цьому плані оптимізаційні дослідження режимів різання, які забезпечують вимоги до якості обробленої поверхні при виконанні заданих умов обробки є актуальним завданням.

Повна вартість виготовлення деталі безпосередньо пов'язана із її собівартістю. Собівартість включає витрати на обладнання і ремонт, заробітну платню, використану електроенергію, а також матеріали і різальні інструменти. Отже, собівартість як узагальнений критерій оптимізації, що виражає сумарні витрати на виробництво деталі, є найбільш доцільним критерієм для оптимізаційного дослідження. А в якості параметрів, що

можна змінювати найбільш просто і ефективно, і при цьому впливати істотно на цей критерій є власне елементи режимів різання.

В той же час часто застосовують також інші критерії оптимізації. Серед них, максимальна продуктивність, мінімальна собівартість, мінімальні витрати на інструменти, які в комплексі дозволяють розглянути задачу багатокритеріальної оптимізації. Проте, більшість дослідників все таки зупиняються на розгляді критерію максимальної продуктивності обробки.

1.2.3. Існуючі дослідження вибору оптимальних режимів різання при точінні.

На даний час досить широко використовуються різні інтерпретації оптимізації режимів різання, а особливо при здійсненні токарних операцій. При цьому серед параметрів, якими варіюють найчастіше обирають 2 параметри: частоту обертання шпинделя і робочу подачу, які повинні забезпечувати відповідність до системи обмежень, і дозволяти досягнення екстремального значення функції мети у вигляді добутку вказаних параметрів. Тобто цільову функцію виражають так: $(n \cdot S \Rightarrow \max)$.

Серед обмежень, як правило, застосовують [4] найбільші і найменші значення подач і частот обертання шпинделя, обмеження визначені стійкістю різальної частини інструменту, шорсткістю поверхні, що обробляється (при чистовій обробці), а також обмеження, які залежать від ефекту складових зусиль різання, який вони чинять на різні елементи верстату і його оснащення.

Для отримання математичної моделі процесу обробки всі виведені нерівності, як правило, об'єднують у єдину систему. Таким чином, отримують область допустимих рішень, а також у сукупності із поведінкою

цільової функції – загальну математичну модель. Подібні рішення можна графічно представити так, як показано на рис. 1.1.

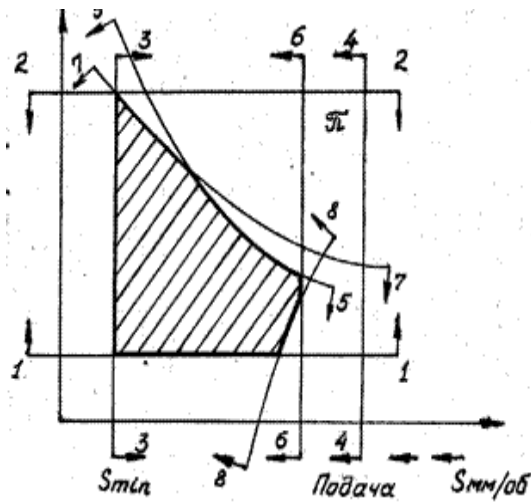


Рис. 1.1. Типова побудова області рішень, які допускаються обмеженнями

Поряд з цим часто використовують лінеаризовану модель, тобто модель у лінійній постановці, після логарифмування із застосуванням десяткових чи натуральних логарифмів [5] .

На рис. 1.2 показано побудову допустимої області у лінійній постановці (при позначенні лінійних параметрів як x_1 та x_2).

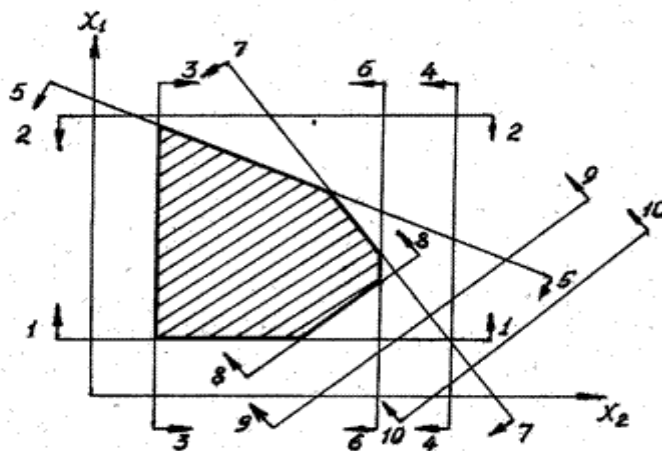


Рис. 1.2. Типова лінеаризація області рішень, які допускаються обмеженнями

Такий метод лінійного програмування дозволяє оптимізувати і швидкість різання і подачу для досягненні при обробці максимальної продуктивності. Це особливо зручно у випадку, коли цільова функція і функції обмежень представляються у нелінійній постановці. Також виявляється зручним використовувати графічний пошук оптимального рішення [6].

Проте при нелінійній постановці часто виявляється неможливим застосувати метод лінійного програмування. Тоді використовують метод геометричного програмування [7]. За допомогою методу геометричного програмування можна вирішувати задачу оптимізації в нелінійній постановці, так як і представляються функції, що виражають обмеження і собівартість обробки, зокрема при точінні. Але при цьому висувається обов'язкова вимога – щоб функція мети як і функції обмежень були представлені у вигляді [1] «позиномів, тобто позитивних поліномів», а значить виражені степеневими залежностями.

1.3. Висновки та методика вирішення поставленої проблеми

На основі аналізу завдання на дипломну роботу та інформаційного пошуку встановлено, що при проектуванні технологічних процесів механічної обробки першочергове значення надається забезпеченню високої економічності процесу обробки, тобто досягненню його найважливіших економічно вигідних показників. Такими найважливішими характеристиками при пошуку оптимального технологічного процесу є штучний технологічний час чи штучна продуктивність.

Методику вирішення поставленої проблеми можна запропонувати в наступній послідовності.

Раціональним є те, що оптимізаційну задачу можна поділити на маршрутну, операційну та внутрішньо операційну складові. Зокрема, стосовно до точіння (наприклад валів) наближено можна говорити про такі етапи раціонального пошуку оптимального складового елементу технологічного процесу обробки:

- а) розподіл припусків;
- б) оптимізація силового режиму чорнового точіння;
- в) досягнення високої якості поверхні при чистовому обробленні;
- г) забезпечення високого рівня працездатності технологічної системи верстат (шпиндель, затискний пристрій, спосіб закріплення), оброблювана заготовка (попередні операції, конструкція, матеріал), супортна група з інструментальним оснащенням (різальна частина, її геометрія, кріплення, елементи адаптації, тощо),
- д) досягнення надійного запасу динамічної стійкості такої системи.

В цьому плані і вирішується головне завдання даної дипломної роботи.

2. Технологічний розділ

2.1. Аналіз деталі-представника. Її конструкторсько-технологічні особливості

Виберемо для прикладу деталь, яка представлятиме подальші розрахунки. Об'єктом машинобудівного виробництва є деталь «Тихохідний вал» вагою 1,4 кг. Вибрана нами деталь є елементом двоступінчастого редуктора. В цьому редукторі використовуються циліндричні прямозубі зубчасті колеса.

Проаналізуємо робоче креслення деталі-представника. Яке показано на рис. 2.1.

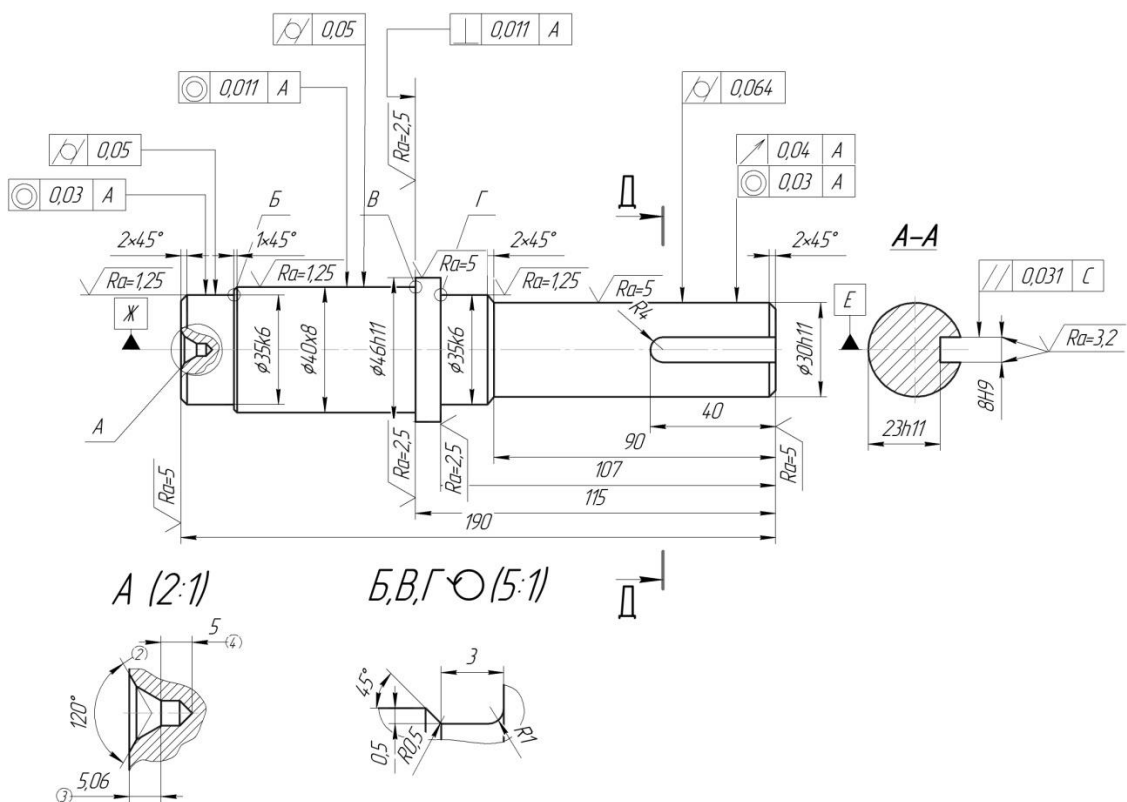


Рис. 2.1. Робоче креслення типової деталі представника «вал тихохідний»

Маючи на увазі умови роботи прямозубого редуктора визначаємо доцільність вибору матеріалу тихохідного валу - сталь 40Х. Ця сталь є досить поширеною при конструюванні редукторів. Така сталь призначається для виготовлення валів (звичайних, колінчастих і кулачкових) та осей, а також плунжерів, штоків, а також шпинделів, півосей та інших деталі підвищеної міцності.

Хімічний склад сталі 40Х є таким як наведено в таблиці 2.1 [8]

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 40Х

Кремній (Si)	Мідь (Cu), не більше	Марганець (Mn)	Нікель (Ni), не більше	Фосфор (P), не більше	Хром (Cr)	Сірка (S), не більше
0.17-0.37	0.30	0.50-0.80	0.30	0.035	0.80-1.10	0.035

Механічні властивості сталі 40Х представлені у таблиці 2.2[8]

Таблиця 2.2 – Механічні властивості (сталь 40Х.при температурі 20°)

Сортамент	Розмір	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	CU	Термообробка
-	мм	МПа	МПа	%	%	$\frac{кДж}{м^2}$	-
Пруток ГОСТ 4543-71	Ø50	950	700	10	45	590	Гартування 860 °С, масло, відпуск 500 °С, вода.
Твердість матеріалу Ст 40Х після Гартування + Високий відпуск				НВ 250-285 10 ⁻¹			

В наведеній таблиці - σ_B - границя міцності, МПа; σ_T – границя текучості, МПа; δ_5 - відносне видовження при розриві; CU – ударна в'язкість, кДж/м²; HB – твердість по Бринелю, МПа.

Потрібно сказати, що креслення деталі і характеристики матеріалу містять всі основні вимоги до робочих креслень, які вимагаються державними стандартами.

Аналіз технологічності є важливим етапом при проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі-представника. Технологічність передбачає визначення вагомих техніко-економічних показників, таких як металоємність, а також собівартість і трудомісткість.

Для проведення дослідження на технологічність використовують аналіз: кількісний і якісний.

Зокрема щодо деталей типу «вал», то користуються такими вимогами щодо відповідності технологічності [9, 10]:

- а) максимальне зближення форми і розмірів заготовки та розмірів і форми власне деталі ;
- б) здійснення обробки переважно прохідними різцями ;
- в) від середини до торців валу діаметри поверхонь повинні зменшуватись та інші.

Доцільно здійснювати аналіз технологічності деталі користуючись коефіцієнтом матеріаломісткості:

$$K_M = \frac{m_d}{m_z},$$

де m_d – маса деталі. При цьому $m_d = V_d \times \rho$.

Також m_d - маса заготовки ($m_z = V_z \times \rho$). В даній формулі - V_d, V_z – об'єм, відповідно, деталі і заготовки, а ρ - густина сталі 40Х і $\rho = 7,86\text{г/см}^3$,

В розглядуваному нами випадку для деталі вал-тихохідний маємо об'єми деталі та заготовки, а також їх маси:

$$V_d = 178 \text{ см}^3; V_z = 267 \text{ см}^3;$$

$$m_d = 178 \times 7,86 = 1400\text{г}; m_z = 267 \times 7,86 = 2100\text{г}$$

Тоді коефіцієнт матеріаломісткості обчислимо як:

$$K_m = \frac{1400}{2100} = 0,666.$$

Таким чином, для розглядуваного випадку деталь є технологічною (тобто при цьому - 33,4% матеріалу перетворюється на стружку, а це – не так багато).

Проведемо також аналіз технологічності деталі. Користуючись визначенням коефіцієнта точності:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}}, T_{cp} = \frac{\sum T \times n}{n} = \frac{3+5+1.1+5+1.1+6.4+4}{7} = 3.657,$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{3.657} = 0.727.$$

Отже і у цьому випадку – відповідно до коефіцієнту точності - деталь є технологічною.

Так само проведемо аналіз технологічності деталі, користуючись визначенням коефіцієнту шорсткості:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}}$$

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш \times n}{n} = \frac{4 \times 3 + 5 \times 3 + 3 \times 1}{7} = 4,286$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{4,286} = 0,233$$

Отже деталь і за цим критерієм є технологічною.

Таким чином, комплексний аналіз за трьома показниками коефіцієнтів матеріаломісткості, точності і шорсткості дозволяє зробити загальний висновок щодо відповідності вибраної нами деталі-представника на технологічність:

1. В результаті обробки деталі маємо певні втрати матеріалу (33,4% йде в стружку), але такі втрати знаходяться в межах допустимих;
2. Згідно вимог до точності і шорсткості обрана деталь-представник є технологічною. На це вказує те, що не існує особливих вимог до цих характеристик, які були б важкими для отримання.

2.2. Аналіз типу виробництва. Визначення його технологічних характеристик

В машинобудуванні вирізняють в основному три типи виробництва, а саме одиничне, серійне, а також масове [9]. Вибір типу виробництва ґрунтується в основному на річній програмі випуску деталей з врахуванням їх маси (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Вибір типу виробництва.

Тип виробництва	Річна програма випуску деталей		
	Великих, 50 кг і більше	Середніх, 8...50 кг	Малих, до 8 кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Серійне	5... 1000	10...5000	100...50000
Масове	св. 1000	св. 5000	св. 50000

Для визначення типу виробництва згідно стандарту виконується розрахунок коефіцієнта закріплення операцій по існуючій методиці [10].

При цьому «тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$, який показує відношення всіх різних технологічних операцій, які виконуються або будуть виконуватися підрозділом на протязі місяця, до числа робочих місць»:

$$K_{з.о.} = \sum O/P$$

де, $\sum O$ -сумарне число операцій; P-число робітників підрозділу(P=6).

Згідно стандарту вказані такі коефіцієнти закріплення операцій:

-для масового виробництва $K_{з.о.} = 1,0$;

-для великосерійного виробництва $1 \leq K_{з.о.} \leq 10$

Наведемо вихідні дані для проведеного нами розрахунку:

Річна програма випуску деталі-представника складає $N = 500$ шт.

Штучно-калькуляційний час $T_{ш.к.}$ визначаємо згідно методики [10].
При цьому використовуємо поправочний коефіцієнт φ_k , тобто коефіцієнт, який залежить від виду операцій.

Для визначеного у типовому технологічному процесі маршруту визначимо $T_{ш.к.}$ по операціях:

005 Фрезерно-центрувальна. Верстат моделі МР-76М

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 0,72 \times 2,41 = 1,74 \text{ хв}$$

010 Токарна чорнова. Верстат моделі 1Н713

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 0,95 \times 1,3 = 1,24 \text{ хв}$$

015 Токарна чорнова. 1Н713

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 0,95 \times 1,36 = 1,3 \text{ хв}$$

020 Токарна чистова. Верстат моделі 16К20 Ф3

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 1,0 \times 2,46 = 2,46 \text{ хв}$$

025 Шпоночно фрезерна. Верстат моделі 6Д92

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 2 \times 1,295 = 2,59 \text{ хв}$$

035 Круглошліфувальна. Верстат моделі 3М151

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 0,45 \times 1,91 = 0,86 \text{ хв}$$

040 Круглошліфувальна. Верстат моделі 3М151

$$T_{ш.к.} = T_{о.ф.} \times \varphi_{к.ф.} = 0,69 \times 1,91 = 1,32 \text{ хв}$$

Загальний

$$T_{ш.к.з.} = \sum T_{ш.к.} = 1,74 + 1,24 + 1,3 + 2,46 + 2,59 + 0,86 + 1,321 = 11,51$$

Згідно рекомендацій методики [10] маємо:

$$\sum O = 60 F_m \times K_B \times \eta_H / \sum T_{ш.к.з.} \times N_m;$$

де $F_m = 334,5$ год. - місячний фонд часу робочого обладнання;

$K_B = 1,3$ - середній коефіцієнт виконання норм часу ;

$N_m = (500/12)$ - кількість деталей за один місяць;

$\eta_H = 0,75$ – середнє значення нормативного коефіцієнта завантаження обладнання.

$$\text{Отже, } \sum O = (60 \times 334,5 \times 1,3 \times 0,75) / 11,51 \times \left(\frac{500}{12} \right) = 40,8$$

$$K_{з.о.} = \frac{40,8}{6} = 6,8 - \text{Великосерійне виробництво.}$$

2.3 Вибір заготовки. Техніко- економічне обґрунтування

Згідно досвіду проектування заготовок, можна твердити, що продуктивність механічної обробки валів істотно залежить від матеріалу деталі, розмірів і конфігурації заготовки, а також від характеру виробництва.

Дана деталь-представник є – вал ступінчастий. Він має незначні перепади діаметрів. Тому в якості заготовки можна розглядати заготовку – прокат. Але, зважаючи на тип виробництва деталі – серійний, можна також розглядати заготовку - поковку.

Розглянемо заготовку – поковку, яка виготовлена на горизонтально кувальній машині.

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_P \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000}$$

де C_i - ціна сталі 40Х за тонну; Q – маса заготовки; q – маса деталі;

$S_{отх}$ - ціна стружки; коефіцієнти k_T - що залежить від точності штампувань;

k_C – що залежить від складності заготовки; k_B - що залежить від її маси ;

k_M - що залежить від матеріалу; k_P - що залежить від об'єму виробництва.

Розрахуємо масу заготовки за формулою $Q = q \cdot 1,5$:

$$Q = 1,427 \cdot 1,5 = 2,141 \text{ кг.}$$

Вибравши коефіцієнти з таблиць, ми можемо розрахувати ціну поковки [10]:

$$S_{заг} = \left(\frac{5200}{1000} \cdot 2,141 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1,29 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \right) - (2,141 - 1,427) \cdot \frac{900}{1000};$$

$$S_{заг} = 13,474 \text{ грн.}$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{q}{Q};$$

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{1,427}{2,141} = 0,67;$$

Як інший варіант розглянемо також заготовку, виготовлену з круглого прокату.

Ціна заготовки, яка вироблена з прокату, визначається за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000}$$

де C_i - ціна сталі 40х за тонну; Q - маса заготовки; q - маса деталі; $S_{\text{отх}}$ - ціна стружки.

Масу заготовки визначимо використовуючи поняття об'єму та густини металу:

$$Q = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \cdot \rho;$$

$$Q = 3,14 \cdot \frac{50^2}{4} \cdot 192 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6} = 2,941 \text{ кг};$$

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{3200}{1000} \cdot 2,941 \right) - (2,941 - 1,427) \cdot \frac{900}{1000};$$

$$S_{\text{заг}} = 6,207 \text{ грн}$$

Відповідно визначаємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}; K_{\text{в.м.}} = \frac{1,427}{2,941} = 0,485;$$

Проаналізуємо отримані дані. Бачимо, що ціна заготовки, отриманої з круглого прокату, приблизно вдвічі менша. В той же час коефіцієнт використання матеріалу у випадку заготовки – поковки більший від коефіцієнту використання матеріалу у заготовці з круглого прокату,

$$\frac{0,67 - 0,485}{0,67} \cdot 100\% \approx 27\%.$$

Отже, більш раціональним і економічно вигідним є використання заготовки з поковки, яка отримується на горизонтально кувальній машині.

2.4. Вибір та обґрунтування раціонального технологічного маршруту

Маршрут виготовлення деталі це послідовність виконання технологічних операцій при механічній обробці. При виборі технологічного маршруту деталі-представника будемо дотримуватись доцільних рекомендацій [10]:

1. Операції повинні бути близькими за трудомісткістю.
2. Кожна наступна операція повинна зменшувати похибки обробки і покращувати якість поверхонь.
3. В першу чергу обробляються технологічні бази для наступних операцій, а далі - ті поверхні, з яких знімається найбільший шар металу.

При визначенні послідовності чорнових і чистових операцій враховують те, що суміщення їх на верстатах призводить до зниження точності.

4. Отвори свердлять в кінці технологічного процесу, окрім випадків, коли вони служать базами.

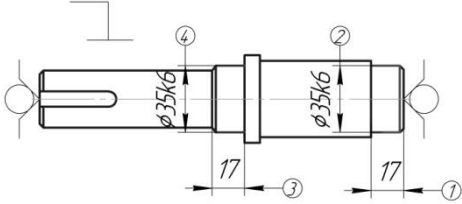
5. Технічний контроль планують після тих етапів обробки, де можливий підвищений брак, перед складнішими операціями, а також в кінці обробки деталі.

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі-представника наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.-Маршрутна технологія обробки деталі-представника

№ операції	Зміст операції	Ескіз
005 Фрезерно - центрувальна.	Фрезерувати торці, витримуючи розмір 1, свердлити центровочні отвори,	

	втримуючі розміри 2,3,4,5	
010 Токарна чорнова.	Точити поверхні начорно, втримуючі розміри 1-8	
015 Токарна чорнова.	Точити поверхні начорно, втримуючі розміри 1-6	
020 Токарна чистова.	Точити поверхні начисто, втримуючі розміри 1-13, точити канавки для виходу шліфувального круга втримуючі розміри 14-18	
025 Шпоночно - фрезерна	Фрезерувати шпоночний паз, втримуючі розміри 1,2,3,4	

030 Термообробка		
035 Круглошліфувальна.	Шліфувати поверхню, витримуючи розміри 1,2	
040 Круглошліфувальна.	Шліфувати поверхні, витримуючи розміри 1-4.	

2.5. Вибір металообробного обладнання

Для проектованого технологічного процесу на основі розроблених операцій технологічного маршруту проводимо вибір металорізальних верстатів.

Вибране металообробне обладнання для кожної операції технологічного маршруту представимо у зведеній таблиці 2.5.

Таблиця 2.5.- Зведена таблиця металообробного технологічного обладнання

Номер та назва операції	Назва та модель верстата	Потужність верстака, кВт
005 Фрезерно - центрувальна.	Фрезерно – центрувальний МР- 76М	5,1
010 Токарна чорнова	Гідрокопіювальний напівавтомат 1Н713	17

015 Токарна чорнова	Гідрокопіювальний напівавтомат 1Н713	17
020 Токарна чистова	Токарно- гвинторізний 16К20Ф3	11
025 Шпоночно - фрезерна	Шпоночно - фрезерний 6Д92	2,2
035 Круглошліфувальна.	Круглошліфувальний 3М173Е	30
040 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3М173Е	30

2.6. Розрахунок припусків.

Припуск на обробку призначатимемо, зважаючи на певну неточність у формі та розмірах заготовки для деталі-представника, підвищену шорсткість поверхонь, наявність дефектів поверхневого шару.

Числові значення загального припуску і його розподіл між проходами окремої операції зазвичай здійснюють за нормативними таблицями в залежності від методів отримання заготовок, геометричних форм та конструктивних розмірів деталей, хоча можливим є і розрахунковий метод призначення припуску [11].

Заготовку проектуємо по ГОСТ 7505-89. Для проектування нам потрібні дані стосовно деталі-представника: група сталі, ступінь складності, а також клас точності.

Сталь 40Х відноситься до групи сталі М2, бо заготовка має 0,4% вуглецю.

Також розрахункове значення ступеня складності розраховуємо так:

$$C=M_p/M_\phi,$$

де M_p – маса поковки; M_ϕ – маса простої фігури, в яку може бути описана заготовка; $M_\phi = 2948,0706$ гр. (після проектування твердотільної моделі заготовки).

Таким чином, отримуємо

$$C = \frac{2,1}{2,95} = 0,71.$$

Оскільки $C > 0,63$, то ступінь складності поковки є С1.

Оскільки заготовкою є – поковка на ГKM, то клас її точності Т4.

Вихідний індекс – 11.

За значенням вихідного індексу назначаємо припуски, та їх значення зводимо у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. – Припуски у заготовці на механічну обробку

Розмір	Припуск	Допуск
Ø35	2·1,5	+0,8 -0,4
Ø43	2·1,5	+0,6 -0,5
Ø48,8	2·1,4	+0,8 -0,4
Ø35	2·1,5	+0,8 -0,4
Ø30	2·1	+0,8 -0,4
190	2·1,3	+1,3 -0,7
17	2·1,3	+1,1 -0,5
58	2·1,6	+1,1 -0,5
8	2·1,3	+1,1 -0,5
17	2·1,3	+1,1 -0,5
90	2·1,3	+1,3 -0,7

Ескіз заготовки представлено на рисунку 2.2.

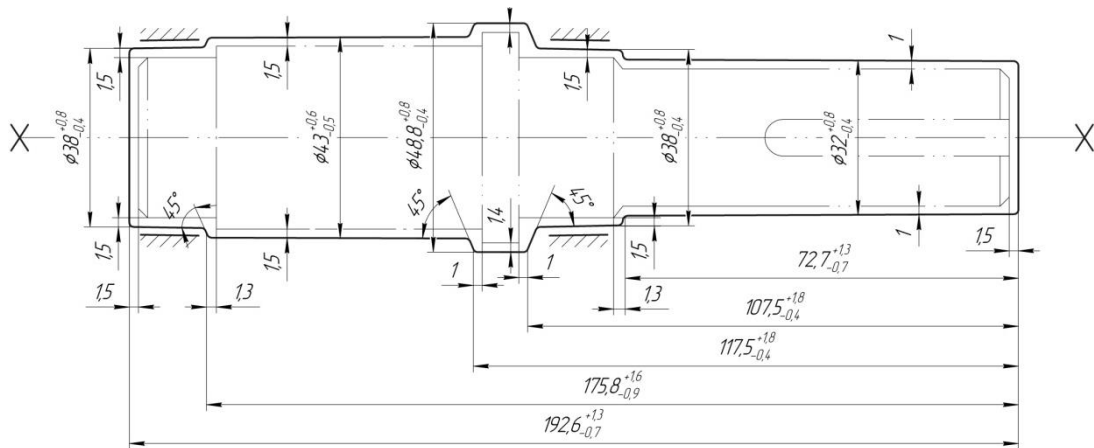


Рисунок 2.2. – Ескіз заготовки

2.7. Розрахунок елементів режимів різання.

До елементів режимів різання відносять швидкість різання, подачу, кількість обертів, глибину різання. Від елементів режимів різання залежать: час обробки, якість поверхні, що обробляється, стійкість різальної частини інструменту, необхідна на різання потужність. Розраховані табличним методом [12] режими різання на технологічні операції, записуємо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7. – Зведені дані режимів різання.

Найменування операції	Швидкість різання V , м/хв	Подача S , мм/об	Глибина різання t , мм	Кількість проходів , шт.	Частота обертання n , 1/хв	Машинний час T_0 , хв.	Стійкість інструмента T , хв.
005 Фрезерно – центрувальна	72,9	84 мм/ хв	1,3	1	580	0,507	100
010 Гідрокопіювальна чорнова	96,536	0,55	0,98	1	630	0,282	50
015 Гідрокопіювальна чорнова	6,536	0,55	0,875	1	30	0,337	60

020 Токарна чистова з ЧПУ	44,44	0,15	0,42	1	243,2	0,433	60
025 Шпоночно - фрезерна	5,12	0,01 мм/ зуб	0,375	1	1000	0,725	60
035 Шліфувальна	4,95	0,6	,25	2	1500	,330	
040 Шліфувальна	4,95	0,6	,25	2	1500	,547	

2.8. Нормування часу

Для умов серійного виробництва технічні норми часу використовуючи нормативні таблиці встановлюють розрахунково-аналітичним методом [10].

Результати визначення норм часу на технологічні операції механічної обробки деталі-представника розраховуємо і всі дані заносимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8. - Таблиця норм часу по операціям, хв.

Номер та найменування операції	T _о	T _в			T _{оп}	T _{об.от}	T _{шт}	T _{п-з}	n	T _{ш-к}
		T _{ус, T_{зо}}	T _{уп}	T _{из}						
005 Фрезерно-центру-вальна	0,507	0,08	0,14	0,16	1,21	0,073	1,28	22	378	1,34

010 Гідро-копію-вальна	0,282	0,07	0,07	0,32	1,133	0,068	1,2	16	378	1,24
015 Гідро-копію-вальна	0,337	0,07	0,07	0,32	1,19	0,07	1,26	16	378	1,3
020 Токарна з ЧПУ	1,43	0,07	0,07	0,32	2,28	0,14	2,4	16	378	2,46
025 Шпоночно-фрезерна	1,725	0,14	0,1	0,12	2,39	0,14	2,53	21	378	2,59
035 Шліфу-вальна	0,33	0,07	0,06	0,12	0,79	0,05	0,84	7	378	0,86
040 Шліфу-вальна	0,54	0,07	0,06	0,24	1,23	0,07	1,3	7	378	1,32

В даній таблиці використані такі позначення:

$T_{n-з}$ - підготовчо-заключний час, хв.; T_o - основний час, хв.;

n - кількість деталей в настройковій партії, шт.;

T_{yc} - час на встановлення та зняття деталі, хв.;

T_{30} - час на закріплення та відкріплення деталі, хв.;

T_{yn} - час приймання керування, хв.;

$T_{из}$ - час на вимірювання деталі, хв.;

$T_{обст}$ - час на обслуговування робочого місця та відпочинок, хв.;

$T_{шт-к} = T_o + (T_{yc} + T_{30} + T_{yn} + T_{из}) * K + T_{об.ст}$, хв - штучно-калькуляційний час

3. Схеми формоутворення і компоувальні схеми токарного верстату горизонтальної компоувки. Їх оптимізація

3.1 Види формоутворення при обробці лезовими інструментами

При обробці поверхонь деталей на металорізальних верстатах твірні і напрямні лінії можуть бути відтворені погодженими рухами заготовки та різального інструменту у їх комбінації між собою. Рухи різання у часі відтворюють твірні та напрямні і відповідно є формотворчими рухами [13].

Існують різні методи формоутворення поверхонь [14]. Варто розглянути формоутворення лезовими різальними інструментами на конкретних прикладах обробки.

Зокрема, за методом копіювання утворення поверхонь широким лезом різця (в тому числі фасонного) передбачає, що форма різального леза інструменту є твірною 1, що тотожна за формою з відповідною лінією оброблюваної поверхні (рис. 3.1, а), або яка має форму, обернену їй (рис. 3.1,б). При обертанні заготовки в процесі такого точіння напрямна 2 відтворюється цим обертанням заготовки (рис. 3.1, а) або поступальним рухом різального інструменту (рис. 3.1,б). Обидва ці рухи і є формотворчими. Інший рух, спрямований перпендикулярно до оброблюваної поверхні, потрібний для отримання певного розміру поверхні. На металорізальних верстатах цей метод використовують при обробці криволінійних поверхонь.

Широко застосовують у верстатах лезової обробки метод сліда. При цьому утворення поверхонь відбувається завдяки тому, що твірна 1 є траєкторією руху вершини різального леза різця, а напрямна 2 якраз траєкторією руху певних точок заготовки (рис. 3.1,в). Обидва рухи різання (v і $s_{пр}$) у цьому випадку є формотворчими. Цей метод формоутворення поверхонь розповсюджений найбільше.

За методом дотику формотворення поверхонь різанням досягають тим, що у якості напрямної лінії виступає дотична до послідовності геометричних допоміжних ліній. Такі допоміжні лінії є траєкторіями руху

точок леза різального інструменту. Твірною лінією 1 є різальне лезо інструменту (рис. 3.1,г) а формотворчим рухом є подача $s_{пр}$.

Існує також метод обкатування (огинання). Утворення поверхонь при цьому полягає в тому, що твірна лінія 1 (рис. 3.1,д) є послідовністю ряду кривих ліній, що огинають послідовні положення різального леза. Це відбувається в результаті двох відносних рухів заготовки та інструмента (s_1 і s_2), погоджених між собою. Напрямна 2 утворюється за допомогою поступального руху інструмента.

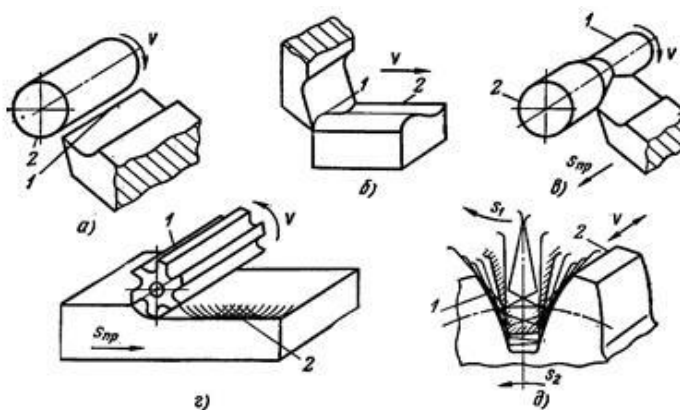


Рис. 3.1. Типові схеми методів формоутворення поверхонь при лезовому різанні

Для розробленого нами маршрутного технологічного процесу для деталі представника «вал тихохідний» можна виділити такі операції, що співпадають із конкретними етапами формоутворення поверхонь:

1. Фрезерування торців.
2. Свердління центрових отворів.
3. Точіння чорнове.
4. Точіння чорнове.
5. Точіння чистове.
6. Фрезерування шпоночного пазу.
7. Шліфування.
8. Шліфування.

При цьому слід мати на увазі конкретні ознаки технологічності деталі-представника, які були проаналізовані у розділі 2 дипломної роботи при

проектуванні технологічного процесу, зокрема, заготовки для виготовлення деталі, розробленні операцій, виборі обладнання та металорізальних інструментів.

3.2. Забезпечення виробничого циклу на токарному верстаті горизонтальної компоновки на основі вибору комплексу рухів

Відповідно до рекомендацій [13] та беручи до уваги виконувани на токарному верстаті горизонтальної компоновки операції, встановлюємо необхідні для здійснення виробничого циклу верстату виконавчі рухи.

Такими виконавчими рухами є:

1. поздовжнє точіння – $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s1}(П_2)$, Вст(П₃);
2. поперечне точіння (торця) - $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s2}(П_3)$, Вст(П₂);
3. поперечне точіння (канавки) - $\Phi_v(O_1)$, Вр(П₃), Вст(П₂);
4. точіння конусів - $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s3}(П_5)$, Вст(П₂), Вст(П₃), Вст(О₄);
5. обробка з використанням інструменту осьового типу - $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s4}(П_6)$, Вст(П₃), Вст(П₁₀);
6. нарізання різьби різбовими різцями – $\Phi_v(O_1П_2)$, Вст(П₃).

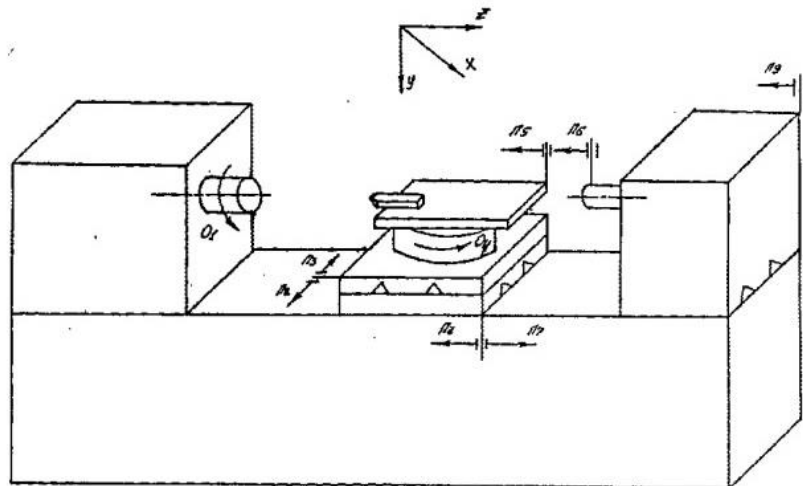


Рис.3.2. Виконавчі рухи токарно-гвинторізного верстату горизонтальної компоновки

У токарно-гвинторізному верстаті горизонтальної компоновки також для більшості операцій можуть використовуватися рухи швидкого переміщення повздовжньої каретки супорта Доп(П₇), рухи поперечних

переміщень Доп(Π_8) та різцевих переміщень Доп(Π_9) (рис. 3.2.). Рухи $\Phi_{s4}(\Pi_6)$ і Вст(Π_{10}) у верстаті не є механізованими, тому ми їх не будемо розглядати під час аналізу.

За результатами проведеного стосовно потрібних виконавчих рухів аналізу, відзначаємо таке:

1. Для всіх операцій рухом різання є формоутворюючий рух обертання заготовки $\Phi_v(O_1)$;

2. Рухи встановлення Вст(Π_2) і Вст(Π_3) є кінематично тотожними з формоутворюючими рухами подач $\Phi_{s1}(\Pi_2)$ і $\Phi_{s2}(\Pi_3)$. Таким чином, у верстаті горизонтальної компоновки ці рухи реалізуються тими ж кінематичними ланцюгами;

3. Виконання рухів Π_2 , Π_3 , Π_5 у верстаті розділено у часі В зв'язку з цим для їх реалізації використовуються кінематичні ланцюги, що частковооднакові, тобто мають спільну ділянку;

4. Рухи швидких переміщень Доп(Π_7), Доп(Π_8) і Доп(Π_9) кінематично тотожні з формоутворюючими рухами подач $\Phi_{s1}(\Pi_2)$, $\Phi_{s2}(\Pi_3)$ і $\Phi_{s4}(\Pi_5)$. Вони у токарному верстаті реалізуються за рахунок під'єднання коротшого кінематичного ланцюга з окремим приводом до спільної ділянки кінематичних ланцюгів формоутворюючих рухів подач;

5. Виконавчі повздовжньої подачі Π_2 під час нарізання різьби і точіння збігаються в кінематичному плані. Вони у верстаті горизонтальної компоновки реалізуються кінематичними ланцюгами, що мають спільну ділянку. У процесі нарізання різьби рух повздовжньої подачі Π_2 здійснюється від ходового гвинта, а при точінні – від рейкової передачі.

Крім того, існують певні особливості кінематичної структури верстата, пов'язані з операціями нарізання різьби.

В зв'язку із нарізанням різних типів різей орган настроювання на траєкторію $i_{гв}$, розміщений у кінематичній групі $\Phi_v(O_1\Pi_2)$, причому він має три складові:

- орган настроювання на крок, який складається з двох частин – збільшення кроку $i_{з,к}$ та множинної $i_{мн}$;

- орган настроювання на число π для модульної і пітчевої різьб - i_{π} ;
- орган настроювання на пропорційність цілому числу для метричної та модульної різьби або обернену пропорційність для дюймової та пітчевої різьб - $i_{зв}$ [15].

3.3. Обґрунтування структурно-кінематичної схеми токарного верстата горизонтальної компоновки

Побудуємо узагальнену структурно-кінематична схему типового токарно-гвинторізного верстата горизонтальної компоновки. Така структурно-кінематична схема (рис. 3.3) як окремі складові містить структурну схему для поздовжнього точіння; структурну схему для поперечного точіння, а також - дві додаткові гвинторізні структурні схеми.

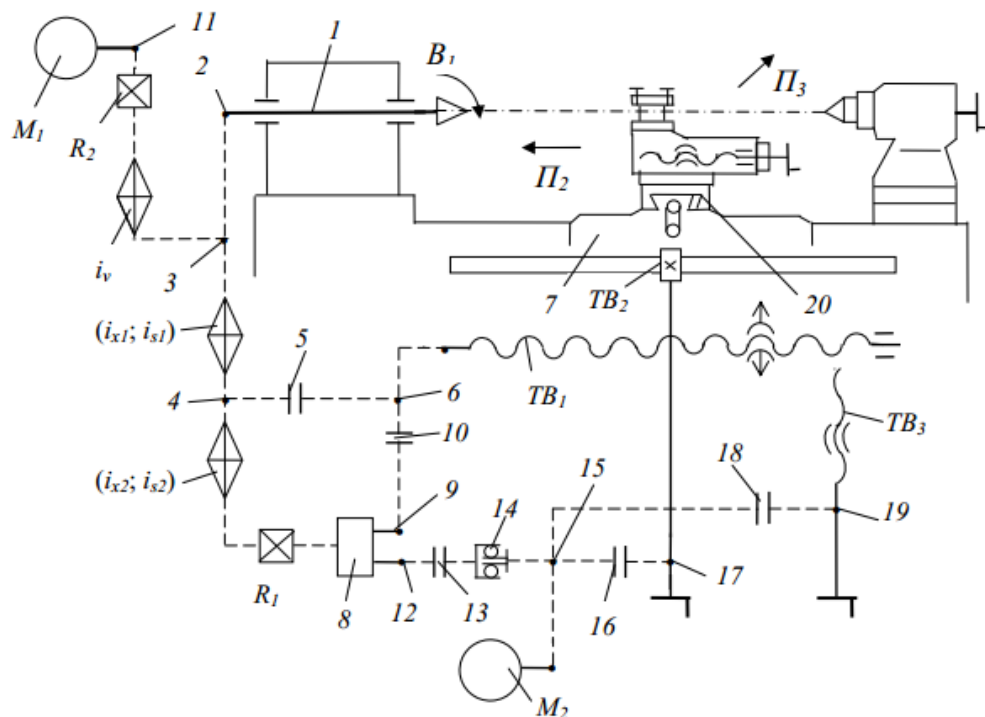


Рис.3.3. Узагальнена структурно-кінематична схема

Схеми поздовжнього і поперечного точіння передбачають передачу руху від двигуна головного руху до шпинделя (B_1). З рухом шпинделя пов'язані рухи подачі (Π_2 і Π_3), які завершуються на різальному інструменті

Також маємо, що перша гвинторізна структурна схема $\Phi v_1 (B_1 \Pi_2)$ призначена для нарізання точних і нестандартних різьб. Її внутрішній кінематичний зв'язок має вигляд, що представлений формулою:

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow ix1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка7} \rightarrow \Pi_2.$$

При цьому зовнішній кінематичний зв'язок – такий:

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Схема налаштовується на траєкторію органом настройки $ix1$, на напрямок обертання реверсом R_1 , поєднаним з органом настройки на траєкторію. Швидкість регулюється органом настройки i_v .

Друга гвинторізна структурна схема позначена символами Фv2 (В1П2). Вона призначена для нарізання нестандартних різьб. Внутрішній кінематичний зв'язок такої структури можна представити формулою:

$$B_1 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow ix1 \rightarrow ix2 \rightarrow R_1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 6 \rightarrow TB \rightarrow \text{каретка7} \rightarrow \Pi_2.$$

В той же час відповідний зовнішній кінематичний зв'язок має вигляд :

$$M_1 \rightarrow 11 \rightarrow R_2 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Ця схема може бути налаштована на відповідну траєкторію з використанням органу налаштування $ix2$, а на напрямок - з допомогою реверса R_1 . Налаштування швидкості відбувається з допомогою органу настройки i_v .

3.4. Оптимізація компоувальної схеми верстату. Загальні застереження.

Для спрощеного зображення вузлів металорізального верстата, а також його напрямних та інших елементів використовують компоувальні схеми, які є інформаційним аналогом компонок [16]. Елементи, які несуть заготовку або інструмент завжди зображають блоками. Ці блоки забезпечують відповідні відносні рухи оброблюваної деталі та різального інструменту, і ці рухи повинні відповідати визначеній попередньо схемі формоутворення оброблених поверхонь [17]. Для обґрунтованого вибору компонок металорізальних верстатів проводять необхідний аналіз за рядом технологічних та конструкційних умов [18]. Ці умови, як правило, визначаються вимогами технічного завдання на проектування.

При цьому такий обґрунтований вибір компонок металорізальних

верстатів відповідно до окреслених сформульованих умов технологічного та конструкторського характеру, потрібно проводити у певній послідовності. послідовності.

Спочатку слід визначити склад виконавчих рухів формоутворення, а також інших виконавчих рухів верстату. Таке визначення проводиться при аналізі сукупності технологічних операцій, які загалом виконуються на верстаті, компоновка якого розглядається. Формування складу вказаних виконавчих рухів виконують на основі розгляду кожної із пропонованих схем формоутворення поверхонь для деталей, які підлягають обробленню на розглядуваному верстаті. Вище у розділі 3.1 було показано, що формоутворення поверхні забезпечується за допомогою рухів інструменту та оброблюваної заготовки, які взаємоузгоджені між собою. Такі відносні рухи утворюють твірні лінії.

Очевидно, що для визначення необхідного комплексу виконавчих рухів, які забезпечують відтворення оброблюваної поверхні необхідно провести певний аналіз. Послідовність такого аналізу може полягати у такому:

а) знаходження вигляду шуканих твірних, що забезпечують утворення оброблюваної поверхні;

б) обґрунтований вибір необхідного методу формоутворення твірних ліній з одночасним призначенням визначеної кількості виконавчих рухів при формоутворенні;

в) обґрунтування необхідності та прогнозованої кількості виконавчих рухів іншого характеру. До цих рухів можна віднести установочні рухи, допоміжні рухи та рухи ділення при потребі.

Другим етапом вибору компоновки верстату виступає модульний етап. Такий етап передбачає обґрунтоване визначення структури чи складу блоків технологічного модуля. Технологічний модуль визначає кількість шпинделів, пропоновану технологічну схему обробки, визначені позиції при обробці і пропорційні розміри відповідного характеру. Також потрібно

сформувати модульний комплект. В науці про проектування верстатів [16] зазначено, що комплект модулів структурно формується на підставі відомої інформації «про оброблювані деталі і статистичного аналізу застосовуваності базових компоновок металорізальних верстатів». Важливим наступним кроком у процедурі вибору компоновки є також побудова для спроектованого верстату загальної матриці компоновок.

У ряді праць вчених [16, 17]показано , що структура компоновки обов'язково складається із рухомих та стаціонарного блоків. Під терміном “блок” мають на увазі власне сукупність вузлів верстата. Кожен виконавчий рух на верстаті може бути реалізованим за допомогою певного самостійного блоку. Таким чином, визначені виконавчі рухи можна замінити окремими блоками. Для цього перш за все потрібно вибрати систему координат. Ця система координат повинна бути вибрана відповідно до ISO. Її початок приймають довільним чином. В той же час відповідно до положення головного шпинделя верстату визначають напрямки решти осей, які від цього якраз залежні. Виконавчі рухи вздовж осей X, Y, Z замінюються блоками. Ці блоки позначаються тими ж літерами як осі. При цьому відповідні обертові рухи відносно вказаних осей підлягають заміні на блоки, які позначають як A, B, C . Щодо інших виконавчих рухів, які паралельні до осей X, Y, Z , то їхні блоки позначають відповідно U, V, W (вторинні) або P, Q, R .

Щодо стаціонарного блоку, то його позначають як O , тобто нульовий блок. Це вказує на відсутність рухів. Блоки рухів формоутворення позначають великими буквами, а блоки інших виконавчих рухів – малими. Установочні рухи, як правило є самостійними блоками. У випадку, якщо ці установочні рухи, тотожні за напрямом із формоутворюючими рухами, то вони реалізуються єдиним блоком формоутворення, якщо такий підхід дозволяє прогнозована конструкція приводу.

Описана заміна виконавчих рухів за допомогою окремих блоків компоновки верстату необхідна для формалізованого запису технологічного модуля. Відповідно зрозуміло, що цей технологічний модуль включає до свого складу стаціонарний нерухомий блок та блоки формоутворюючих

рухів. Крім того, вказаний вище модульний комплект передбачає блоки технологічного модуля та блоки інших виконавчих рухів.

Пропонований модульний комплект є підставою для формалізованого запису двомірної матриці можливих прогнозованих компонок розроблюваного верстату. Елементами матриці теоретично можливих компонок є структурні формули цих компонок. У роботі [17] вказано, що «кількість стовпців у матриці залежить від кількості розрядів, які може займати стаціонарний блок, а кількість рядків рівна $N - 1$!, де N – загальна кількість блоків, що входять у модульний комплект». Також дуже важливим є те, що при побудові описаної загальної матриці компонок слід враховувати положення блоку, який ілюструє головного руху формоутворення і має займати фіксовану позицію відповідно до структурного портрету компонок з боку гілки, що вказує на інструмент, або заготовку.

3.5. Формалізовані умови структурного відбору для токарного верстату горизонтальної компоновки

Для відбору з метою отримання шуканої компоновки слід записати формалізовані умови такого структурного відбору. При цьому слід враховувати вимоги поставленого технічного завдання, а також технологічні і конструкторські міркування. Ці міркування перш за все стосуються якісних характеристик проєктованих верстатів. Маються на увазі вимоги до розподілу мас у верстаті, забезпечення точності і якості верстату, характер завантаження заготовок і розвантаження оброблених деталей та інші.

На основі існуючих рекомендацій щодо верстатів фрезерної і свердлильно-розточної груп можна формулювати умови відбору і для інших верстатів.

В процесі визначення умов відбору та їх формалізації враховують як першо чергові характеристики розміри і форму робочого простору верстату. Ці характеристики безпосередньо визначаються масовими характеристиками заготовки та вузлів верстату, що суттєво для його динамічної поведінки.

Очевидно, що від цих характеристик в значній мірі залежать габарити верстату.

Слід також мати на увазі те, як працюватиме верстат – чи самостійно (автономно), а чи у системі з іншими верстатами. Такий підхід може суттєво впливати на блок, що несе заготовку, а власне на його рухомість.

Також слід передбачити при опису структури прогнозованого верстату його систему керування. Адже, якщо ми маємо використовувати пристрої програмного керування, зокрема ЧПК, то постає питання про автоматизацію завантаження, або ж зміну інструментів. Так, ряд металорізальних верстатів з ЧПК споряджені окремими пристроями автоматичної заміни та накопичення інструментів. Відповідно, легко зрозуміти, що на структуру компоновки заміна інструментів впливає суттєво.

Маючи умови відбору компоновок, можна записати структурні ознаки такого відбору. У формалізованому вигляді такі сформульовані структурні ознаки відбору виражають через так звані узагальнені структурні формули компоновок. Визначення шуканої структурної формули компоновки повинно відповідати усім умовам відбору.

При цьому необхідно використовувати математичний апарат перетину множин та відповідний математичний метод знаходження такого перетину. Методичні рекомендації по використанню цього методу приведені у методичних вказівках

На основі раніше визначених рухів у прогнозованому верстаті зобразимо конструктивні варіанти компоновок на основі відповідних структурних формул.

Розробимо пропозиції щодо формулювання технологічного модуля (ТМ), а також модульного комплексу (МК).

В процесу аналізу технологічних схем методів обробки, які можуть бути застосовані на токарному верстаті горизонтальної компоновки, яка є предметом дослідження, замінюємо формоутворюючі та інші виконавчі рухи відповідними компоновальними блоками:

$\Phi_v(O_1) \rightarrow C_h$; $\Phi_{s1}(П_2), \text{Вст}(П_3) \rightarrow Z$ (прийmemo, що основний та допоміжний рухи у поздовжньому напрямі будуть виконуватися єдиним рухомим блоком);

$\Phi_{s2}(П_3), \text{Вст}(П_2) \rightarrow X$ (прийmemo, що основний та допоміжний рухи в поперечному напрямі будуть виконуватися єдиним рухомим блоком). Тоді:

технологічний модуль запишемо у формалізованому вигляді так:

$$TM = \{0 C_h Z X \},$$

а модульний комплект – відповідно опишеться формулою:

$$MK = \{0 C_h Z X \}.$$

Таким чином, побудуємо загальну матрицю можливих компоновок для токарного верстату горизонтальної компоновки.

Враховуємо те, що блоки, які несуть заготовку та інструмент займають фіксованого положення. Вони відповідно є крайніми з боку гілки заготовки і гілки інструменту. Також врахуємо технологічні модулі, що прив'язані до цього модуля C_h . Тоді шукана загальна матриця компоновок запишеться у вигляді:

$$TM = C_h \{0 Z X \}.$$

Тоді для нашого токарного верстату горизонтальної компоновки маємо(таблиця 3. 1):

Таблиця 3.1. Матриця горизонтальних варіантів компоновок токарних верстатів

Матриця горизонтальних варіантів компоновок дво координатного верстату		
X Z 0	Z 0 X	0 Z X
Z X 0	X 0 Z	0 X Z

Проведемо аналіз типових базових компоновок і здійснимо відповідний вибір шуканого верстату із сукупності верстатів-аналогів.

Маємо на увазі, що, як правило класично в токарних верстатах використовуються горизонтальні компоновки. Тому саме для цієї групи компоновок будемо проводити подальший аналіз.

У практиці машинобудування звичайно не виключається варіанти застосування і вертикальних компоновок токарних верстатів.

Горизонтальні компоновки обладнання більш зручні, хоч вимагають більшої площі, яку займає верстат. Так само верстати горизонтальної компоновки спрощують ручне втручання оператора у технологічний процес на верстаті.

Тому в даній постановці горизонтальну компоновку токарного верстата розглядати доцільніше.

Зобразимо графічно отримані можливі варіанти компоновок токарних верстатів горизонтального виконання (у наведених варіантах вказані також структурні формули компоновок) (рис.3.4):

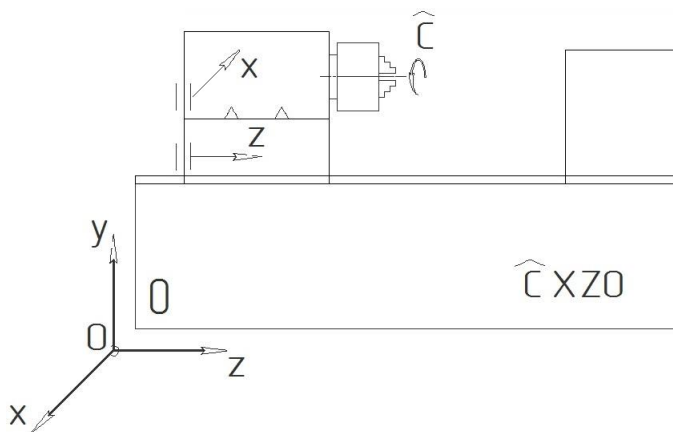


Рис.3.4,а. Варіант компоновки - $C_h X Z 0$

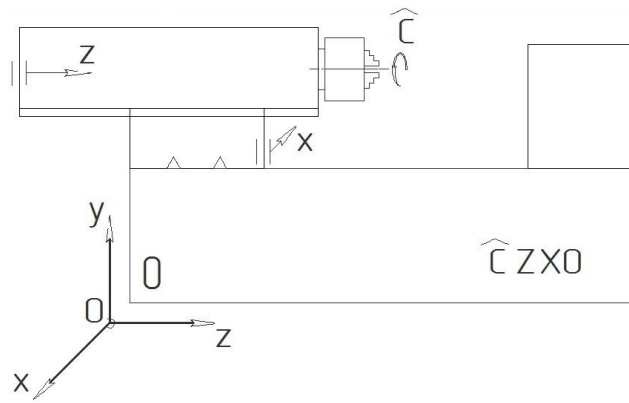


Рис.3.4,б. Варіант компоновки - C_hZX0

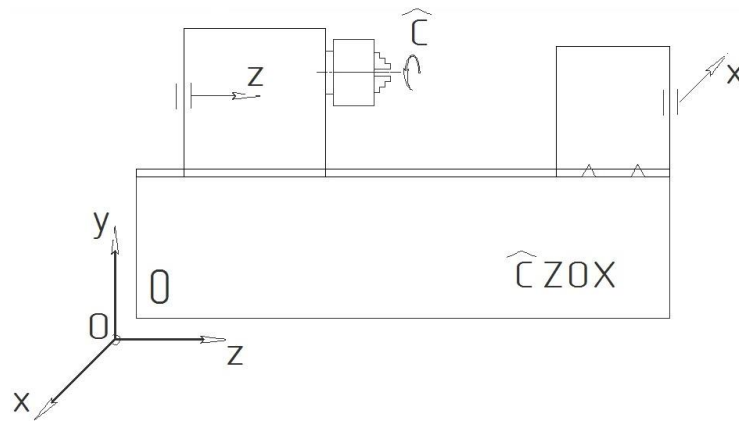


Рис.3.4,в. Варіант компоновки - C_hZ0X

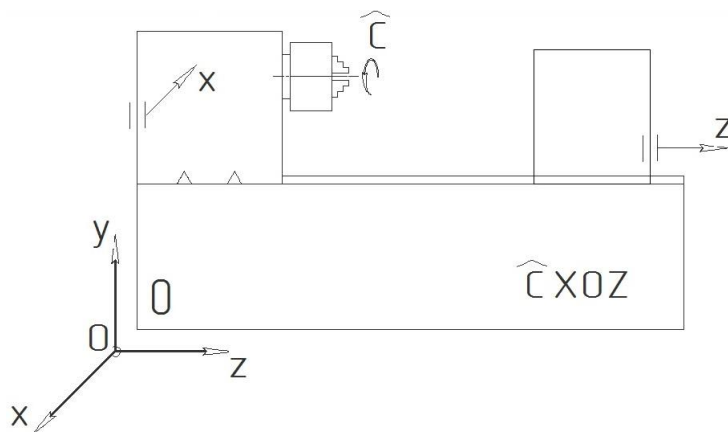


Рис.3.4,г. Варіант компоновки - C_hX0Z

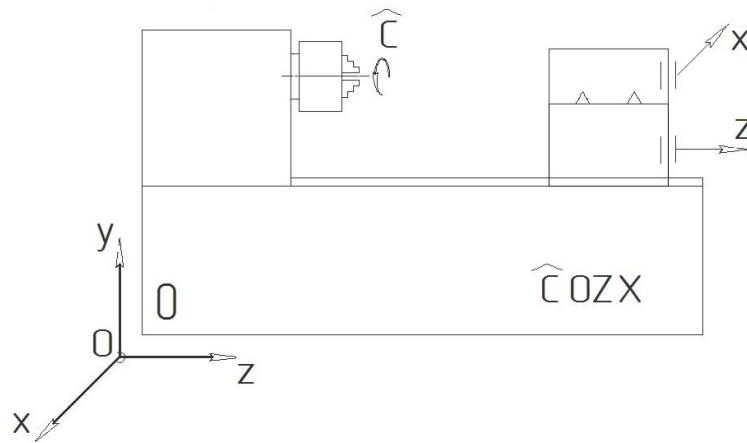


Рис.3.4,д. Варіант компоновки - C_h0ZX

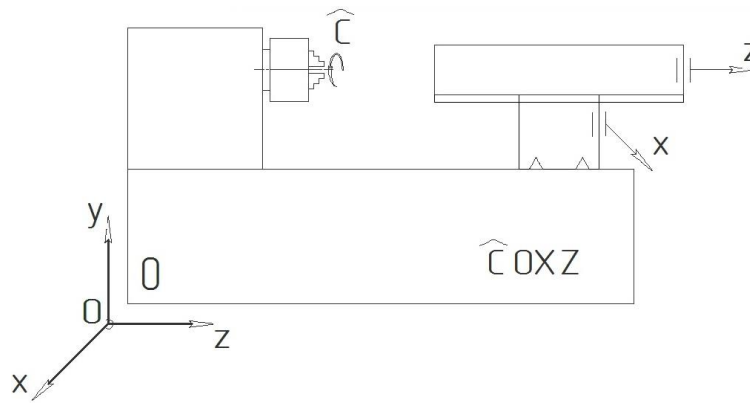


Рис.3.4,е. Варіант компоновки - C_h0XZ

Таким чином, є всі підстави провести оптимізований вибір раціональної компоновки токарного верстату у аспекті її горизонтального виконання.

Враховуючи характеристики деталі-представника, яка обробляється на прогнозованому токарному верстаті горизонтальної компоновки, маємо певний комплекс умов, які накладаються на систему. Ці умови в тому числі враховують нераціональність використання деяких компоувальних рішень розглядуваних схем верстатів.

Зокрема, на точність деталі-представника, яка обробляється, дуже суттєво впливає підвищення стійкості масових характеристик елементів компоновки за характером їх розміщення в компоновці верстату.

Призначимо, що це є першою умовою. Така умова викликана величинами координатних переміщень елементів компоновки. Таким чином, залежно від величини ходу відповідного блока залежить його розміщення стосовно до стаціонарного блока – ближче, чи далі від нього. Як правило, для випадків токарної обробки типових деталей застосовують умову: $Z \gg X$.

Така умова звичайно означає, що блок, якому надають переміщення вздовж осі Z повинен бути сусіднім (примикати) до стаціонарного блока. Тим самим у розглядуваному нами випадку компоновки із структурними формулами C_hZX0 та C_h0XZ відсіюються.

Для деталей, які підлягають токарній обробці, важливим показником якості обробки, є також їх мінімальне значення відхилення від циліндричності. Тому для мінімізації цього показника, необхідно щоб блок задання заготовці головного обертового руху примикав до стаціонарного блока. Таким чином цей блок безпосередньо впливатиме на циліндричність оброблюваної деталі. В результаті наведеної процедури відбору відсіюється компоновки C_hXZ0 , C_hZ0X та C_hX0Z .

Таким чином, єдиною раціональною компоновкою токарного верстату шуканої горизонтальної компоновки виявляється компоновка із структурною формулою C_h0ZX (рис.2.4,д).

4. Оптимізація конструкційного рішення виконавчого вузла верстатного обладнання

4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчого вузла верстату

Проведемо розрахунок ряду частот обертання шпинделя, як виконавчого вузла верстату (приводу головного руху). Цей ряд повинен представляти собою геометричну прогресію. При цьому окремі значення частот обертання шпинделя встановимо згідно до геометричному ряду із знаменником $\varphi = 1.26$ (розрахунки виконувались з допомогою програми у середовищі Mathcad). Як початкові дані приймаємо $n_{\min} = 10$ і $z = 16$. В результаті маємо :

Кількість частот обертання шпинделя	$z = 16$
Мінімальна частота обертання шпинделя	$n_{\min} = 10$
Знаменник ряду частот обертання	$\varphi = 1.26$
Потужність на шпинделі (розрахункова)	$P = 2$ кВт.

На основі наведеного, визначаємо діапазон регулювання. При цьому $i = 16..1$:

$$R_1 = \varphi^{z-1} \quad (4.1)$$

$$R_1 = 32.03$$

Максимальну частоту обертання шпинделя n_{\max} можна розрахувати як:

$$n_{\max} = R_1 * n_{\min} \quad (4.2)$$

$$n_{\max} = 32.03 * 10 = 320$$

Встановлення конкретних значень частот обертання шпинделя проведемо за геометричним рядом:

$$n_i = n_{\min} \quad i = 16..1$$

Таким чином, можна встановити ряд частот шпинделя, застосовуючи вимоги нормалі верстатобудування Н ІІ-1:

$$n_1 * \varphi^{i-1} = \begin{pmatrix} 320.3 \\ 254.21 \\ 201.75 \\ 160.12 \\ 127.08 \\ 100.86 \\ 80.05 \\ 63.53 \\ 50.42 \\ 40.02 \\ 31.76 \\ 25.2 \\ 20 \\ 15.88 \\ 12.6 \\ 10 \end{pmatrix} \quad n_i = \begin{pmatrix} 315 \\ 250 \\ 200 \\ 160 \\ 125 \\ 100 \\ 80 \\ 63 \\ 50 \\ 40 \\ 31.5 \\ 25 \\ 20 \\ 16 \\ 12.5 \\ 10 \end{pmatrix}$$

Кращі умови для роботи зубчастих коліс забезпечують невеликі передаточні відношення, а, особливо, в області високих частот обертання. З практичного досвіду верстатобудування [19] більш компактну коробку швидкостей при додатковій умові її меншої маси можна отримати, коли в області вищих частот обертання будемо розміщувати більшу кількість передач. Найбільш раціональним варіантом при цьому з врахуванням того, що ми проектуємо привід із кількістю швидкостей $z = 16$, буде наступна структура, яка виразиться формулою:

$$Z = 16 = 4 * 2 * 2 \quad (4.3)$$

Відповідно до формули (4.3) будемо структурні сітки. На рис. 4.1 наведені теоретично можливі варіанти структурних сіток для обраного приводу. Під кожним варіантом сітки записана формула структури. При цьому над кожним полем зверху, відведеним для конкретної групової передачі, записані кількість передач, а також характеристики групи.

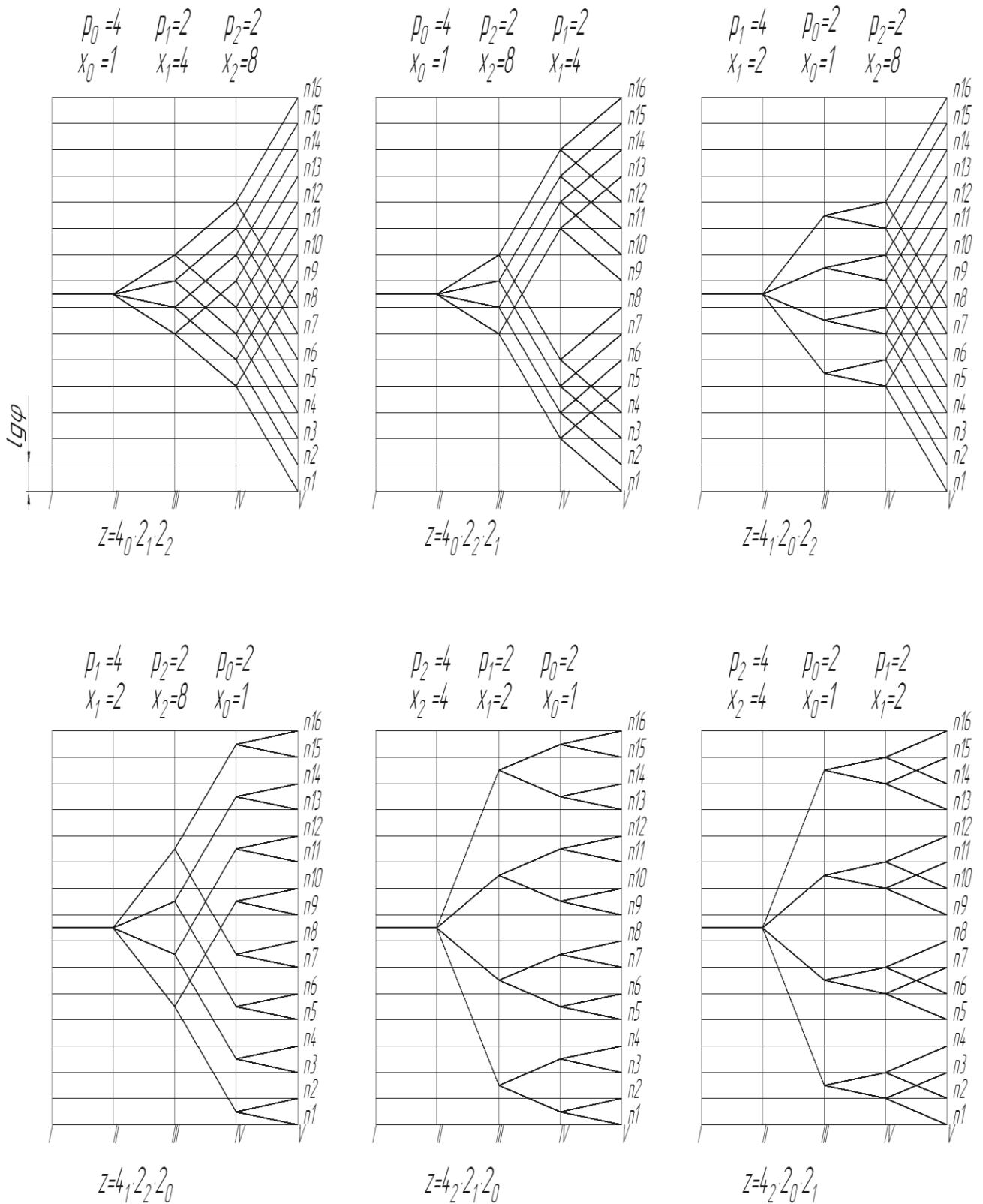


Рис. 4.1. Варіанти структурних сіток для обраного приводу головного руху

4.2. Оптимізаційний кінематичний розрахунок приводу. Обґрунтування кінематичної схеми

Наведені варіанти структурних сіток слід оптимізувати, тобто вибрати найкращий варіант. Аналіз сіток показує, що перший варіант (рисунок 4.1) структурної сітки $Z = 16 = 4_0 * 2_1 * 2_2$ є найкращим, бо він більш економічний з точки зору масових характеристик [19].

Тому графік частот обертання будемо у відповідності з обраним варіантом. Побудову згідно з вимогами верстатобудування починаємо з останнього валу [19]. Відомо, що передаточне відношення будь-якої передачі визначається виразом ϕ^k . При цьому значення k з врахуванням того, що графік носить логарифмічний характер - число інтервалів. Ці інтервали вимірюються між горизонталями, які з'єднують конкретні точки частот обертання на сусідніх валах. Для передачі, що підвищує обертання $k > 0$, для передачі, яка понижає обертання $k < 0$, також при проведенні променів, що ілюструють передачі, враховуємо зазвичай граничні обмеження передаточних відношень для зубчастих прямозубих передач $\frac{1}{4} \leq i \leq 2$.

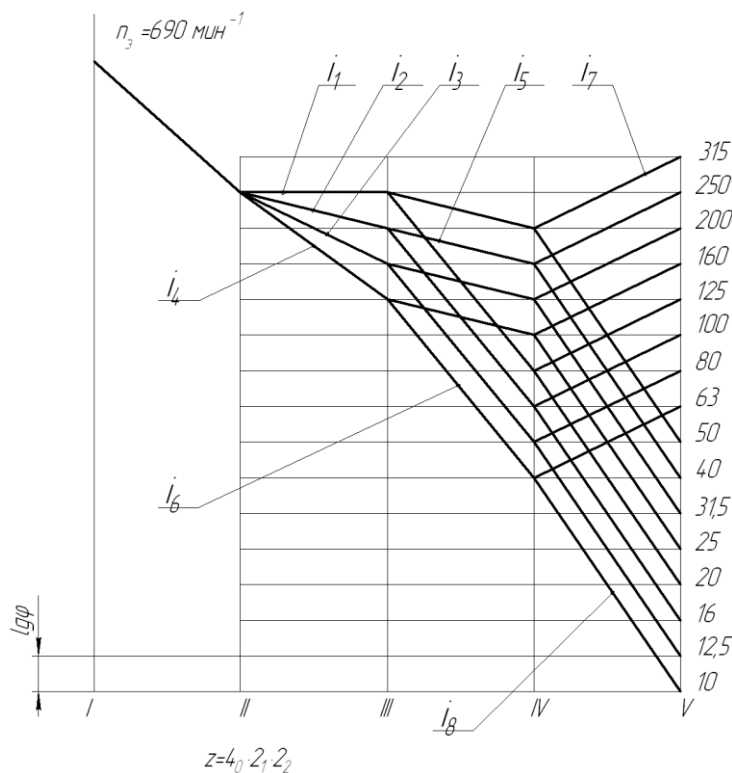


Рис. 4.2 Графік частот обертання шпинделя

Проведемо також розрахунок чисел зубів зубчастих коліс і відповідно суми зубів. Такий розрахунок в межах двовалової передачі проводимо за умови постійності міжцентрової відстані. Ця відстань для двох суміжних валів як правило вимірюється для випадків однакового модуля для всіх передач групової передачі. Числа зубів вибираємо згідно до відомої таблиці чисел зубів і згрупуємо у таблиці 4.1. В цій таблиці вказані вибрані передаточні відношення і числа зубів для зубчатих коліс проектного приводу.

Таблиця 4.1

Передаточні відношення і числа зубів зубчатих коліс в проектованій коробці швидкостей

група	блок	передача	i , розр.	i , станд.	i , фактич.	ΣZ	$Z_{ш}, D1$	$Z_{к}, D2$
0	0	0	2,76	2,82	2,76		125	345
1	1	1	1	1	1	54	27	27
		2	1,25	1,26	1,25	54	24	30
	2	3	1,5625	1,58	1,57	54	21	33
		4	2	2	2,00	54	18	36
2	3	5	1,25	1,26	1,27	75	33	42
		6	3,13	3,16	3,17	75	18	57
3	4	7	1,575	1,58	1,57	90	35	55
		8	4,00	3,98	4	90	18	72

Таким чином, можна розрахувати коефіцієнт ККД приводу η_n :

$$\eta_n = \eta_{p,n} + \eta_{z,n}^n + \eta_{n,k}^m, \quad (4.4)$$

де $\eta_{p,n}$ - ККД пасової передачі;

$\eta_{z,n}$ - ККД зубчатої передачі;

$\eta_{n,k}$ - ККД підшипників кочення;

n – кількість зубчатих передач;

m – кількість пар підшипників кочення.

Отже, маємо,

$$\eta_n = 0.97 * 0.975^3 * 0.99^4 = 0.86$$

Переходимо до визначення крутних моментів, які прикладені до валів проектованого приводу [20]:

$$T_i = \left(30 * \frac{P_i}{\pi * n_i} \right) * 10^3, \text{ де} \quad (4.5)$$

T_i – крутний момент на i -ому валу, $Нм$;

P_i – потужність на i -ому валу, $кВт$;

n_i – частота обертання i -го валу, $об/хв$.

$$P_i = P_k * \eta_i, \text{ де} \quad (4.6)$$

P_k – потужність на попередньому валу, $кВт$;

η_i – ККД передач до даного валу.

$$n_i = n_k * i_i, \text{ де} \quad (4.7)$$

n_k – частота обертання попереднього валу, $об/хв$;

i_i – передаточне відношення i -ого валу.

Таким чином, визначимо потужності, що діють на валах приводу:
(4.8)

$$P_1 = P_{\partial s} * 0.97 * 0.99^2 \quad P_1 = 2.85 \text{ кВт}$$

$$P_2 = P_1 * 0.975 * 0.99^2 \quad P_2 = 2.73 \text{ кВт}$$

$$P_3 = P_2 * 0.975 * 0.99^2 \quad P_3 = 2.6 \text{ кВт}$$

$$P_4 = P_3 * 0.975 * 0.99^2 \quad P_4 = 2.49 \text{ кВт}$$

$$n_{min} = 10 \quad n_{max} = 315$$

$$n_{розрв} = n_{min} * \sqrt[4]{\frac{n_{max}}{n_{min}}} \quad (4.9)$$

$$n_{розрв} = 23.69$$

Найближче $n_{розрв} = 25 \text{ хв}^{-1}$

Найближче $n_{розрв} = 63 \text{ хв}^{-1}$

Найближче $n_{розрв} = 160 \text{ хв}^{-1}$

$$n_1 = 250 \text{ хв}^{-1}$$

$$T_1 = 9550 * \frac{P_1}{n_1} \quad (4.10)$$

$$T_1 = 108.95 \text{ Н} * \text{м}$$

$$T_2 = 9550 * \frac{P_2}{n_{\text{розриву}}} \quad T_2 = 162.68 \text{ Н} * \text{м}$$

$$T_3 = 9550 * \frac{P_3}{n_{\text{розриву}}} \quad T_3 = 394.8 \text{ Н} * \text{м}$$

$$T_4 = 9550 * \frac{P_4}{n_{\text{розриву}}} \quad T_4 = 950.72 \text{ Н} * \text{м}$$

В результаті розраховуємо фактичні частоти шпинделя

Таблиця 4.2

Фактичний ряд частот шпинделя

ni, факт	ni, розр	Δ, %
308,7	320,0	3,5
246,9	254,0	2,8
196,4	202,0	2,8
154,3	160,0	3,5
124,1	127,0	2,3
99,2	101,0	1,7
78,9	80,0	1,3
62,0	64,0	3,1
49,1	50,0	1,8
39,3	40,0	1,8
31,3	32,0	2,3
24,6	25,0	1,8
19,7	20,0	1,3
15,8	16,0	1,3
12,6	13,0	3,4

В результаті розробляємо приблизну кінематичну схему коробки швидкостей

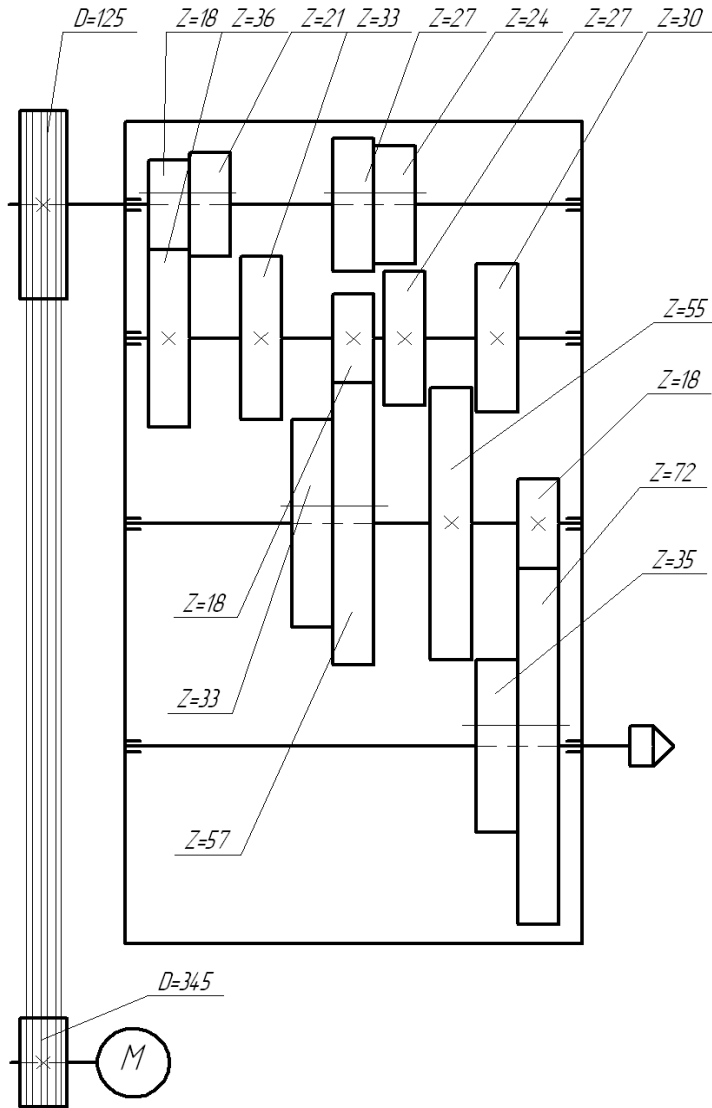


Рис. 4.3. Кінематична схема коробки швидкостей $Z_{кш} = 16$

4.3. Розрахунок потужності і вибір типу двигунів

Розрахуємо потужність електродвигуна. При цьому враховуємо потужність, яка використовується на різання. Тоді мінімальна потужність електродвигуна розраховується за формулою :

$$N_{\partial\epsilon} = \frac{P}{\eta_n} \quad (4.11)$$

$$N_{\partial\partial} = 2.32 \text{ кВт}$$

По бібліотеці електродвигунів вибираємо електродвигун 4AIP12MB8

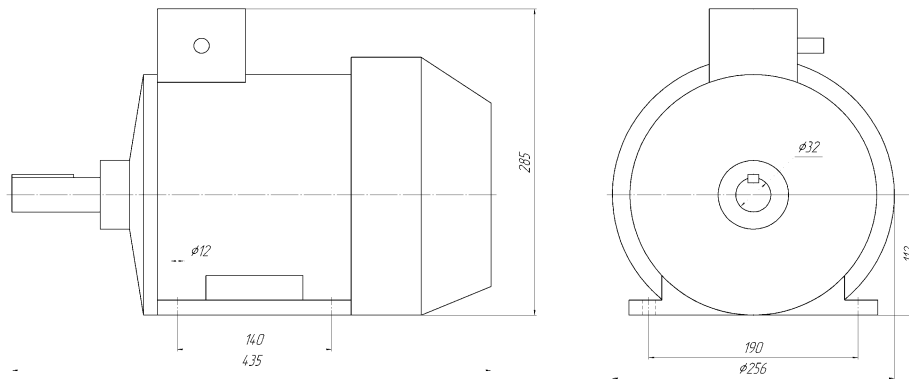


Рис. 4.4. Схема електродвигуна 4AIP12MB8

Наведемо деякі необхідні відомості:

співвідношення моментів на валу (приблизно): $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}=2$,
 $M_{\text{макс}}/M_{\text{ном}}=2.2$, $M_{\text{мін}}/M_{\text{ном}}=1.6$,

кліматичне виконання У2 ,У3 , Т2 по ГОСТ 15150

частота обертання вала $n = 690$ об/хв.

Розроблена нами кінематична схема приводу, а також варіант конструкції коробки швидкостей наведені на листах графічної частини.

5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.

Оптимізаційне дослідження режимів токарного оброблення

5.1. Поняття про систему різання та її оптимізацію

Будь яку систему можна сформулювати як сукупність чи комплекс певних елементів і зв'язки між ними. При цьому ці елементи є взаємопов'язаними і утворюють певну цілісність [1]. На характер елементів і тип системної цілісності жодні обмеження не накладаються. Система загалом є створеною зі скінченої множини елементів, і вона підпорядкована певним правилам. Для кожної системи властиві такі характеристики як структура і параметри.

Структуру системи формують сукупність елементів, що входять до складу системи. Для системи різання металу укрупненими елементами можна вважати лезо (леза) інструментального оснащення, заготовку (яка встановлена на верстаті) і стружку, які знаходяться у взаємозв'язку і взаємовпливі. Параметри системи – це характеристичні ознаки, які відрізняють дану систему від сукупності її подібних.

Кожна система створюється для задоволення певних цілей чи мети. Мета системи різання може бути встановлена відповідно до визначення поняття процесу різання (при спостереженні його ієрархічної побудови як підсистеми технологічної операції). Як відомо [21] різання – це утворення нових поверхонь шляхом відділення шару металу з утворенням стружки. Така мета відповідає одному технологічному переходу. Іншими словами, цю мету можна сформулювати як зняття максимально можливого шару металу, виходячи з того, що процес різання виступає як спрямоване руйнування матеріалу для утворення нової поверхні.

Виходячи із наведених міркувань можна сформулювати дерево цілей системи різання в рамках однієї операції, яке проілюструємо з допомогою рис. 5.1.

Очевидним є те, що вже на цьому загальному рівні ми маємо справу із забезпеченням як економічних цілей, так і цілей технічного характеру. Це і є передумови оптимізації системи різання.

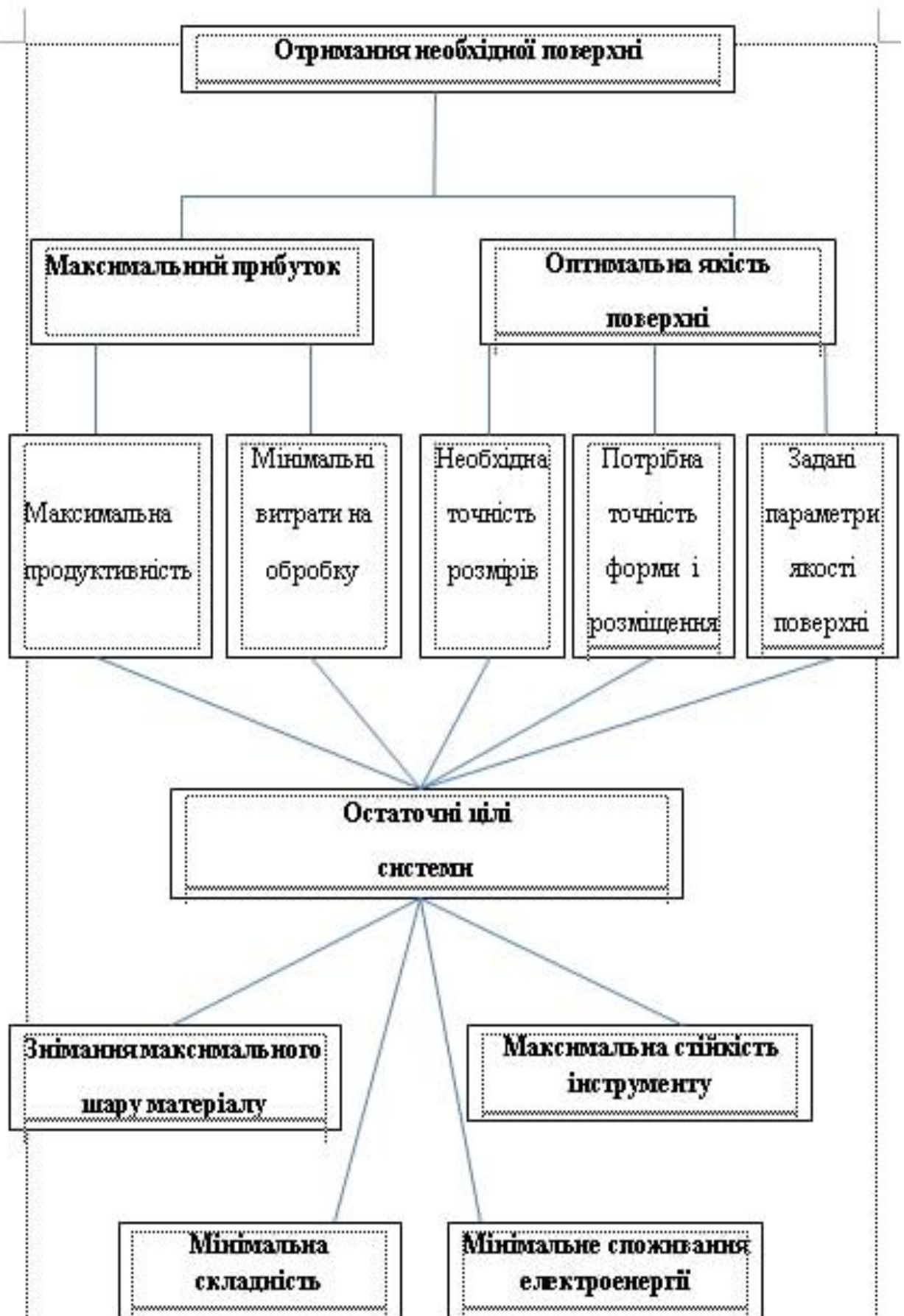


Рис. 5.1. Дерево цілей системи різання

Так, економічною вимогою є досягнення мінімальних витрат і також максимальної продуктивності при обробленні поверхні деталі.

В той же час необхідно забезпечити оптимальну якість оброблюваної деталі та її поверхні, а саме – необхідну точність розмірів, потрібну точність форми і розміщення поверхні, необхідну якість поверхні та її поверхневого шару та інші.

Таким чином, можна сформулювати остаточні цілі системи різання [22]: знімання максимального шару матеріалу; максимальна стійкість інструменту; мінімальна складність елементів системи; відповідно – мінімальне споживання електроенергії.

Система різання існує при певному положення її елементів, а також при певних траєкторіях і параметрах їх руху. Взаємодія елементів між собою відбувається шляхом виконання механічної роботи і передачі теплової енергії. Поряд з цим все це формується зовнішніми взаємодіями з металорізальним комплексом, який в свою чергу є елементом технологічної операції.

Оптимізація умов функціонування системи різання [22], тобто пошук оптимальних умов такого функціонування, є однією з найбільш розповсюджених проектних задач.

В загальному, їх можна розглядати як задачі структурної оптимізації (тобто оптимізації структурної побудови системи), так і параметричної оптимізації (тобто оптимізації параметрів системи різання при вже її встановленій структурі). Найбільш розповсюдженим, простішим, і таким, що піддається алгоритмізації, є параметричний підхід.

Параметричною оптимізацією прийнято вважати пошук набору параметрів системи однієї структури, який забезпечує оптимальний розв'язок даної задачі серед інших допустимих розв'язків для розглядуваної системи. Використовуючи процедури параметричної оптимізації можна також порівнювати технічні системи різної структури на основі проведення аналізу щодо оптимальних варіантів для різних структур [1].

5.2. Математичне моделювання задач параметричної оптимізації

У більшості математичних моделей оптимізація виступає як розв'язок екстремальної задачі, тобто задачі на екстремум. При цьому існуючі обмеження, які накладаються на систему повинні мати характер нерівностей, або ж рівностей [1, 2, 3, 5]. В оптимізаційних моделях визначені характерні принципи розв'язків. Вони полягають в тому, що у визначеній області параметрів за допомогою певного математичного методу провадиться пошук комбінації параметрів, які відповідають найкращому значенню цільового критерію. При цьому відомо, що цільовий критерій, який також називають критерієм мети, чи критерієм оптимізації формулюється як цільова функція, для якої слід знаходити екстремальне значення [23]. По-друге, слід мати на увазі, що вказана область значень утворюється крайніми граничними умовами. Ці умови носять характер обмежень. Таким чином, всередині визначеної за допомогою обмежень області знаходяться допустимі значення, які можуть виявитись екстремальними, що означає – найкращими.

В загальному вигляді математичну постановку задачі параметричної оптимізації можна сформулювати у вигляді, що викладений нижче [1, 3].

Позначимо незалежні внутрішні параметри, які однозначно виражають всі характеристики технічної системи як:

$$\bar{X} (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де \bar{X} – вектор незалежних параметрів; n - їх кількість. Ці ж параметри також визначають значення цільової функції (функції мети E) та рівняння, що описують обмеження (в загальному $-F_1, F_2, \dots, F_m$). Рівняння функції мети і функцій обмежень в загальному випадку залежать від параметрів нелінійно.

Формальна постановка задачі оптимізації полягає в знаходженні такого набору параметрів $\bar{X}_{\text{опт}}$, при яких цільова функція $E(\bar{X}_{\text{опт}})$ досягає екстремуму (мінімуму, чи максимуму) [1]. Геометрично можна проілюструвати постановку задачі оптимізації при двопараметричній задачі так, як показано на рис. 5.2.

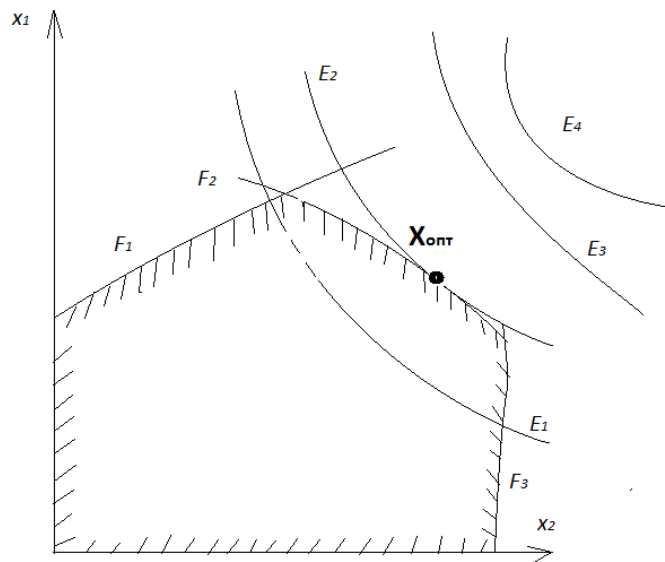


Рис. 5.2 Геометрична інтерпретація вирішення задачі оптимізації

На рис. 5.2 показано, що нерівності обмежень, які накладені на систему через ряд факторів, утворюють певну область допустимих рішень. Ця область помічена літерою Д. Різні значення цільової функції E проілюстрована лініями постійного рівня цієї функції. В кожній точці однієї такої лінії функція мети приймає одне і те ж значення, що дорівнює постійній величині, тобто $E_k(x_1, x_2) = const$, де k – кількість значень постійного рівня цільової функції. В зазначеному на рис. 5.2 варіанті лінія постійного рівня цільової функції приймає такі значення, що $E_1 > E_2 > E_3 \dots$ Таким чином, можна побачити на наведеному рисунку, що шуканий мінімум цільової функції знаходиться у точці з координатами $\bar{X}_{\text{опт}}(x_1^{\text{опт}}, x_2^{\text{опт}})$. Визначений нами таким чином мінімум є умовним, а наведена оптимізація теж є умовною, бо пошук проведено із врахуванням обмежень, що накладені на систему.

Най вагомішим фактором щодо моделювання оптимізаційної задачі є питання вибору функції мети.

Це може бути якийсь один критерій, а може бути і сукупність критеріїв – себто характеристик, які визначають якість технічної системи. Як правило, його позначають як вектор вихідних характеристик:

$$\bar{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_s).$$

Окремими вихідними характеристиками при цьому є техніко-економічні показники технічної системи. Серед них, як правило, виділяють такі, як продуктивність, точність, металоємкість. Задачі, в яких пошук здійснюють за одним критерієм прийнято називати однокритеріальною оптимізацією, а у випадку пошуку за багатьма критеріями – багатокритеріальною оптимізацією.

5.3. Економічні і технічні передумови оптимізаційного дослідження процесів різання

Економічні і технічні передумови є основою для оптимізації при різанні металів [23]. У таких зв'язках щодо розглядуваної системи відображені закономірності як теорії різання металів, так і її практичного застосування. Тому для оптимізації процесу різання повинні бути знайдені загальні функціональні залежності певних технічних і економічних характеристик від режимів оброблення.

Вказані залежності повинні бути найбільш характерними для відповідної специфічної сутності певного способу обробки.

Методика пошуку підходів до оптимізації може бути різноманітною і базуватись, зокрема, на послідовному переборі і оцінці різних методів [24]. При цьому можуть бути задіяні різні варіанти задачі пошуку необхідної обробки і доцільним є вибір оптимального методу.

Множину різних варіантів можна звести до трьох методів: 1) за одним параметром із множини його значень, тобто вирішення задачі оптимізації на екстремум; 2) за оптимальною комбінацією значень декількох параметрів при заданому критерії оціночної функції чи функції мети; 3) на основі аналізу множини умов. Найбільш доцільним для використання є другий варіант, інтерпретацію якого представлено у розділі 5.2.

Таким чином, процедура пошуку при оптимізації різання стосовно його режимі мала б охоплювати ряд етапів. Серед них слід виділити такі:

1) встановлення границь технологічної системи різання, в рамках яких слід здійснювати оптимізацію, тобто формування технічних обмежень системи;

2) визначення функції мети, тобто критерію оптимізаційного дослідження у його кількісному вираженні (такий критерій є основою перебору і аналізу варіантів з метою знаходження найкращого);

3) математичне моделювання системи різання щодо оптимізаційної задачі, яке б враховувало весь необхідний спектр незалежних параметрів у їх взаємозв'язку із виразами для цільової функції і функціональними залежностями для нерівностей, що описують накладені на систему обмеження.

В даній постановці розглядаємо застосування оптимізацію процесу різання для випадку токарної обробки.

Можливість і необхідність оптимізації при токарній обробці знайшли широке застосування. Це пояснюється тим, що процеси токарної обробки є найбільш застосовуваними в машинобудуванні.

Для застосовуваних при точінні верстатах характерний досить високий ступінь автоматизації. Це стосується як верстатів з ЧПК, так і верстатів з адаптивним керуванням. Таке дороге обладнання приносить вагомий ефект лише за його інтенсивного використання. Використання числового програмного керування призвело до скорочення невиробничих витрат, допоміжного часу, а також підготовчого і заключного часу (налагодження інструментів поза верстатом, програмування поза верстатом та інше). В процентному відношенні для верстатів з ЧПК основний час складає вдвічі більшу долю порівняно із верстатами із ручним керуванням [23].

Окрім цього, токарна обробка є основою для всіх інших методів обробки і результати отримані при оптимізації точіння можна застосувати і у інших випадках.

5.4. Мета, предмет, об'єкт і задачі наукового дослідження

Метою даного дослідження є забезпечення підвищення ефективності токарної обробки на верстатах горизонтальної компоновки на основі оптимізації режимів процесу різання

Об'єкт дослідження - процеси токарної обробки на верстатах горизонтальної компоновки і їх вплив на техніко-економічні показники

Предмет дослідження – регульовані параметри режимів обробки на токарних верстатах горизонтальної компоновки

Для виконання зазначеної мети в дипломній роботі магістра поставлені до виконання такі **задачі дослідження**:

1. Аналіз існуючих методів і засобів оптимізації процесу токарної обробки.
2. Визначення основного оціночного критерію оптимальності – цільової функції на основі встановлення закономірностей між техніко-економічними характеристиками і елементами режиму процесу різання.
3. Встановлення сукупної послідовності внутрішніх незалежних параметрів процесу різання
4. Побудова математичної моделі оптимізації елементів режиму різання при чорновій токарній обробці
5. Аналітико-геометричний розв'язок оптимізаційної задачі
6. Математичне моделювання з врахуванням вібростійкості процесу різання

5.5. Встановлення закономірностей між техніко-економічними характеристиками та елементами режиму процесу різання

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки першочергове значення надається забезпеченню високої економічності процесу обробки, тобто досягненню його найважливіших економічно вигідних показників. Цим визначається змістовне наповнення математично-прикладної постановки задачі такої оптимізації – знаходження серед безлічі технічних варіантів такого, що визначає позитивно вирашений економічний результат. Така задача є багато структурною, багатокритеріальною і багатоваріантною водночас.

Перш за все вона звичайно поділяється на маршрутну, операційну та внутрі-операційну складові. Припустимо, що вибір технологічного маршруту вже обраний. Але і тоді постає невирішеним питання навіть лише застосування якогось одного методу обробки. Наприклад, при використанні токарного оброблення, зокрема, деталі типу «вал», вирізняється задача розподілу даного застосування на дві операції – чорнової та чистової обробки, які можливо, слід виконувати з використанням різного обладнання. Зрозуміло, що сам вибір такого обладнання є неоднозначним. Адже від цього в значній мірі залежить розподіл припусків на обробку.

Таким чином, стосовно до токарної обробки (наприклад валів) наближено можна говорити про такі етапи раціонального пошуку оптимального складового елемента технологічного процесу обробки: а) розподіл припусків; б) оптимізація силового режиму чорнового точіння; в) досягнення високої якості поверхні при чистовому обробленні; г) забезпечення високого рівня працездатності технологічної системи верстат (шпиндель, затискний пристрій, спосіб закріплення), оброблювана заготовка (попередні операції, конструкція, матеріал), супортна група з інструментальним оснащенням (різальна частина, її геометрія, кріплення, елементи адаптації, тощо), д) досягнення надійного запасу динамічної стійкості такої системи.

Проведений аналіз показує необхідність застосування системного підходу до процесу пошуку оптимального рішення. В загальному випадку такий пошук є неоднозначним процесом, який не завжди піддається алгоритмізації, та потребує як послідовності виконання, так і функціонування зворотних зв'язків між елементами та етапами оптимізації.

Роботами багатьох поколінь вчених та інженерів-технологів забезпечений розвиток окремих задач пошуку оптимального вирішення технологічного процесу обробки. Найважливішими з них є визначення штучного технологічного часу чи штучної продуктивності. При цьому їх слід віднести до основних факторів, що визначають економічні показники, що безпосередньо призводить до рішення про оптимізацію елементів режимів різання, як найважливішого етапу раціонального проектування оптимального технологічного процесу.

При оптимізаційних дослідженнях процесу різання при токарній обробці слід перш за все в'яснити вплив елементів режиму процесу різання на досягнення основних техніко-економічних показників. Основними серед цих показників є собівартість деталі і продуктивність обробки.

Відомо, що собівартість деталі складається із невиробничих витрат, вартості машинного часу, вартості часу за заміну інструмента, вартості інструмента, у відношенні до однієї деталі і вартості матеріалу [25]. У роботі [22] показано, що таку характеристику можна представити у вигляді

$$B = x \left(T_1 + T_M + \frac{T_M T_3}{T} \right) + y \frac{T_M}{T} + B_5,$$

де x – вартість однієї хвилини використання обладнання; y – вартість інструменту у відношенні до одного різального леза; T_1 – повний час простою; T_M – машинний час обробки однієї деталі; T – стійкість інструменту; T_3 – час, затрачений на заміну інструменту; B_5 – вартість матеріалу.

Із цього рівняння випливає, що собівартість деталі може бути знижена завдяки зменшенні часу на простої та на заміну інструментів. Вказані величини знаходяться поза процесом різання і не входять до системи різання. Поза процесом різання і його системою знаходиться також і вартість хвилини використання обладнання.

Хоча вартість інструменту і оброблюваного матеріалу і відносяться до системи різання, але проте процесі різання на них не впливає і їх можна вважати сталими величинами.

В той же час стійкість інструмента і машинний час на обробку (основний час) повністю залежать від системи різання і процесу різання.

В результаті зміни цих величин істотно змінюється собівартість деталі як критерій оптимізації.

Таким чином, зниженню основного часу і збільшенню періоду стійкості різального інструменту слід приділяти істотну увагу.

Тому слід дослідити як режими різання впливають на основний машинний час.

На основі даних, наведених у праці [23] можна побудувати діаграму, яка характеризує склад основного часу у порівнянні до токарного верстату із ручним керуванням і до верстату із ЧПК (рис. 5.3).

Отже, при застосуванні програмно керованого обладнання, яке дозволило збільшити долю основного часу в загальній структурі часу на обробку до більше 55% особливо суттєвим є застосування оптимізації процесу.

Рациональний поділ припуску при різних проходах вирішується за рахунок застосування методу динамічного програмування або ж раціональними положеннями попереднього інженерного досвіду(глибина різання на першому проході – найбільша, а на останньому – хоча б неменша за попередні і т.д.

ТОКАРНІ ВЕРСТАТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ

Токарні верстати з
ручним
керуванням

Токарні верстати
з ЧПК

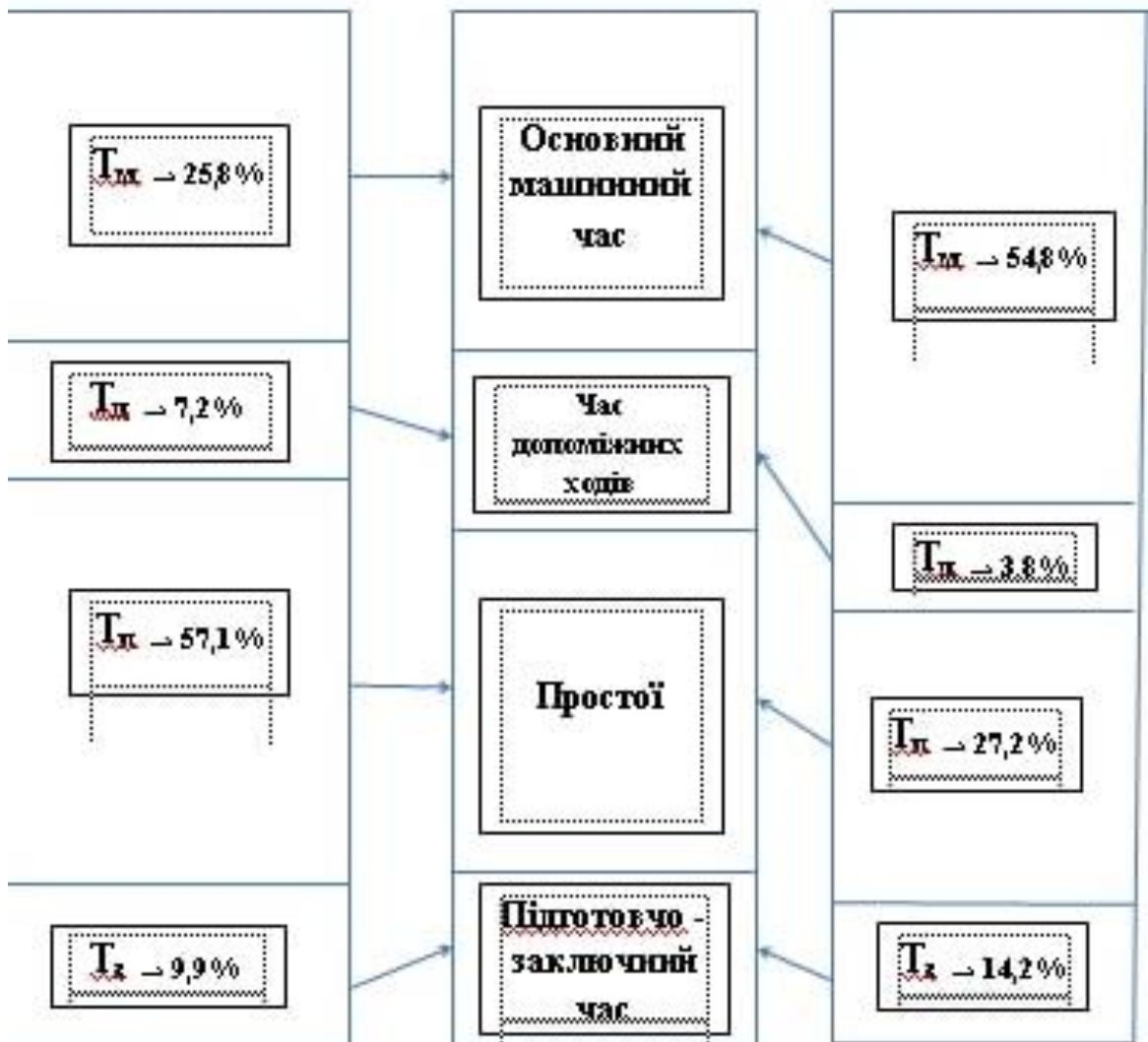


Рис. 5.3. Доля основного часу для токарних верстатів горизонтальної
КОМПОНОВКИ

Бачимо, що скорочення основного машинного часу є основним для зменшення собівартості оброблюваної деталі.

Якщо позначити величини, які є незалежними від умов функціонування системи різання якоюсь константою C , то зв'язок між собівартістю обробки та машинним часом і стійкістю інструменту можна представити функцією:
 $V = fun(C, T_m, T)$.

Величини T і T_m є характеристиками системи різання, причому стійкість інструментів та машинний час між собою пов'язані.

Розглянемо також характеристику продуктивності різання. Продуктивність різання є оберненою величиною до штучного часу, і тому її можна записати

$$Pr = \frac{1}{T_1 + T_m + T_3 \frac{T_m}{T}}$$

Отже, можна зробити висновок, що продуктивність зростає із зменшенням штучного часу, а також у випадку зростання стійкості різання.

Позначимо у цій формулі параметри, що не залежать від процесу різання як $C1$. Тоді отримаємо формулу

$$Pr = fun(C1, T_m, T)$$

5.6. Встановлення послідовності параметрів елементів режимі різання як передумова оптимізації процесу токарної обробки

Встановимо відомі залежності для машинного часу і стійкості інструментів у їх взаємозв'язку із елементами режиму різання при точінні для їх використання аналізу у наведених вище формулах для продуктивності різання.

Перш за все запишемо формулу для машинного часу [10]:

$$T_m = \frac{\pi L d}{1000 v s'}$$

де L і d – довжина деталі та її діаметр; s і v – подача на оберт та швидкість різання при точінні.

Можна бачити, що збільшення швидкості різання та подачі призводять до зменшення машинного основного часу і відповідно збільшення продуктивності обробки.

Досить істотним є відоме положення [21] про оптимальне визначення швидкості різання при обробці залежно від визначеного раціонального періоду стійкості різального інструменту, особливо при застосуванні при обробці швидкорізальних сталей, хоча в даний час при використанні дорого вартісного нового сучасного обладнання із ЧПК, а особливо при обробці на оброблювальних центрах, з врахуванням застосування змінних непереточуваних пластин із твердих сплавів, такий підхід не є визначальним. Поряд з цим, з відомої формули для швидкості різання можна показати, що

$$T = \left(\frac{C_v K_v}{v t^{x_v} s^{y_v}} \right)^{\frac{1}{m}}$$

де C_v і K_v – коефіцієнти при швидкості різання, а x_v і y_v – показники степені при глибині різання і подачі.

Наведене формула показує, що на продуктивність різання негативно впливає зменшення стійкості різання, яка в свою чергу зменшується при зростанні глибини різання, а також при збільшенні швидкості різання і подачі. З цього видно, що з точки зору економічності для системи різання необхідно вибирати дешеві, але найбільш придатні за умовами різання матеріали, які дозволяють забезпечити максимальну стійкість леза.

Отже, можна отримати комплексну залежність стосовно продуктивності обробки:

$$Pr = \frac{1}{T_1 + \frac{\pi L d}{1000 v s} + T_3 \frac{\pi L d}{1000 v s} \frac{1}{\left(\frac{C_v K_v}{v t^{x_v} s^{y_v}} \right)^{\frac{1}{m}}}}$$

Якісний характер впливу елементів режимів різання на продуктивність Pr різання і стійкість інструментів T представлено на рис. 5.4.

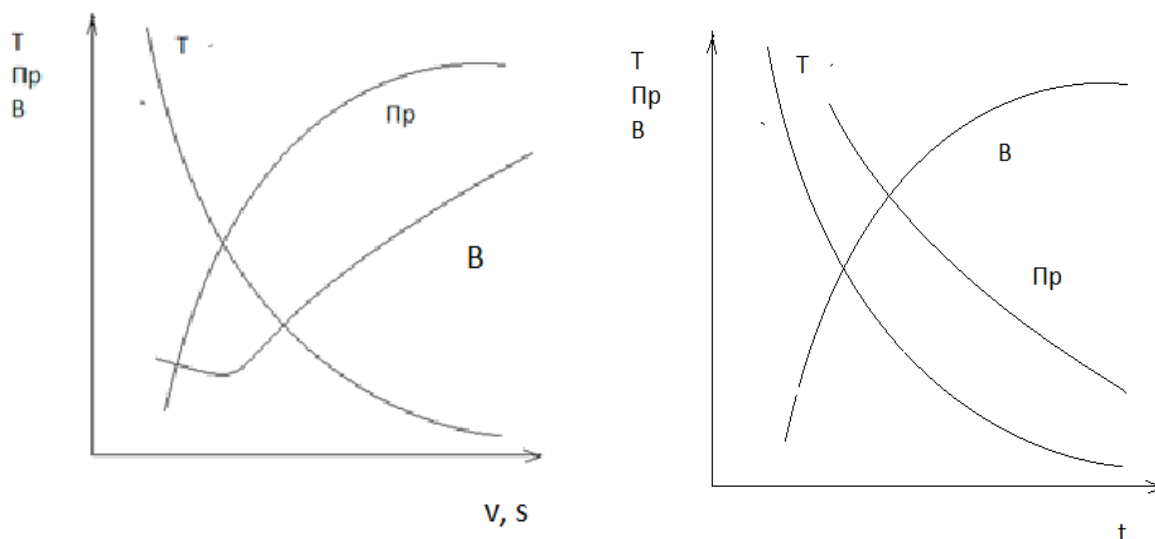


Рис. 5.4. Якісний характер впливу швидкості різання (а) і подачі (б) на продуктивність різання і стійкість інструменту

Аналіз отриманих залежностей показує, що вимагається кваліфіковане визначення найкращих значень технологічних параметрів обробки.

Технологічні параметри обробки визначаються заданою технологічною задачею і обраними технологічними засобами.

При цьому частина параметрів верстата, його затискних пристроїв та інструментальної обробної системи задані конструктивно. Отже вони не піддаються регулюванню в процесі обробки і є нерегульованими вхідними величинами процесу обробки.

Інші частина параметрів вважаються такими, що є регульованими в певній області, дек вони можуть бути обраними вільно. Ці параметри є власне технологічними режимами (глибина різання, швидкість різання і подача), які дозволяють адаптувати обробку до заданої технологічної задачі і є безпосередньо предметом оптимізації. Оскільки швидкість різання

безпосередньо визначається частотою обертання шпинделя верстату, то до аналізу слід долучити саме цю величину.

Таким чином, під оптимізацією процесу обробки слід розуміти власне визначення найкращих параметрів режиму обробки.

Отже, в результаті, необхідність істотного збільшення продуктивності обробки при врахуванні раціонального поділу припуску, тобто, при оптимальному значенні глибини різання t , призвела до пошуку оптимальних режимів обробки за критеріями максимізації добутку ns (n – частота обертання шпинделя; s – подача на один оберт).

В подальшому для випадку чорнкової обробки дуже важливим є перевірка отриманого оптимального режиму різання на вібростійкість.

В той же час для випадку чистової обробки слід проводити окреме оптимізаційне дослідження, оскільки основним обмежувальним критерієм при чистовій обробці часто є забезпечення необхідної шорсткості і мінімальної хвилястості оброблюваної поверхні.

Проте у всіх випадках доцільно спинитись на оптимізації факторів частоти обертання і поздовжньої подачі

Таким чином, оптимізаційна задача може бути зведена до її плоскої постановки.

5.7. Побудова математичної моделі оптимізації елементів режиму різання при чорновій токарній обробці

Таким чином, ми визначили, що оптимізацію при чорновій токарній обробці слід проводити орієнтуючись на максимально можливу продуктивність, що адекватно добутку $n \cdot s$. Наступним етапом є побудова системи обмежень. Скористаємось інформацією, наведеною в [5, 6].

В основному при цьому обмеження, що формують область визначення функції мети були сформульовані в такому вигляді: 1) за різальними можливостями інструменту; 2) за потужністю руху різання; 3) за допустимим зусиллям приводу подачі; 4) за міцністю державки різця; 5) за міцністю

різальної пластини; 6-9) за граничними значеннями подачі і частоти обертання шпинделя верстату.

5.7.1. Формування обмежень, що стосуються різальних можливостей інструменту

Для формування цих обмежень скористаємось відомою формулою [26], яка стосується вибору раціонального значення швидкості різання в залежності від стійкості різального інструменту:

$$v = \frac{C_v K_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}},$$

де C_v – коефіцієнт при швидкості різання; K_v – поправочний коефіцієнт; m – показник при періоді стійкості; x_v і y_v – показники степені при глибині різання та подачі.

Зважаючи на те, що [21],

$$v = \frac{\pi d n}{1000},$$

Умову обмеження за різальними властивостями інструменту можна представити у вигляді:

$$n s^{y_v} \leq \frac{10^3 C_v K_v}{\pi T^m t^{x_v} d},$$

де d – діаметр обробки, мм.

5.7.2. Формування обмежень, що стосуються потужності головного руху, тобто руху різання

Відповідно до відомих з фізики залежностей маємо, що потужність різання можна обчислити так [21],

$$N_p = \frac{P_z v}{1020 * 60}.$$

Тангенціальну (головну) складову зусилля різання можна розрахувати за залежністю [26]

$$P_z = 9,81 * C_{Pz} t^{x_{Pz}} s^{y_{Pz}} v^{N_{Pz}} K_p,$$

де C_{Pz} – коефіцієнт при тангенціальному зусиллі різання; K_P – поправочний коефіцієнт; x_{Pz}, y_{Pz}, N_{Pz} – відповідні показники степені.

Враховуючи, що через втрати потужності у приводі головного руху

$$N = N_{дв} \eta \eta ,$$

де $N_{дв}$ – потужність головного електродвигуна, а η – коефіцієнт корисної дії приводу, можна легко прийти до нерівності, яка виражає обмеження щодо потужності руху різання:

$$n^{N_{Pz}+1} s^{y_{Pz}} \leq \frac{1000^{N_{Pz}+1} * 6120 * N_{дв} \eta}{C_{Pz} K_P (\pi d)^{N_{Pz}+1} t^{x_{Pz}}} .$$

Оскільки при чорновій токарній обробці можна прийняти, що $x_{Pz}=1$, а $N_{Pz}=0$, то вказану залежність можна представити у більш простій формі, а саме:

$$n s^{y_{Pz}} \leq \frac{2 * 10^6 * N_{дв} \eta}{C_{Pz} K_P d t} .$$

Саме цю нерівність використовуватимемо при подальшому аналізі.

5.7.3. Формування обмежень, що стосуються осьового зусилля при різанні, яке залежне від слабкої ланки приводу подачі верстату

При цьому матимемо на увазі, що така осьова складова сили різання P_x повинна бути меншою від максимально допустимого зусилля подачі, тобто

$$P_x \leq [P_{x_{вер}}] ,$$

де $[P_{x_{вер}}]$ – максимально допустиме для верстата зусилля по подачі.

Врахуємо, що осьова складова сили різання визначається на основі залежності [26]:

$$P_x = 9,81 * C_{Px} t^{x_{Px}} s^{y_{Px}} K_{Px} ,$$

де C_{Px} – коефіцієнт при осьовій складовій зусилля різання; K_{Px} – поправочний коефіцієнт; x_{Px}, y_{Px} – відповідні показники степені при глибині різання та подачі.

Таким чином, приходимо до нерівності

$$S^{y_{Px}} \leq \frac{[P_{x_{\text{вер}}}]}{9,81 * C_{Px} t^{x_{Px}} K_{Px}}.$$

З теорії різання відомо [21], що при токарній обробці в цілому виконується співвідношення:

$$P_x = 0,25P_z.$$

Тоді вище наведену нерівність з врахуванням того, що $x_{Pz}=1$, можна виразити так:

$$S^{y_{Px}} \leq \frac{[P_{x_{\text{вер}}}]}{2,45 * C_{Pz} t K_p}.$$

Таку нерівність доцільно застосовувати, бо при цьому посилаємось на показник степені при подачі, який вже використовувався стосовно інших обмежень.

5.7.4. Формування обмежень, що стосуються міцності державки різця

Використаємо відому формулу з опору матеріалів для визначення нормальних напружень при згині. Державка різця чинить опір згинним навантаженням при дії згинного моменту від тангенціальної складової зусилля різання, і при цьому виникають такі нормальні напруження [27]:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_c},$$

де $M_{зг}$ - момент згину від дії тангенціальної складової сили різання, а W_c – момент січення державки різця.

Такі напруження згину повинні бути меншими від допустимих напружень $[\sigma_{зг}]$, [27]. При цьому також використовують коефіцієнт запасу $K_{зап}$. Тоді приходимо до нерівності:

$$\frac{M_{зг}}{W_c} K_{зап} \leq [\sigma_{зг}].$$

Враховуючи, що момент згину дорівнює

$$M_{зг} = P_z l_p,$$

де l_p – довжина державки різця від місця різання до місця защемлення маємо

$$\frac{P_z l_p}{BH^2/6} K_{зап} \leq [\sigma_{зг}],$$

де B – ширина січення державки різця; H – висота січення державки різця.

Введемо позначення

$$A_p = \frac{BH^2}{6l_p},$$

яке характеризує власне параметри різця. Тоді, враховуючи вже зазначене рівняння для визначення тангенціальної складової сили різання, приходимо до нерівності, яка виражає обмеження за міцністю державки різця:

$$n^{N_{Pz}} S^{y_{Pz}} \leq \frac{1000^{N_{Pz}} [\sigma_{зг}] A_p}{9,81 * C_{Pz} K_P (\pi d)^{N_{Pz}} t^{x_{Pz}} K_{зап}}.$$

При цьому врахуємо, що як було наведено вище [26], $x_{Pz}=1$, а $N_{Pz}=0$. Тоді отримаємо спрощений вираз для зазначеної нерівності, а саме

$$S^{y_{Pz}} \leq \frac{[\sigma_{зг}] A_p}{9,81 * t C_{Pz} K_P K_{зап}}.$$

5.7.5. Формування обмежень, що стосуються міцності різальної пластини різця

Для алгоритмізації формування такого обмеження слід знати величини товщини пластини $A_{пл}$ і головного кута φ в плані різця. Тоді скористаємось нерівністю щодо обмеження тангенціальної складової зусилля різання по міцності пластини у вигляді [6]:

$$P_z \leq 9,81 * 34 * t^{x_{пл}} A_{пл}^{y_{пл}} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0,8}$$

де $x_{пл} = -0,77$, а $y_{пл} = 1,25$ відповідно до відомих даних експериментальних досліджень.

Знаючи, як представити тангенціальну складову зусилля різання, приходимо до обмежувального виразу щодо подачі, що враховує значення міцності різальної пластини різця:

$$S^{y_{Pz}} \leq \frac{34 * A_{пл}^{y_{пл}} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0,8}}{t^{(x_{Pz} + x_{пл})} C_{Pz} K_P},$$

або

$$S^{y_{Pz}} \leq \frac{34 * A_{пл}^{1,25} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0,8}}{t^{0,23} C_{Pz} K_P}.$$

5.7.6. Формування обмежень, що стосуються мінімальної подачі, що допускається приводом подач

Нерівність, що виражає обмеження, що допускається кінематикою відповідного верстату запишемо у вигляді

$$s \geq s_{min}.$$

5.7.7. Формування обмежень, що стосуються максимальної подачі, що допускається приводом подач

Нерівність, що виражає обмеження, що допускається кінематикою відповідного верстату щодо максимально можливої подачі запишемо у вигляді

$$s \leq s_{max}.$$

5.7.8. Формування обмежень, що стосуються мінімального значення чисел обертів шпинделя, що допускається верстатом

Нерівність, що виражає обмеження, що допускається кінематикою відповідного верстату для мінімальної кількості чисел обертів запишемо у вигляді

$$n \geq n_{min}.$$

5.7.9. Формування обмежень, що стосуються максимального значення чисел обертів шпинделя, що допускається верстатом

Нерівність, що виражає обмеження, що допускається кінематикою відповідного верстату для максимальної кількості чисел обертів запишемо у вигляді

$$n \leq n_{max}.$$

Таким чином, для випадку чорнової обробки на токарних верстатах горизонтальної компоновки маємо таку систему математичних виразів, які формують математичну модель:

А) функція мети:

$$n * s \rightarrow \max;$$

Б) нерівності обмежень:

$$\begin{aligned}
1) \quad n s^{y_v} &\leq \frac{10^3 C_v K_v}{\pi T^m t^{x_v} d}; \\
2) \quad n s^{y_{Pz}} &\leq \frac{2 * 10^6 * N_{дв} \eta}{C_{Pz} K_P d t}; \\
3) \quad s^{y_{Px}} &\leq \frac{[P_{x_{вер}}]}{2,45 * C_{Pz} t K_P}; \\
4) \quad s^{y_{Pz}} &\leq \frac{[\sigma_{зг}] A_p}{9,81 * t C_{Pz} K_P K_{зап}}; \\
5) \quad s^{y_{Pz}} &\leq \frac{34 * A_{пл}^{1,25} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0,8}}{t^{0,23} C_{Pz} K_P}; \\
6) \quad s &\geq s_{min}; \\
7) \quad s &\leq s_{max}; \\
8) \quad n &\geq n_{min}; \\
9) \quad n &\leq n_{max}.
\end{aligned}$$

Така модель якраз і дозволяє провести процедуру оптимізації режимів обробки про чорновому точінні.

5.8. Аналітико-геометричний розв'язок оптимізаційної задачі

Аналіз представленої вище моделі показує, що область допустимих рішень, яка формується на основі нерівностей обмежень, складається із обмежень по частоті обертання шпинделя n (нерівності (8, 9)); по подачі s (нерівності (3, 4, 5, 6, 7)), а також двох обмежень і по n і по s (нерівності (1 і 2)).

Щодо нерівностей, які обмежують найбільшу можливу подачу, то їх можна перетворити до системи, яка представлена у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
3a) \quad s &\leq \left(\frac{[P_{x_{вер}}]}{2,45 * C_{Pz} t K_P} \right)^{1/y_{Px}} = (s)_I; \\
4a) \quad s &\leq \left(\frac{[\sigma_{зг}] A_p}{9,81 * t C_{Pz} K_P K_{зап}} \right)^{1/y_{Pz}} = (s)_{II};
\end{aligned}$$

$$5a) s \leq \left(\frac{34 * A_{пл}^{1,25} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0,8}}{t^{0,23} C_{Pz} K_P} \right)^{1/y_{Pz}} = (s)_{III};$$

$$7a) s \leq s_{max} = (s)_{IV}.$$

Таким чином, всі вказані нерівності можна об'єднати в одну, що має вигляд:

$$s \leq \min(s) [(s)_I, (s)_{II}, (s)_{III}, (s)_{IV}].$$

Це означає, що найбільша можлива подача повинна бути меншою, ніж мінімальна із вказаних чотирьох подач.

В подальшому аналіз задачі проведемо на прикладі обробки деталі-представника – вал тихохідний.

Заготовка діаметром 50 мм із сталі 40Х ($\sigma_b=598$ Мпа [27]) обробляється на токарно-гвинторізному верстаті 16К20Ф3. Точіння – чорнове. Інструментом є різець з механічним кріпленням пластини із твердого сплаву Т15К6. Параметри різальної частини різця: $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=10^\circ$; $\gamma=10^\circ$; $A_{пл}=5$ мм, а параметри державки різця із сталі 45: розміри січення державки 25*25, виліт державки $l_p=25$ мм; $\sigma_{зг}=200$ Мпа [27].

Глибина різання $t=1,75$ мм, а стійкість інструменту $T=60$ хв.

Тоді, зважаючи на те, що згідно із [26] $C_v=340$; $x_v=0,15$ і $y_v=0,45$, а $m=0,2$, а обчислене $K_v=1,08$, отримаємо нерівність, яка формулює обмеження за різальними властивостями інструменту у вигляді:

$$1б) n s^{0,45} \leq 947.$$

Нерівність, яка формулює обмеження за потужністю приводу головного руху при умові, що згідно із [26] $C_{Pz}=300$; $K_P=0,84$; $y_{Pz}=0,75$, а $N_{дв}=10$ кВт, і $\eta=0,8$, має такий вигляд

$$2б) n s^{0,75} \leq 729.$$

Зважаючи на те, що $[P_{x_{вер}}]=5884$ Н; $y_{Px}=0,5$, нерівність, яка формулює обмеження за допустимою силою механізму подачі, запишеться як

$$3б) s \leq 0,79 = (s)_I.$$

Відповідно, щодо обмеження за міцністю державки різця можна записати, що

$$46) s \leq 102,5 = (s)_{II},$$

а щодо обмеження за міцністю пластини різальної частини різця:

$$56) s \leq 0,895 = (s)_{III}.$$

Зрозуміло, що згідно паспортних даних верстату 16К20Ф3 (верстату горизонтальної компоновки) маємо:

$$66) 0,05 \leq s \leq 2,8, \text{ а також } 76) 12,5 \leq n \leq 2000.$$

Таким чином, переходимо до значно спрощеної задачі (в):

$$1в) ns^{0,45} \leq 947;$$

$$2в) ns^{0,75} \leq 729;$$

$$6в) 0,05 \leq s \leq 0,79;$$

$$7в) 12,5 \leq n \leq 2000,$$

або в іншому вигляді:

$$1г) n \leq 947s^{-0,45};$$

$$2г) n \leq 729s^{-0,75};$$

$$6г) 0,05 \leq s \leq 0,79;$$

$$7г) 12,5 \leq n \leq 2000.$$

На рис. 5.5 в середовищі MathCad [28] побудовані криві обмежень, що виражають формули 1г) і 2г).

Можливий інший шлях вирішення задачі.

Геометрична інтерпретація задачі на попередньому етапі дає істотну можливість її значно спростити стосовно області формування можливих значень існування максимального значення функції мети. Тобто фактично можна досягнути простої за формою оптимізованої області допустимих значень. При цьому приходимо до достатньо нескладної системи нерівностей в логарифмічній системі координат ($x_1 = \ln(n)$ - вісь ординат, а $x_2 = \ln(s)$ – вісь абсцис) виду:

$$\alpha_{11}x_1 + \alpha_{21}x_2 \leq \beta_1; \quad \alpha_{12}x_1 + \alpha_{22}x_2 \leq \beta_2;$$

$$\gamma_1 \leq x_1 \leq \gamma_2; \quad \gamma_3 \leq x_2 \leq \gamma_4.$$

Програма визначення рівнянь обмежень

mojlivosti instrumentu

$$C_v := 340$$

$$K_v := 1.08$$

$$T_{in} := 60 \quad m := 0.2$$

$$t := 1.75 \quad x_v := 0.15$$

$$d := 50$$

$$y_v := 0.45$$

$$s := 0.1, 0.2.. 1.0$$

$$n(s) := s^{-y_v} \cdot 318 \cdot C_v \cdot \frac{K_v}{T_{in}^m \cdot t^{x_v} \cdot d}$$

mojlivosti dyguna pryvodu golovnoho ruhu

$$N := 11 \quad C_p := 300 \quad K_p := 0.92 \quad y_p := 0.75$$

$$n2(s) := s^{-y_p} \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot N \cdot \frac{0.8}{C_p \cdot K_p \cdot d \cdot t}$$

linearyzovani harakterystyky

$$x2 := -5, -4.9.. 5$$

$$x1(x2) := -y_v \cdot x2 + \ln\left(C_v \cdot \frac{K_v \cdot 318}{T_{in}^m \cdot t^{x_v} \cdot d}\right)$$

$$z1 := \ln\left(C_v \cdot \frac{K_v \cdot 318}{T_{in}^m \cdot t^{x_v} \cdot d}\right) \quad z1 = \blacksquare$$

$$x1d(x2) := -y_p \cdot x2 + \ln\left(2 \cdot 10^6 \cdot N \cdot \frac{0.8}{C_p \cdot K_p \cdot d \cdot t}\right)$$

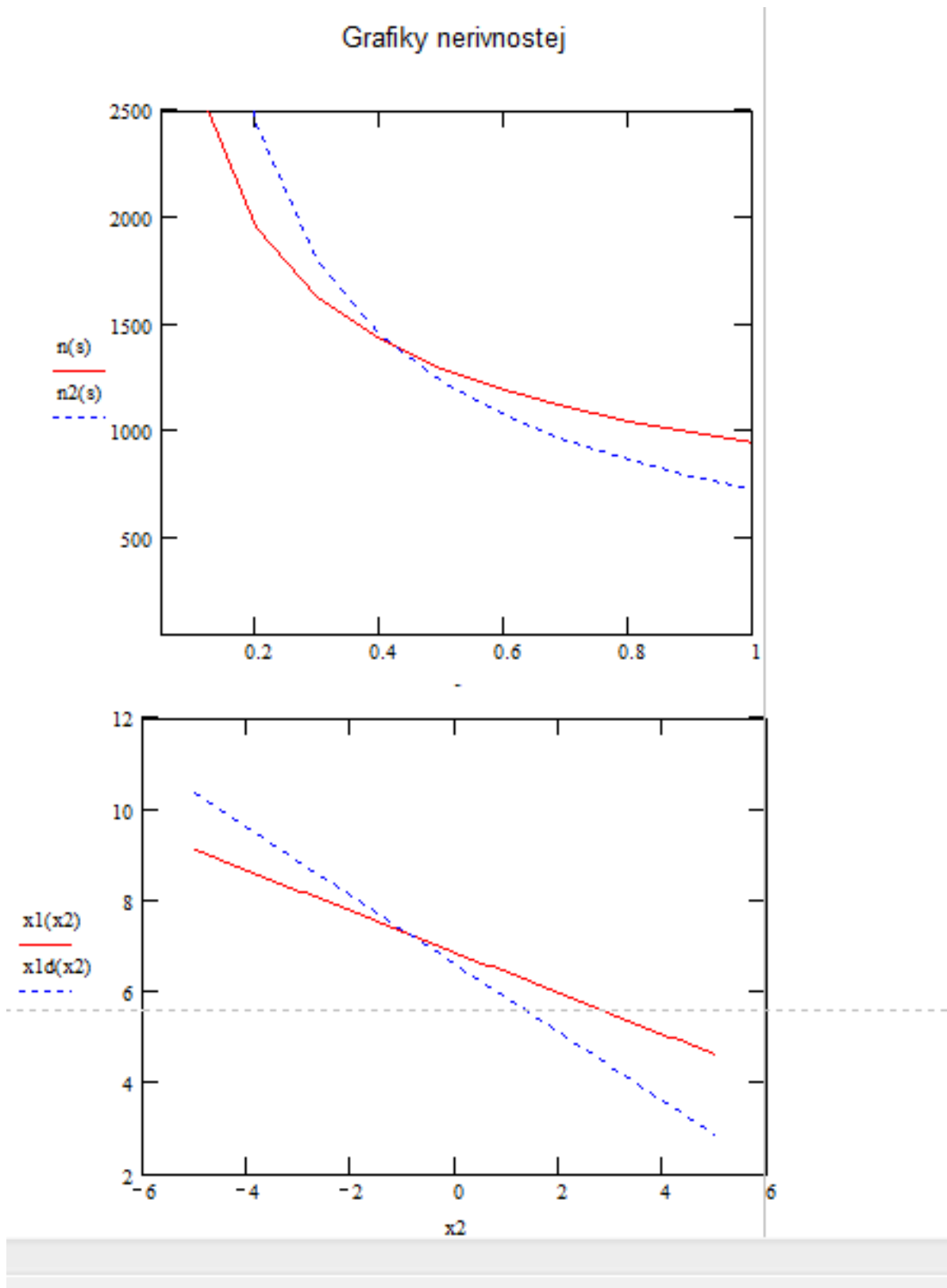


Рис. 5. 5. Графіки залежностей n - s , що виражають обмеження різальними можливостями інструменту і приводом головного руху верстата

При аналізі цих залежностей нами показано, що шукане оптимальне рішення щодо значень елементів режимів різання лежить на границі оптимізованої області допустимих значень у вузлових точках, а значення оптимального режиму різання легко отримати аналітично перебором значень $x_1+x_2 \rightarrow \max$.

Для нашої розглядуваної задачі система лінійних нерівностей у шкалі натуральних логарифмів матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} x_1 + 0,45x_2 &\leq 6,85; & x_1 + 0,75x_2 &\leq 6,591 \\ 2,53 &\leq x_1 \leq 7,6; & -3,0 &\leq x_2 \leq -0,24. \end{aligned}$$

На рис. 5. 5 побудовані в шкалі натуральних логарифмів прямі, що описують відповідні обмеження. Перетин перших двох кривих знаходиться в точці $x_2=-0,533$. Сумнівно шукати оптимальне рішення щодо можливо найбільшої продуктивності при мінімальній подачі. Тому шуканий розв'язок будемо отримувати аналізуючи величини, що впливають на продуктивності із умови максимально можливої подачі. Отже, отримуємо в результаті, що подальшому аналізу підлягатимуть 2 точки:

$$\text{А) } x_1=7,09; x_2=-0,533 \quad \text{і} \quad \text{Б) } x_1=6,771; x_2=-0,24.$$

Зважаючи на характер цільової функції $x_1+x_2 \rightarrow \max$, маємо

$$(x_1+x_2)_A=6,557 \quad \text{і} \quad (x_1+x_2)_B=6,531.$$

Якщо перейти від логарифмічних координат до звичних, то будемо мати такі дві точки:

$$\text{А) } n=1200 \text{ об/хв}; s= 0,587\text{мм /об} \quad \text{і}$$

$$\text{Б) } n=872 \text{ об/хв}; s= 0,787 \text{ мм /об} \quad .$$

Таким чином, зважаючи на вимогу максимальної продуктивності оптимальною точкою є пара $s_{\text{опт}}=0,587\text{мм /об}; n_{\text{опт}}=1200 \text{ об/хв} .$

Згідно до даних паспорта верстата приймаємо $s_{\text{опт}}=0,5\text{мм /об}; n_{\text{опт}}=1200 \text{ об/хв}.$

5.9. Перевірка системи на вібростійкість проти автоколивань

В подальшому дуже важливою є перевірка отриманого оптимального режиму різання на вібростійкість. При цьому варто скористатись динамічною характеристикою процесу різання у формі аперіодичної ланки, запропонованою О.В. Кудиновим [29], при умові представлення пружної системи верстатно-інструментального оснащення у вигляді одно масової системи із пружним і демпфуючим зв'язками. При цьому можна використати алгебраїчний критерій Рауса-Гурвіца або ж частотний критерій Найквіста [30] .

Таким чином, можна розрахувати значення гранично можливої глибини різання, яке дозволяє дана система, при визначених швидкості різання та подачі. Така перевірка дозволяє забезпечити різання з надійним рівнем динамічної стійкості.

Відповідно до даних, наведених у [31], граничне значення коефіцієнта різання при токарній обробці можна наближено визначити за формулою

$$k_p = h \frac{m + hT_p + jT_p^2}{mT_p}$$

де m – маса оброблюючої системи, h – коефіцієнт демпфування; j – жорсткість оброблюючої системи.

Використаємо дані, отримані при визначенні максимальних чисел обертів та подачі. Тоді можна обчислити значення постійної часу стружкоутворення [31], яка визначає динамічне запізнення системи:

$$T_p = \frac{a \zeta}{v}$$

де $\zeta = 3$ – усадка стружки; m – швидкість різання, а $a = s \sin \phi$ – товщина зрізу. Використовуючи отримані раніше дані, маємо, що $T_p = 2,5 \cdot 10^{-4}$ с.

З аналізу попередньої формули виходить, що наближено можна

скористатись формулою

$$k_p = \frac{h}{T_p}.$$

Оскільки для токарного верстату [31] $h=1500$ кг/с, можна перейти до визначення граничної глибини різання, яка відповідно може бути порахована за формулою

$$t = \frac{k_p \sin \varphi}{k_{\text{пит}}}$$

Таким чином, з врахуванням того, що $k_{\text{пит}}=2000$ Н/мм², отримаємо граничне значення глибини різання, яке визначене динамічними характеристиками процесу різання і самої оброблюючої системи $t=2,1$ мм. Отже, для нашого випадку достатній рівень вібростійкості забезпечений. В той же час є очевидним, що така перевірка на вібростійкість є досить бажаною, особливо для чорнової обробки.

5. 10 Висновки щодо оптимізації режимів обробки

В науковому розділі нами на основі аналізу вже відомих підходів запропоновано модернізовану структуру оптимізаційних досліджень при проектування технологічних процесів.

При цьому задіяне використання цільової функції процесу, сформульована загальна математична модель, і з неї виведені часткові моделі, які дають змогу розв'язувати задачу аналітично графічно одночасно.

Пошук оптимального рішення здійснюється за так званими критичними точками, що виключає повний перебір варіантів і графічну побудову всієї допустимої області.

Дуже важливим є використання перевірки оброблюючої системи на вібростійкість.

Результати проведеного дослідження апробовані на студентській

науковій конференції. Основні аспекти розв'язаного питання містяться у тезах конференції [32].

6. Спеціальний розділ (САПР)

Автоматизовані розрахунки шпиндельного вузла токарного верстату горизонтальної компоновки

6.1. Розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість

Шпиндельні вузли є основними виконавчими органами верстатів [33, 34, 35].

Автоматизовані розрахунки шпиндельного вузла проведемо з використання САПР КОМПАС 3D.

Перш за все проведемо розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість. Схема шпиндельного вузла приведена на рис. 6.1.

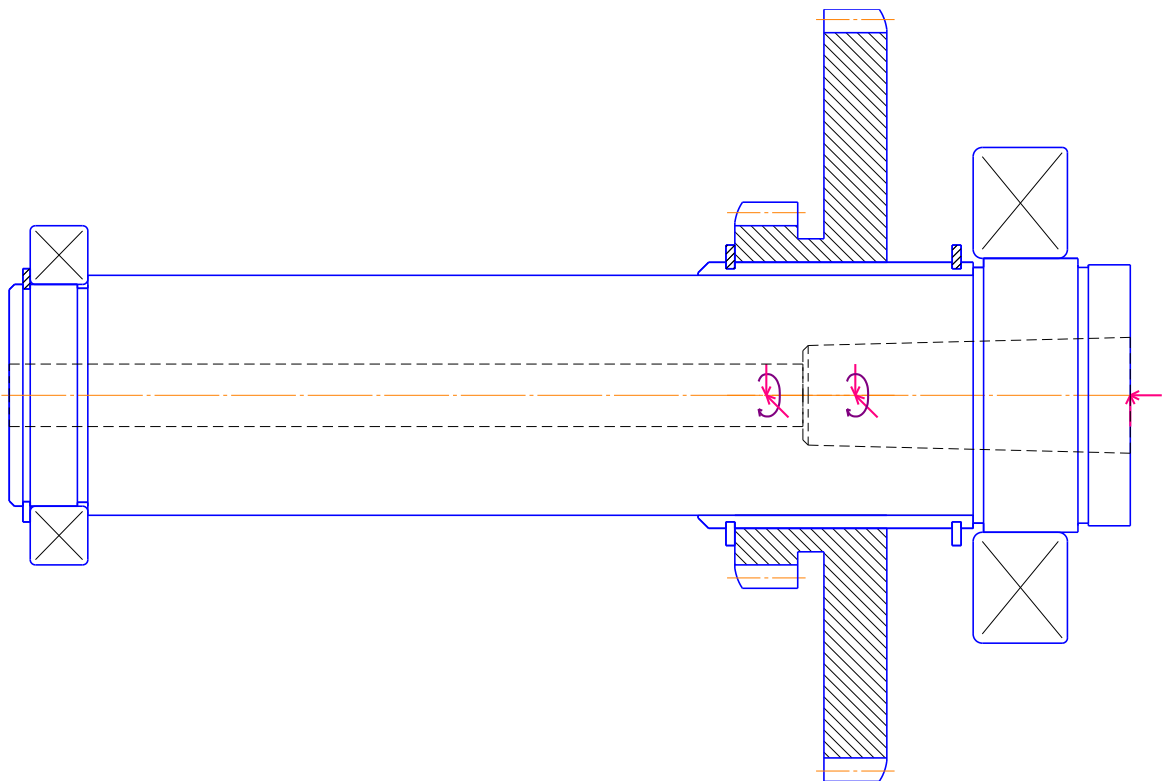


Рис. 6.1. Ескіз розрахункової схеми шпиндельного вузла

З використанням засобів автоматизації розрахунків будуємо графіки згинальних моментів в горизонтальній площині шпинделя (рис. 6.2.), у вертикальній площині шпинделя (рис. 6.3) та крутних моментів (рис. 6.4).

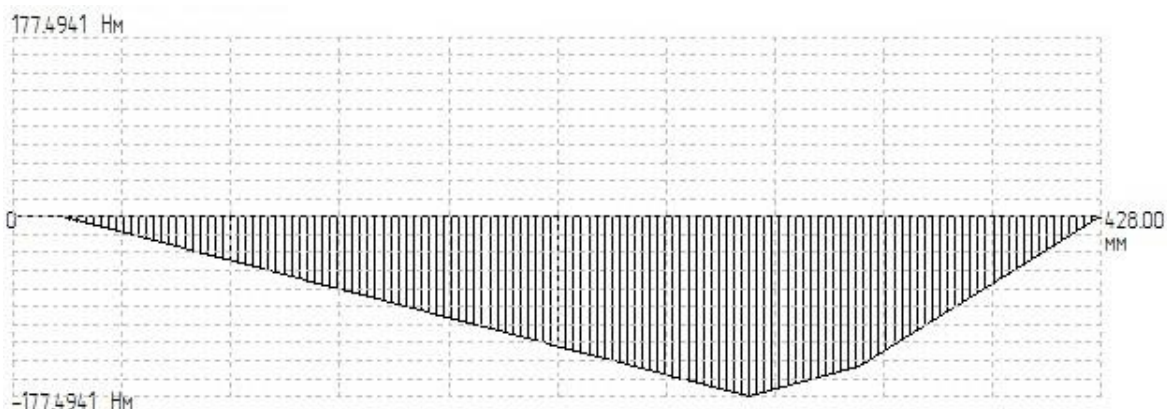


Рис. 6.2. Графік згинальних моментів в горизонтальній площині шпинделя

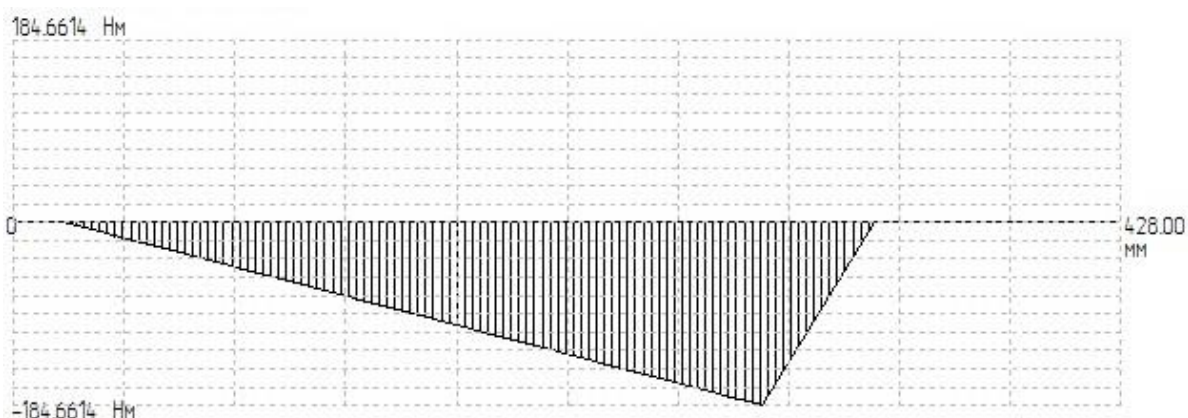


Рис. 6.3. Графік згинальних моментів в вертикальній площині шпинделя

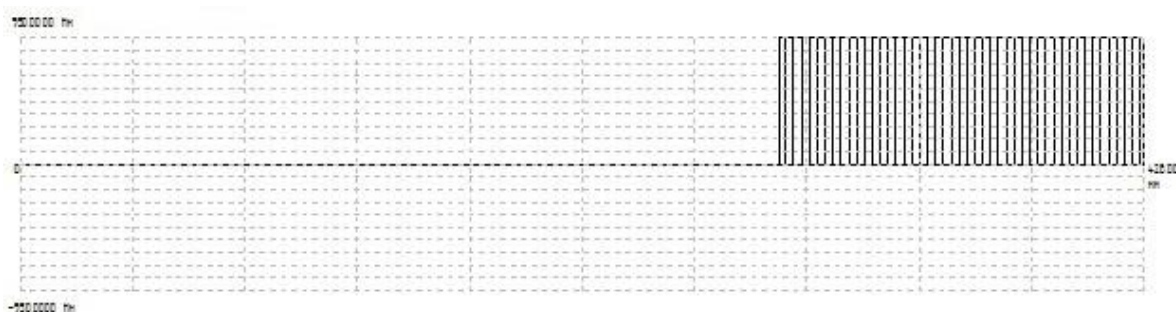


Рис. 6.4. Графік крутних моментів шпинделя

Маючи такі дані, отримані в результаті автоматизованої побудови графіків силових моментів згину та кручення, розраховуємо деформаційні складові.

Перш за все будемо з використанням пакету САПР графік прогину шпинделя в горизонтальній площині (рис. 6.5) і графік прогину шпинделя у вертикальній площині (рис. 6.6).

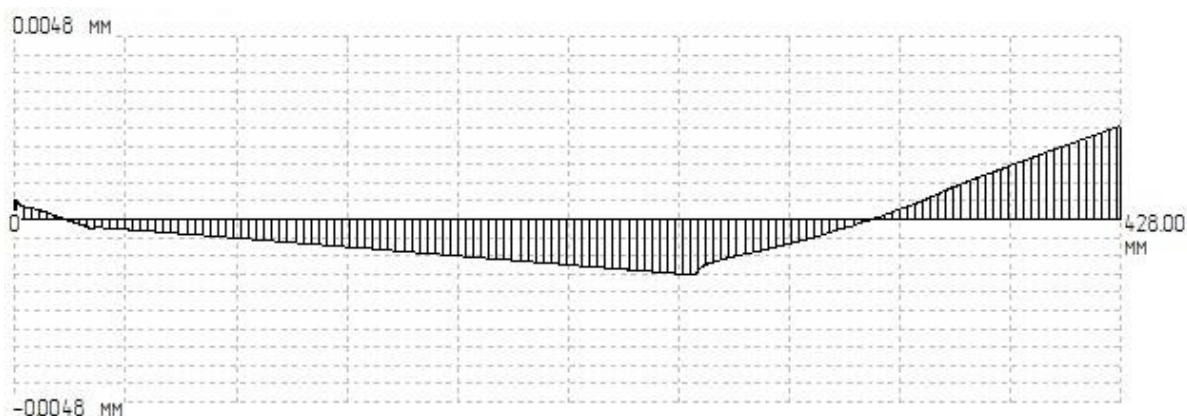


Рис. 6.5. Графік прогину шпинделя в горизонтальній площині

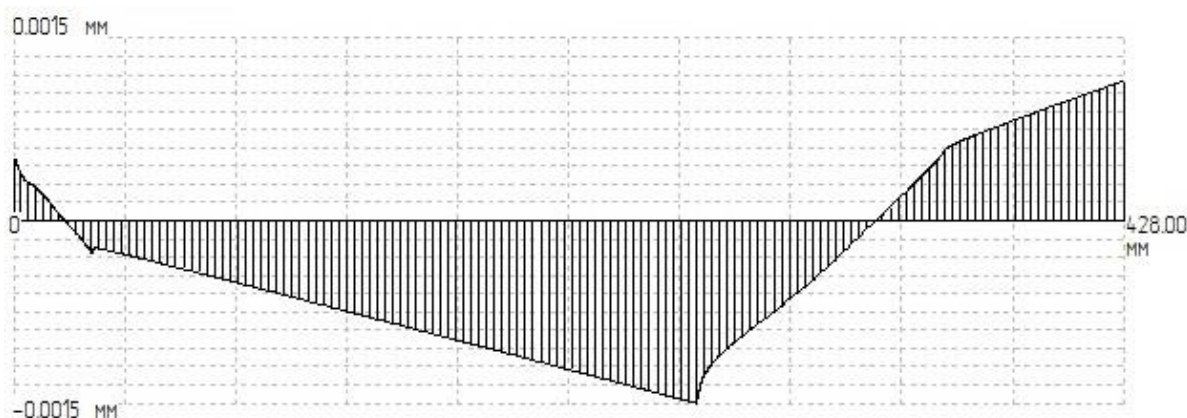


Рис. 6.6. Графік прогину шпинделя у вертикальній площині

З розрахунку видно, що максимальна деформація шпиндельного вузла в горизонтальній площині становить $1,44 \cdot 10^{-4}$ мм (0,144 мкм), а у вертикальній площині – 0,0015 мм (1,5 мкм). Таким чином, сумарна деформація шпиндельного вузла складатиме 1,51 мкм.

Враховуємо, що використовуючи графіки згинальних моментів, можна отримати, що максимальні згинальні зусилля, що діють на шпиндель у горизонтальній площині складають 591,6 Н, а у горизонтальній площині 615,5 Н.

При цьому очевидно, що сумарне згинальне зусилля, що діє на шпиндель, обчислимо таким, що дорівнює $F_{\text{шп}}=854$ Н.

Таким чином радіальну жорсткість шпиндельного вузла верстату можна визначити у формі

$$j_{\text{шп}}=854/1.51=565.56 \text{ Н/мкм.}$$

Така величина радіальної жорсткості є достатньою для токарного верстата горизонтальної компоновки [19, 34].

Відповідно також проводимо комп'ютерний розрахунок і будуємо графік кутів закручування шпинделя верстату

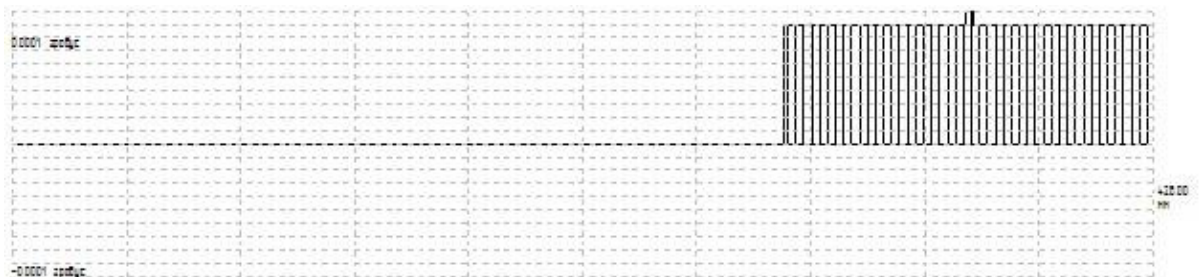


Рис. 6.7. Графік відносних кутів закручування січення шпиндельного вузла

7. Обґрунтування економічної ефективності прийнятих рішень

Майже половину усього парку металорізальних верстатів займають токарні, тому економічна ефективність виготовлення деталей на них є надважливою. В даній дипломній роботі досліджується оптимізація чорнового точіння в рамках розроблення конструкторсько-технологічного забезпечення процесу механічної обробки деталі вал тихохідний.

7.1. Організація конструкторської підготовки

7.1.1 Розрахунок трудомісткості конструкторських робіт

Зміст конструкторської підготовки, даного проекту виробництва проектування модернізованого токарного верстата моделі 16K20Ф3. У процесі модернізації верстата виконується ряд робіт, у тому числі, модернізація коробки швидкостей.

Для рішення завдання використовуємо систему укрупнених нормативів трудомісткості розраховуючи на базову оригінальну або умовну деталь по стадіях проектування Мінстанкпрому.

Відповідно до рекомендацій, всі вироби у верстатобудівній промисловості розподілені по групах складності, новизні й серійності методичних вказівок. По таблиці верстат може бути віднесений до 3 групи складності й, до групи Б, по новизні.

Проектування складається з наступних стадій (ДЕРЖСТАНДАРТ 2650-88): Технічне завдання, технічна пропозиція; ескізний проект; технічний проект; розробка робочої конструкторської документації.

1) У технічному завданні дається обґрунтування й необхідність заміни механізму затиску токарного напівавтомата з додатковою підтримкою прутка і виконується попередній техніко-економічний аналіз.

$$\tau = 67 \text{ н/год};$$

2) Технічна пропозиція.

У даному проекті виробляється пророблення конструкторських і техніко–економічних варіантів рішення завдання й техніко-економічне обґрунтування обраного варіанта:

$$\tau_2 = 265 \text{ год};$$

3) Ескізний проект.

В ескізному проекті проводиться розробка кінематичних, гідравлічних, електричних схем верстата, креслення загального виду.

$$\tau_3 = 43,7 \times 4 = 174,8 \text{ год};$$

4) Технічний проект.

У технічному проекті проводимо розробку конструкторської документації окремих вузлів, пристроїв, робимо розрахунки на міцність, надійність і довговічність; складання пояснювальної записки.

Таблиця 7.1- Розподіл вузлів по групах складності й новизни.

Група складності, %	Групи новизни, шт		
	А	Б	В
Усього вузлів, у тому числі:	1	3	2
II-17%		1	1
III- 50%		2	1
IV- 33%	1		

Трудомісткість по розробці креслень:

$$\tau_4^i = (24 \times 1) + (14,8 \times 1 + 2 \times 20) + (22,5 \times 1 + 30 \times 1) = 131,3 \text{н/год};$$

Трудомісткість по складанню розрахунково-пояснювальної записці:

$$\tau_4'' = 50 \times 5 = 250 \text{н/год};$$

Загальна трuдомісткість:

$$\tau_4 = 131,3 + 250 = 381,3 \text{н/год}.$$

5) Робоча документація виконується при модернізації верстата.

На даному етапі проектування розробляється документація для виготовлення й випробування пробного зразка верстата. Сюди входить розробка креслень всіх деталей, складальне креслення, складання матеріальних і комплектувальних специфікацій.

При розробці креслень модернізованого верстата виконуються наступні роботи:

- складальне креслення формат А1- 1шт;
- складальне креслення, кінематичних, гідравлічних, електричних схем, формат А3- 6шт;
- складання креслень загального виду й вузлів (для техпаспорта) формат А4-31шт;
- деталі: формат А2- 2шт;
- інші деталі формат А4- 5шт;
- специфікації формат А4- 30шт;
- відомості (покупних виробів, ЗІП, експлуатаційних документів і т.п.) формат А4-20стор.;

- паспорт верстата формат А4- 100стор.

Трудомісткість виготовлення креслень вузлів:

$$\tau_5' = 1 \times 26,4 + 6 \times 26,4 \times 0,50 + 31 \times 26,4 \times 0,56 = 573,4 \text{н/год.}$$

Трудомісткість виготовлення деталей:

$$\tau_5'' = 2 \times 2,1 \times 3,24 + 5 \times 2,1 = 24,1 \text{н/год.}$$

Трудомісткість виготовлення відомостей, специфікацій, технічного паспорта й ін.:

$$\tau_5''' = 30 \times 0,75 + 20 \times 0,5 + 100 \times 1,8 = 212,5 \text{н/год.}$$

Загальна трудомісткість:

$$\tau_5 = 573,4 + 24,1 + 212,5 = 810 \text{н/год.}$$

Сумарна трудомісткість для розробки робочої документації по модернізації верстата:

$$T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5,$$

$$T = 265 + 67 + 174,8 + 381,3 + 810 = 1698,1 \text{н/година.}$$

7.1.2 Розрахунок тривалості стадій виконуваних конструкторських робіт

Тривалість стадій визначається по формулі:

$$T_{cm} = \frac{\tau_{cm}(1+\eta)}{(RT_{cm}k_s)}, \text{ де}$$

τ_{cm} - трудомісткість робіт даної стадії;

$\eta=0,05$ - коефіцієнт, що враховує додатковий час у зв'язку з відволіканням виконавців на доробку, узгодження й т.п. виконуваних робіт;

k - кількість працюючих на даній стадії, чіл.;

T_{cm} - тривалість робочої зхви, $T_{cm} = 8$ година;

$k_{вип}$ - середній коефіцієнт виконання завдань, $k_{вип} = 0,9$.

Кількість працюючих над виконанням даної стадії:

1 етап ТЗ: ведучий менеджер - 1 чол-100%

2 етап ТП: ведучий менеджер - 1 чол-100%

3 етап ЕП: 1.провідний інженер - 1 чол- 15%

2. конструктор I категорії - 1 чол- 30%

3. конструктор II категорії - 1 чол - 35%

4. старший технік- конструктор - 1 чол - 20%.

4 етап ТПР:1.конструктор I категорії – 1 чол – 30%

2. конструктор II категорії - 1 чол - 30%

3. старший технік- конструктор - 1 чол - 25%

4. технік- конструктор - 1 чол - 15%

5 етап РКД:1.конструктор I категорії – 1 чол – 30%

2. конструктор II категорії - 1 чол - 30%

3. старший технік- конструктор - 1 чол - 25%

4. технік- конструктор - 1 чол - 15%

По формулі $T_{cm} = \frac{\tau_{cm}(1+\eta)}{(RT_{cm}k_e)}$ визначимо:

$$T_{cmTЗ} = \frac{67(1+0,05)}{1 \times 8 \times 0,9} = 9,8 = 10 \text{дн.};$$

$$T_{смПТ} = \frac{265(1+0,05)}{1 \times 8 \times 0,9} = 38,6 = 39 \text{ дн.};$$

$$T_{смЭП} = \frac{174,8(8+0,05)}{4 \times 8 \times 0,9} = 6,4 = 7 \text{ дн.};$$

$$T_{смППР} = \frac{381,3(1+0,05)}{4 \times 8 \times 0,9} = 14 \text{ дн};$$

$$T_{смРКД} = \frac{810(1+0,05)}{41 \times 8 \times 0,9} = 30 \text{ дн}$$

Сумарна тривалість роботи становить 100 днів.

7.1.3 Розрахунок фонду заробітної плати виконавців

Зробимо розрахунок основної заробітної плати виконавців по формулі:

$$Z_0 = T \cdot \bar{C}_u \cdot n, \text{ де}$$

Z_0 - заробітна плата, розрахована відповідно до встановлених посадових окладів;

\bar{C}_u - годинна тарифна ставка, розраховується розподілом місячного посадового окладу працівника на ефективний фонд часу роботи за місяць;

T - тривалість етапу, розрахована з урахуванням трудомісткості й втрат часу на додаткову роботу.

Визначимо годинні тарифні ставки виконавців:

- провідний інженер:

$$C_{u1} = \frac{500}{22 \times 8} = 2,84 \text{ грн};$$

- конструктор I категорії:

$$C_{u2} = \frac{440}{22 \times 8} = 2,5 \text{ грн};$$

- конструктор II категорії:

$$Ч_{u3} = \frac{360}{22 \times 8} = 2,04 \text{ грн} ;$$

- старший технік- конструктор:

$$Ч_{u4} = \frac{300}{22 \times 8} = 1,70 \text{ грн} ;$$

- технік- конструктор:

$$Ч_{u5} = \frac{250}{22 \times 8} = 1,42 \text{ грн} ,$$

Середньозважена годинна тарифна ставка:

$$Ч_{\text{уср}} = \frac{Ч_{u1} + Ч_{u2} + Ч_{u3} + Ч_{u3} + Ч_{u4} + Ч_{u5}}{n} , \text{ де}$$

$Ч_{u1}, \dots, Ч_{u5}$ - годинна тарифна ставка кожного виконавця;

n - число виконавців;

$$Ч_{\text{уср}} = \frac{2,84 + 2,5 + 2,04 + 1,7 + 1,42}{5} = 2,1 \text{ грн} .$$

Підставляючи значення у формулу, одержимо основну зарплату виконавців:

$$З_0 = 2,1 \times 8 \times 100 \times 5 = 8400 \text{ грн} .$$

Додаткова заробітна плата розраховується у відсотках від основної:

$$З_{\text{доп}} = \frac{З_0 \alpha_1}{100} , \text{ де}$$

$\alpha_1 = 12\%$ - відсоток додаткової зарплати;

$$З_{\text{доп}} = 8400 \frac{12}{100} = 1008 \text{ грн} .$$

Фонд заробітної плати виконавців:

$$\Phi ЗП = З_0 + З_{дон} = 8400 + 1008 = 9408 \text{ грн.}$$

7.2. Економічна частина. Розрахунок основних техніко-економічних показників ділянки

7.2.1 Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) у проектуванні ділянки.

При визначенні обсягу витрат прями інвестиції для проектування ділянки будемо керуватися наступними організаційними параметрами:

- кількість устаткування на ділянці, шт	4
- коефіцієнт завантаження устаткування	0,72
- кількість зхв	1
- кількість робітників, у тому числі, чіл	4
- основних робітників - 2	
- допоміжних - 1	
- фахівців - 1	
- трудомісткість виготовлення основної деталі А, хв	120
- річна програма випуску основної деталі А, шт	15
- річна трудомісткість виготовлення основної деталі А, год	30
- трудомісткість виготовлення деталі Б, що буде дозавантажуватися, хв	12,06
- річна програма випуску деталі Б, що буде дозавантажуватися, шт	11000

- річна трудомісткість виготовлення деталі Б, що буде дозавантажуватися, год 2211

- дійсний річний фонд часу, год:

- верстатів 1860

- верстатників 1820

При визначенні обсягу інвестицій в основні фонди першої групи вартість будинку розраховується по формулі:

$$K_{зд} = S_{зд} B_{зд}, \text{ де}$$

$K_{зд}$ - вартість капіталовкладень у будинки й спорудження, грн;

$S_{зд}$ - обсяг ділянки, m^3 .

Площа ділянки знаходимо з розрахунку, що на один верстат середньої групи доводиться $22 m^3$; висота ділянки 6м. Таким чином, обсяг ділянки:

$$S_{зд} = 4 \times 22 \times 6 = 528 m^3,$$

Приймаємо $S_{зд} = 550 m^3$.

$B_{зд}$ - вартість $1 m^3$ виробничих площ, грн, $B_{зд} = 140 \text{ грн} / m^3$.

Отже,

$$K_{зд} = S_{зд} B_{зд} = 550 \times 140 = 77000 \text{ грн}.$$

Вартість основних фондів другої групи приймається за даними підприємства.

Інвестиції у виробниче, газо- піднімальне й транспортне устаткування визначаються по формулі:

$$K_{об} = \sum B_{об} N_{об} (1K_{мз} + K_{м}), \text{ де}$$

$B_{об}$ - вартість одиниці одного типу устаткування, грн;

$N_{об}$ - кількість одиниць устаткування даного типу, шт;

$K_{мз}$ - коефіцієнт враховуючий транспортно-заготівельні витрати,
 $K_{мз} = 1,05$;

$K_{м}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж і налагодження устаткування, $K_{м} = 1$;

$$K_{об} = 84932(1 + 1,05 + 1) = 259142,6 \text{ грн.}$$

Розрахунок загальної суми інвестицій по проекті й сума амортизаційних відрахувань по кожній групі основних фондів зведені в таблицю 2.

Сума амортизаційних відрахувань розраховується по формулі:

$$A_{отч} = K \frac{Ha}{100}, \text{ де}$$

K - балансова вартість основних фондів, грн;

Ha - норма амортизації, %.

Норми амортизації встановлюються у відсотках від балансової вартості кожної із груп основних фондів, згідно Закону України.

Таблиця 7.2. - Розмір капітальних вкладень і інвестицій дільниці

Група основних фондів	Вартість одиниць, грн	Кількість одиниць	Балансова вартість, грн	Норма амортизац ії, %	Сума амортизац ійних відрахува нь, грн
Будинки й спорудження	140	88	73920	5	3696
Інструменти й господарчий. інвентар			50000	25	12500
Устаткування виробниче:					
6P13	15930	2	31862	15	4779
3B722	20415	1	20415		3062,25
2E470	32657	1	32657		4898,55
Усього	69002		208820		28935,8

7.2.2. Розрахунок кошторису поточних витрат.

На виріб - механізму затиску токарного напівавтомата з додатковою підтримкою прутка - поточні витрати будемо розраховувати по статтях:

- 1) Матеріальні витрати, у тому числі:
 - а) основні матеріали (за винятком відходів);
 - б) допоміжні матеріали, які використовуються для забезпечення технологічного процесу.
- 2) Паливо й енергія на технологічні цілі.
- 3) Заробітна плата основних робітників.
- 4) Відрахування на соціальні заходи.
- 5) Витрати на утримання й експлуатацію устаткування.
- 6) Загальновиробничі витрати.

7) Загальногосподарські витрати.

8) Позавиробничі витрати.

Витрати по статті «Основні матеріали» розраховуються по формулі:

$$M_i = \sum R_{TP} H_{zi} \Pi_{Mi} - \sum H_{omx} \Pi_{omx}, \text{ де}$$

R_{TP} - коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат (приймаємо $R_{TP} = 1,05$);

H_{zi} - норма витрат і-того матеріалу, кг (з технологічної частини: маса заготівлі 54кг);

n - номенклатура основних матеріалів, які використовують на n -ний виріб;

Π_M - ціна і-го матеріалу, грн;

H_{omx} - норма відходів і-го матеріалу, кг;

Π_{omx} - ціна реалізації відходів і-го матеріалу, грн.

Отже,

$$M_{осн} = \sum R_{TP} H_{zi} \Pi_M - \sum H_{omx} \Pi_{omx};$$

$$M_{осн} = 1,05 \times 54 \times 0,8 - 54 \times 0,1 = 39,96 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали приймаються по нормативах у розмірі 10% від вартості основних матеріалів:

$$M_{всп} = 39,96 \times 0,1 = 3,99 = 4 \text{ грн.}$$

Витрати на енергоресурси включаються до кошторису витрат на утримання й експлуатацію устаткування.

Стаття «Заробітна плата основних робітників».

Укрупнено приймаємо для робітників IV, V розрядів ЧТС=224грн. Тоді заробітна плата одного робітника на одну деталь:

$$OЗП_{осн} = \frac{ЧТС \sum t_{ум} 1,4}{60},$$

$$OЗП_{осн} = \frac{2,24 \times 120 \times 1,4}{60} = 6,27 \text{ грн.}$$

Сума відрахувань у соціальний фонд становить 37,5% від заробітної плати основного робітника, тобто 2,35грн.

Визначення витрат на утримання й експлуатацію устаткування проводиться по кошторисі, форма якої наведена в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3. - Кошторис витрат на утримання й експлуатацію устаткування.

Стаття витрат	Методика розрахунку	Сума витрат, грн
1	2	3
1. Амортизація устаткування й транспортних засобів	Береться за даними розрахунку капітальних вкладень (таблиця 5.1)	12739,8
2. Експлуатація устаткування: а) допоміжні матеріали (мастильні, охолодні, обтиральні й ін.); б) зарплата допоміжних робітників, зайнятих при обслуговуванні й ремонті технологічного	Приймається по діючим на підприємстві нормам 3-6% від вартості основних фондів третьої групи. Приймаємо 5%. Укрупнено розраховуємо, виходячи з того, що $ЧТС_{осн} = 1,83 \text{ грн.}$ $OЗП_{осн} = ЧТС_{осн} F_{оп} 1,4 = 1,83 \times 1860 \times 1,4 = 4765,32 \text{ грн}$ $F_{оп} = 1860 \text{ ч}$ - дійсний річний фонд часу	4246,6 4765,32

устаткування	допоміжного робітника.	
в) відрахування в соціальний фонд від заробітної плати допоміжних робітників	По нормативах відрахувань 37,5%	1787
3. Енергія на утримання й експлуатацію устаткування – силова електроенергія	$Z_{\text{сил}} = \varepsilon_{\text{сил}} C_E, \text{ де}$ <p>$Z_{\text{сил}}$ - витрати на електроенергію, грн, $\varepsilon_{\text{сил}}$ - видаток електроенергії, кВтгод, C_E - вартість 1кВтч, грн.</p> $\varepsilon_{\text{сил}} = M_{\text{уст}} F_{\text{до}} m K_1 K_2 / K_0 \text{КПД}, \text{ де}$ <p>$M_{\text{уст}}$ - установлена потужність устаткування, кВт; $F_{\text{до}}$ - дійсний річний фонд часу роботи устаткування, год; m - кількість хв роботи; K_1 - коефіцієнт завантаження устаткування; K_2 - коефіцієнт одночасної роботи устаткування; КПД- к.кор.дії двигунів; K_0 - коефіцієнт, що враховує втрати в мережі.</p>	5612,9

	$\varepsilon_{\text{сил}} = 24,8 \times 1860 \times 1 \times 0,72 \times 0,65 / 0,7 \times 0,86 = 35979,8$ <p>.</p> <p>По формулі $Z_{\text{сил}} = 35979,8 \times 0,156 = 5612,9$</p>	
--	---	--

Продовження таблиці 7.3.

1	2	3
4. Стиснене повітря	$Z_{\text{сж}} = (Q_{\text{обд}} + Q_{\text{сж}})C_{\text{сж}}, \text{ де}$ <p>$Z_{\text{сж}}$ - витрати на стиснене повітря, грн;</p> $Q_{\text{обд}} = mK_1 n x_0 g_0 F_{g_0}, \quad Q_{\text{сж}} = mK_1 n x_3 g_3 F_{g_0}, \text{ де}$ <p>$Q_{\text{обд}}$ - річний видаток стисненого повітря на обдувши устаткування, м^3 ;</p> <p>$Q_{\text{сж}}$ - річний видаток повітря на затиск, м^3 ;</p> <p>n- загальне число верстатів;</p> <p>m – кількість зхв;</p> <p>g_0, g_3 - норма видатку стисненого повітря на обдувши й закріплення, м^3 ;</p> <p>x_0, x_3 - для верстатів з обдуванням і з пневмоприводом;</p> <p>$C_{\text{сж}}$ - ціна 1 м^3 стисненого повітря, грн;</p> <p>По формулах знаходимо:</p> $Q_{\text{обд}} = 4 \times 0,72 \times 1 \times 1 \times 2 \times 1860 = 10713,6 \text{ м}^3,$ $Q_{\text{сж}} = 4 \times 0,72 \times 1 \times 0,25 \times 4 \times 1860 = 5356,8 \text{ м}^3.$ <p>По формулі</p>	642,8

	$Z_{сж} = (10713,6 + 5356,8)0,04 = 642,8 \text{ грн.}$	
5. Вода на виробничі цілі	$Z_6 = Q_6 C_6$, де Q_6 - річний видаток води, м^3 ; C_6 - ціна 1 м^3 води, грн; $Q_6 = m K_1 n g_6 F_{g0}$, де g_6 - видаток води за годину на верстат, $\text{м}^3/\text{година}$; $Q_6 = 4 \times 0,72 \times 1 \times 0,6 \times 1860 = 3214 \text{ м}^3$. По формулі $Z_6 = 3214 \times 0,06 = 193$.	193
6. Поточний ремонт устаткування й транспортних засобів (всі матеріальні витрати на ремонт і оплату послуг ремонтних цехів)	Приймається по нормах, що діє на підприємстві або в розмірі 3% від стійкості устаткування й транспортних засобів: $84932 \times 0,03 = 2547,96 \text{ грн.}$	2547,96
7. Інші витрати (не враховані в попередніх статтях)	Приймаються по нормах, що діє на підприємстві або в розмірі 5-8% від суми витрат по статтях 1-3. Приймаємо 5%.	1414,29
Разом		29700,07

$$PCЭO_{дет} = \frac{PCЭO_{см} K_{y0}}{N_{оснА}}, \text{ де}$$

K_{y0} - питомий коефіцієнт

$$K_{y0} = \frac{\sum T_{zодА}}{\sum T_{zодА} + \sum T_{zодБ}},$$

$$K_{yo} = \frac{30}{30 + 2211} = 0,03.$$

$$PCЭO_{дет} = \frac{29700,07 \times 0,013}{15} = 25,7$$

Стаття «Загально виробничі витрати» включає витрати на обслуговування й управління ділянкою, які розраховуються по кошторисі, форма якої наведена в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4. - Кошторис загально виробничих витрат.

Стаття витрат	Методика розрахунку	Сума витрат, грн
1	2	3
1. Амортизація будинків і споруджень	За даними розрахунку капітальних вкладень	12739,8
2. Заробітна плата фахівців	За даними організаційної частини $\Phi ЗП_{спец} = 9408$ грн	9408
3. Відрахування в соціальний фонд від зарплати фахівців	По нормативах відрахувань 37,5%	3528
4. Утримування будинків і споруджень: а) електроенергія на висвітлення	$З_{освц} = E_{осв} Ц_E, \text{ де}$ <p>$E_{осв}$ - річний видаток електроенергії на висвітлення, кВтч; $Ц_E$ - ціна 1кВтч, грн.</p> <p>Видаток $E_{осв} = yTSK_{деж}$, де y- питомий видаток електроенергії на висвітлення;</p>	2594,59

	<p>T-тривалість періоду висвітлення, год;</p> <p>S- обсяг ділянки, m^3;</p> <p>$K_{деж}$ - коефіцієнт, що враховує чергове висвітлення.</p> <p>$E_{осв} = 20 \times 1500 \times 528 \times 1,05 / 1000 = 16632 \text{ кВтч}$</p> <p>По формулі знаходимо витрати</p> <p>$Z_{осв} = 16632 \times 0,156 = 2594,59 \text{ грн}.$</p>	
б) вода для господарських потреб	<p>Річний видаток води й витрати:</p> $Z_в = n y_в C_в, \text{ де}$ <p>n - кількість промислово- виробничого персоналу на ділянці, чіл;</p> <p>$y_в$ - норма видатку води на одну людину;</p> <p>$C_в$ - ціна води за 1 м^3, грн.</p> <p>$Z_в = 4 \times 8500 \times 0,06 = 3060 \text{ грн}.$</p>	3060
в) пара для опалення й вентиляції	<p>Витрати на пару розраховуються по формулі:</p> $Z_п = Q_п C_п, \text{ де}$ <p>$Q_п$ - річний видаток пари, т;</p> <p>$C_п$ - ціна 1т пари, грн.</p> $Q_п = g_п HV / (C1000), \text{ де}$ <p>$g_п$ - витрати тепла в ккал/год на 1 м^3</p>	

	<p>будинки;</p> <p>$H-H$- кількість годин в отопительном сезоні, тривалість 180 днів;</p> <p>$З-С$- теплота випару, ккал/год;</p> <p>V- обсяг будинку, m^3.</p> $Q_n = \frac{1500 \times 180 \times 528}{540 \times 1000} = 264 \text{ т.}$ <p>По формулі знаходимо</p> $З_n = 264 \times 0,47 = 126,72 \text{ грн.}$	
г) вартість матеріалів, використовуваних на господарські потреби ділянки	<p>Приймається в розмірі 3% від вартості основних фондів першої групи (будинків)</p> $73920 \times 0,03 = 2217,6 \text{ грн.}$	2217,6
5. Поточний ремонт споруджень і інвентарю	<p>Приймається в розмірі 3% від вартості основних фондів першої групи (будинків)</p>	2217,6
6. Інші витрати, не враховані в попередніх статтях	<p>Приймається в розмірі 7% від суми по статтях 1-5 даного кошторису</p>	2512,46
Усього		38404,77

Розрахунок загальних виробничих витрат на основну деталь:

$$РОПЗ_{осна} = \frac{РОПЗ_{см} K_{уд}}{N_A},$$

$$РОПЗ_{осн.А} = \frac{38404,77 \times 0,013}{15} = 25,6 \text{ грн.}$$

Розраховані дані зведемо в таблицю 7.5.

Найменування продукції: вал коробки швидкостей.

Річний обсяг випуску продукції 15 штук.

Таблиця 7.5. - Проектна калькуляція собівартості продукції.

№ п/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Сировина й матеріали (за винятком відходів):	
	а) основні матеріали;	39,96
	б) допоміжні матеріали.	4
2	Заробітна плата основних робітників	6,27
3	Відрахування в соціальний фонд	2,35
4	Витрати на утримання й експлуатацію устаткування	23,05
5	Загально виробничі витрати	25,6
Разом виробнича собівартість		101,23
6	Загальногосподарські витрати (140% від зарплати основних робітників)	8,78
7	Поза виробничі витрати	8,85
Разом повна собівартість		115,86/48,48

Ціна деталі А/ деталі Б	140/40
Прибуток А/ прибуток Б	24,14/8,48

7.3 Визначення критеріїв ефективності інвестиційного проекту.

До критеріїв ефективності інвестицій ставляться:

- чиста наведена вартість – ЧПС;
- індекс прибутковості інвестицій – ИПИ;
- внутрішня норма рентабельності – ВНР;
- строк окупності – Т;
- коефіцієнт ефективності інвестицій – Е.

Річний прибуток $\Pi_{год}$ знаходимо по формулі:

$$\Pi_{год} = \sum_{i=1}^n n_i N_i, \text{ де}$$

n_i - прибуток виробу і- го найменування, грн;

N_i - річна програма випуску виробу і-го найменування, шт.

$$\Pi_{год} = 24,14 \times 15 + 8,48 \times 11000 = 93620 \text{ грн.}$$

Розрахунок вихідних показників представимо у вигляді таблиці 7.6 .

Таблиця 7.6. – Розрахунок вихідних показників інвестиційного проекту.

Вихідні показники проекту	За рік, тис. грн.
1. Прибуток за рахунок здійснення заходів	93,62

2. Амортизаційні відрахування	16,44
3. Прибуток оподатковувана податком	77,18
4. Сума податку на прибуток (30%)	23,15
5. Чистий прибуток	54,03
6. Чисті грошові надходження	70,47
7. Коефіцієнт дисконтирования*	3,7843

* розмірності не має

Чиста наведена вартість проекту ґрунтується на порівнянні обсягів вихідних інвестицій із загальною сумою дисконтних чистих надходжень:

$$\text{ЧПС} = \text{ЧДП} \cdot \text{К} - \text{ІС}, \text{ де}$$

ЧДП- чисті грошові надходження (по таблиці 6),

К- коефіцієнт дисконтирования,

ІС - вихідні інвестиції (таблиця 7.1), тис.грн,

$$\text{ЧПС} = 70,47 \times 3,7843 - 158,8 = 107,8 \text{ тис.грн.}$$

Індекс прибутковості інвестицій (ІПІ) розраховується по формулі:

$$\text{ІПІ} = \frac{\text{ЧДП} \times \text{К}}{\text{ІС}},$$

$$\text{ІПІ} = \frac{70,47 \times 3,7843}{158,8} = 1,7.$$

Тому що ІПІ > 1, то проект є ефективним і його можна прийняти.

Для більше повного обґрунтування прийняття інвестиційного проекту необхідно розрахувати строк окупності інвестицій:

$$T = \frac{\text{ІС}}{\text{П}_{\text{год}}}, \quad T = \frac{158,8}{93,62} = 1,7 \text{ года.}$$

Коефіцієнт ефективності інвестицій розраховується у відсотках відношенням середньорічного прибутку до середньої величини інвестицій:

$$E = \frac{\Pi_{\text{сод}}}{1/2IC},$$

$$E = \frac{93,62}{1/2 \times 158,8} = 1,17,$$

$$E = 117\%.$$

Отримані показники вказують на доцільність інвестиційного проекту.

7.4 Техніко - економічні показники проектованої ділянки.

Випуск продукції у вартісному відношенні:

$$ВПС = \sum N_i C_i, \text{ де}$$

N_i - річна програма випуску продукції i -го найменування, шт;

C_i - ціна одиниці продукції i -го найменування, грн.

$$ВПС = 140 \times 15 + 40 \times 11000 = 442100 \text{ грн.}$$

Фондовіддача:

$$\Phi_o = \frac{ВПС}{ОФ}, \text{ де}$$

ОФ- вартість основних фондів, тис.грн.

$$\Phi_o = \frac{442,1}{150,82} = 2,78 \text{ грн/грн.}$$

Продуктивність праці:

$$ПТ = \frac{ВПС}{n_{\text{осн}}} = \frac{442,1}{2} = 221,05 \text{ тыс. грн/чел.}$$

Рентабельність виробництва:

$$R = \frac{\Pi_{\text{год}}}{(OF + OBC)} 100\% , \text{ де}$$

$\Pi_{\text{год}}$ - річний прибуток, тис.грн.;

OF - вартість основних фондів, тис.грн.;

OBC - оборотні кошти за даними підприємства, тис.грн.

$$R = \frac{93,62}{208,82} 100\% = 40\% .$$

Для зручності й більшої наочності всі техніко- економічні показники зведемо в таблицю 7.7.

Таблиця 7.7. - Основні техніко- економічні показники дільниці

Назва показника	Одиниця виміру	Розмір показника
1. Програма випуску	тис.шт.	11,015
2. Програма випуску	тис. шт.	442,1
3. Тип виробництва	-	серійне
4. Кількість зхв у добу	зхв	1
5. Кількість робітників, у тому числі:		2
- основних	чол.	2
- допоміжних	чол.	1
- фахівців	чол.	1
6. Середньомісячна зарплата 1-го осн. робітника	грн.	475,62
7. Продуктивність праці	тис.грн./чол	221,05
8. Вартість основних фондів	тис.грн	158,82

9. Фондовіддача	грн/грн	2,78
10. Коефіцієнт завантаження устаткування	-	0,72
11. Собівартість одиниці продукції	грн.	45,86
12. Річний прибуток	тис.грн	93,62
13. Рентабельність виробництва	%	40
14. Строк окупності	років	1,7

З розрахунків видно, що проект є прибутковим і рентабельним.

8. Охорона праці

8.1. Розрахунок захисту електродвигунів проектованого верстата від перевантажень

Асинхронні двигуни трифазного змінного струму напругою до 500 В при потужностях від 0,05 до 350 - 400 кВт є найбільш поширеним видом електродвигунів.

Надійна та безперебійна робота електродвигунів забезпечується в першу чергу належним вибором їх по номінальній потужності, режиму роботи і формі виконання. Не менше значення має також дотримання необхідних вимог і правил при складанні електричної схеми, виборі пускорегулювальної апаратури, проводів та кабелів, монтажі та експлуатації електропривода.

Аварійні режими роботи електродвигунів

Навіть для правильно спроектованих і експлуатованих електроприводів при їх роботі завжди залишається ймовірність виникнення режимів, аварійних або ненормальних для двигуна та іншого електрообладнання.

До аварійних режимів відносяться:

1) багатофазні (трьох- і двофазні) і однофазні короткі замикання в обмотках електродвигуна; багатофазні короткі замикання в вивідній коробці електродвигуна і у зовнішніх силових колах (в проводах і кабелях, на контактах комутаційних апаратів, в ящиках опорів); короткі замикання фази на корпус або нульовий провід всередині двигуна чи у зовнішніх колах; в мережах із заземленою нейтраллю; короткі замикання в колі управління; короткі замикання між витками обмотки двигуна (виткове замикання).

Короткі замикання є найбільш небезпечними аварійними режимами в електроустановках. У більшості випадків вони виникають через пробій або перекриття ізоляції. Струми короткого замикання іноді досягають величин, в десятки і сотні разів переважаючих значення струмів нормального режиму, а їх тепловий вплив і динамічні зусилля, яким піддаються струмопровідні частини, можуть призвести до пошкодження всієї електроустановки;

2) теплові перевантаження електродвигуна через проходження по його обмотках підвищених струмів: при перевантаженнях робочого механізму з технологічних причин, особливо важких умовах пуску двигуна під навантаженням або його застряганні при тривалому зниженні напруги мережі, випаданні однієї з фаз зовнішнього силового кола або обриві проводу в обмотці двигуна, механічних пошкодженнях в двигуні або робочому механізмі, а також теплові перевантаження при погіршенні умов охолодження двигуна.

Теплові перевантаження викликають в першу чергу прискорене старіння і руйнування ізоляції двигуна, що призводить до коротких замикань, тобто до серйозної аварії і передчасного виходу двигуна з ладу.

Види захисту асинхронних електродвигунів

Для того щоб захистити електродвигун від пошкоджень при порушенні нормальних умов роботи, а також своєчасно відключити несправний двигун від мережі, запобігши або обмеживши тим самим розвиток аварії, передбачаються засоби захисту.

Головним і найбільш дієвим засобом є електричний захист двигунів. В залежності від характеру можливих пошкоджень і ненормальних режимів роботи розрізняють кілька основних найпоширеніших видів електричного захисту асинхронних двигунів.

Захист асинхронних електродвигунів від коротких замикань

Захист від коротких замикань відключає двигун при появі в його силовому колі або в колі управління струмів короткого замикання.

Апарати, які здійснюють захист від коротких замикань (плавкі запобіжники, електромагнітні реле, автоматичні вимикачі з електромагнітним розщеплювачем), діють практично миттєво, тобто без витримки часу.

Захист асинхронних електродвигунів від перевантаження

Захист від перевантаження оберігає двигун від неприпустимого перегріву, зокрема і при порівняно невеликих за величиною, але тривалих теплових перевантаженнях. Захист від перевантаження повинен застосовуватися тільки для електродвигунів тих робочих механізмів, у яких можливі ненормальні збільшення навантаження при порушеннях робочого процесу.

Апарати захисту від перевантаження (температурні і теплові реле, електромагнітні реле, автоматичні вимикачі з тепловим розщеплювачем або з часовим механізмом) при виникненні перевантаження відключають двигун з певною витримкою часу, тим більшою, чим менше перевантаження, а в ряді випадків, при значних перевантаженнях, - і миттєво.

Захист асинхронних електродвигунів від пониження або зникнення напруги

Захист від пониження або зникнення напруги (нульовий захист) виконується за допомогою одного або декількох електромагнітних апаратів, діє на відключення двигуна при перерві живлення або зниженні напруги мережі нижче встановленого значення і оберігає двигун від мимовільного включення після ліквідації перерви живлення або відновлення нормальної напруги мережі.

Спеціальний захист асинхронних електродвигунів від роботи на двох фазах оберігає двигун від перегріву, а також від «перекидання», тобто зупинки під струмом внаслідок зниження моменту, що розвивається двигуном, при обриві в одній з фаз головного ланцюга. Захист діє на відключення двигуна.

В якості апаратів захисту застосовуються як теплові, так і електромагнітні реле. В останньому випадку захист може не мати витримки часу.

Інші види електричного захисту асинхронних електродвигунів

Існують і деякі інші, рідше застосовувані види захисту (від підвищення напруги, однофазних замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю, збільшення швидкості обертання приводу і т. п.).

Електричні апарати, застосовувані для захисту електродвигунів

Апарати електричного захисту можуть здійснювати один або відразу декілька видів захистів. Так, деякі автоматичні вимикачі забезпечують захист від коротких замикань і від перевантаження. Одні з апаратів захисту, наприклад плавкі запобіжники, є апаратами одноразової дії і вимагають заміни або перезарядки після кожного спрацьовування, інші, такі як електромагнітні та теплові реле, - апарати багаторазової дії. Останні різняться за способом повернення в стан готовності на апарати з самоповерненням і з ручним поверненням.

Вибір виду електричного захисту асинхронних електродвигунів

Вибір того чи іншого виду захисту або декількох одночасно проводиться в кожному конкретному випадку з урахуванням ступеня відповідальності привода, його потужності, умов роботи і порядку обслуговування (наявності або відсутності постійного обслуговуючого персоналу).

Велику користь може принести аналіз даних по аварійності електроустаткування в цеху, на будівельному майданчику, в майстерні і т. п., виявлення найбільш часто повторюваних порушень нормальної роботи двигунів і технологічного обладнання. Завжди варто прагнути до того, щоб захист був по можливості простий і надійний в експлуатації.

Для кожного двигуна незалежно від його потужності і напруги має бути передбачений захист від коротких замикань. Тут потрібно мати на увазі наступні обставини. З одного боку, захист потрібно налаштовувати від пускових і гальмівних струмів двигуна, які можуть в 5-10 разів перевищувати його номінальний струм. З іншого боку, в ряді випадків коротких замикань, наприклад при виткових замиканнях, замиканнях між фазами поблизу від нульової точки обмотки статора, замиканнях на корпус усередині двигуна і т. п., захист повинен спрацьовувати при струмах, менших пускового струму.

Одночасне виконання цих суперечливих вимог за допомогою простих і дешевих засобів захисту представляє великі труднощі. Тому система захисту низьковольтних асинхронних двигунів будується при свідомому допущенні, що при деяких зазначених вище пошкодженнях в двигуні останній відключається захистом не відразу, а лише в процесі розвитку цих ушкоджень, після того як значно зросте струм, споживаний двигуном з мережі.

Одне з найважливіших вимог до пристроїв захисту двигунів - чітка дія її при аварійних і ненормальних режимах роботи двигунів і разом з тим неприпустимість помилкових спрацьовувань. Тому апарати захисту повинні бути правильно вибрані і ретельно відрегульовані [20].

8.2. Розрахунок місцевої витяжної вентиляції для проектованого верстата

Природна та штучна вентиляції повинні відповідати наступним санітарно-гігієнічним вимогам:

- створювати в робочій зоні приміщень нормовані метеорологічні умови праці (температуру, вологість і швидкість руху повітря);
- повністю усувати з приміщень шкідливі гази, пари, пил та аерозолі або розчиняти їх до допустимих концентрацій;
- не вносити в приміщення забруднене повітря ззовні або шляхом засмоктування із суміжних приміщень;
- не створювати на робочих місцях протягів чи різкого охолодження;
- бути доступними для керування та ремонту під час експлуатації;
- не створювати під час експлуатації додаткових незручностей (наприклад, шуму, вібрацій, потрапляння дощу, снігу тощо).

Найповніше вище перерахованим вимогам відповідає система кондиціонування повітря, яка також застосовується на підприємствах. За допомогою кондиціонерів створюються і автоматично підтримуються у виробничому приміщенні задані параметри повітряного середовища. При вирішенні питання щодо доцільності кондиціонування повітря слід враховувати і економічні чинники.

Необхідно зазначити, що до вентиляційних систем, встановлених у пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях висувається ціла низка додаткових вимог, які в цьому розділі не розглядаються.

Розглянемо типовий розрахунок місцевої витяжної вентиляції:

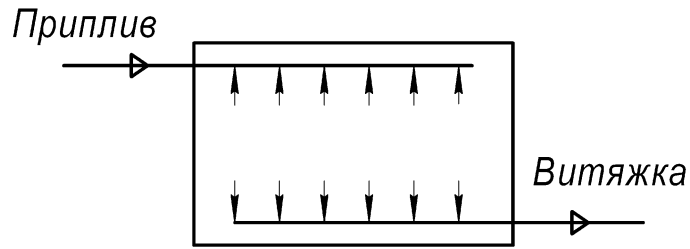


Рис. 8.1. Схема організації повітрообміну

Вихідні дані:

1. приміщення - механічний цех;
2. розмір приміщення V (м^2);
3. кількість шкідливих речовин (пил) U (мг/год).

Визначимо кількість повітря як потрібно замінити:

$$L = \frac{U}{(k_1 - k_2)}, \quad (8.1)$$

де U – кількість пилу, що надходить у повітря цеху, мг/год ;

k_1 - гранично допустима концентрація пилу, що надходить у повітря цеху, мг/м^3 ;

k_2 - концентрація тих же шкідливих речовин у припливному повітрі, мг/м^3 .

Визначаються площі поперечного перерізу повітропроводів на всіх розрахункових ділянках магістралі і в вітках за формулою, м^2 :

$$f_p = \frac{L}{3600 \cdot v_p}, \quad (8.2)$$

де L - об'єм транспортованого повітря, v_p – швидкість повітря.

Вибираємо стандартні розміри круглого повітропроводу з листової сталі $d=500$ мм.

Потрібний тиск, необхідний для передачі повітря повітропроводами, визначають через розрахунок суми втрат тиску на тертя і місцеві опори в сітці.

Втрати тиску на тертя для кожної ділянки (починаючи з найввідаленішої) і в вітках розраховуються за формулою, Па:

$$P_{mp} = R \cdot L, \quad (8.3)$$

де R – питомі втрати тиску на 1м довжини трубопроводів; L – довжина ділянки або вітки, м.

Питомі втрати тиску можуть бути визначені за табличними даними або за формулою, Па/м:

$$R = \frac{\lambda v_{\phi}^2 \cdot \gamma}{d \cdot 2 \cdot g}, \quad (8.4)$$

де λ - коефіцієнт опору тертя, який залежить від шорсткості стінок повітропроводу (для сталевих повітропроводів $\lambda / d = 0.031$); v_{ϕ} - швидкість повітря м/с; d - діаметр повітропроводів, мм; γ - питома вага, Н/м³; g – прискорення сили тяжіння, м/с².

Значення $\frac{\lambda}{d}$ приймаємо залежно від діаметру повітропроводу d , і швидкості транспортування повітря v_p .

Втрати тиску в місцевих опорах розраховують також послідовно для кожної ділянки і в вітках за формулою, Па:

$$z = \sum \xi \frac{v_{\phi}^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g}, \quad (8.5)$$

де ξ - коефіцієнт місцевих опорів.

Коефіцієнти місцевих опорів в трійнику враховують як зі сторони руху повітря магістралі, так і зі сторони віток. Втрати тиску у хрестовині дорівнюють сумі коефіцієнтів місцевих опорів двох трійників.

Загальні витрати тиску на кожній розрахунковій ділянці і вітках, Па:

$$H = R \cdot L + z. \quad (8.6)$$

Вибір вентиляційного обладнання

Необхідна потужність електродвигуна вентилятора, кВт:

$$N_{\text{вент}} = \frac{L \cdot H \cdot K}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}, \quad (8.7)$$

де L – кількість пилу що надходить в робочу зону, м³/г; H – тиск, що створюється вентилятором, Па; K - коефіцієнт запасу, $K = 1,1 \dots 1,5$; η - ККД вентилятора (0,5...0,8).

У відповідності від умов виробництва і потужності вибираємо закритий обдувний двигун [27].

8.3. Планування робіт щодо охорони праці

Планування роботи з охорони праці поділяється на перспективне, поточне та оперативне.

Перспективне планування охоплює найбільш важливі, трудомісткі й довгострокові за терміном виконання заходи з охорони праці, виконання яких, як правило, вимагає сумісної роботи кількох підрозділів підприємства. Можливість виконання заходів перспективного плану має бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат із зазначенням джерел фінансування. Основною формою перспективного планування роботи з охорони праці є розроблення комплексного плану підприємства (на 3-5 років) щодо покращення стану охорони праці.

Поточне планування здійснюється у межах календарного року шляхом розроблення та включення відповідних заходів до розділу «Охорона праці» колективного договору.

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюється за підсумками контролю стану охорони праці у структурних підрозділах і на підприємстві в цілому або перевірок органів державного нагляду. Оперативні заходи щодо усунення виявлених недоліків зазначаються у наказі роботодавця.

Функція СУОП (Система управління охороною праці) щодо організації та координації робіт передбачає формування органів управління охороною праці на всіх рівнях управління і всіх стадіях виробничого процесу, визначення обов'язків, прав, відповідальності та порядку взаємодії осіб, які беруть участь у процесі управління, а також прийняття та виконання відповідних рішень.

Контроль за станом охорони праці та функціонуванням СУОП забезпечує дієве управління охороною праці.

Контроль за охороною праці може бути:

- відомчим, що здійснюється посадовими особами, повноважними представниками та службами міністерства або іншого центрального органу виконавчої влади, а також асоціації, корпорації, концерну чи іншого об'єднання підприємств;

- регіональним, що здійснюється посадовими особами, повноважними представниками та службами місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування;

- громадським, що здійснюється виборними органами та представниками професійних спілок, інших громадських організацій;

- страховим, що здійснюється страховими експертами з охорони праці Фонду соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

- внутрішнім, що здійснюється в межах підприємства (установи, організації) відповідними службами, посадовими особами та громадськими інспекторами (уповноваженими трудових колективів) цього підприємства.

Надзвичайно важливе значення має внутрішній контроль, який на відміну від інших видів контролю проводиться значно частіше і від дієвості якого вагомо залежить стан охорони праці на підприємстві. Внутрішній контроль поділяється на:

- оперативний (повсякденний);

- такий, що здійснюється службою охорони праці підприємства;

- громадський;

- адміністративно-громадський триступеневий.

Так, адміністративно-громадський триступеневий контроль проводиться на трьох рівнях (ступенях).

На першому рівні контролю начальник виробничої дільниці (майстер) спільно з громадським інспектором профгрупи щоденно перевіряють стан охорони праці на виробничій дільниці.

На другому рівні начальник цеху разом з громадським інспектором та спеціалістами відповідних служб цеху (механіком, електриком, технологом) два рази в місяць (згідно із затвердженим графіком) перевіряють стан охорони праці в цеху.

На третьому рівні контролю щомісячно (згідно із затвердженим графіком) комісія підприємства під головуванням керівника (головного інженера) перевіряє стан охорони праці в цілому на підприємстві. До складу комісії входять: керівник служби охорони праці, голова комісії з охорони праці (або представник профкому), керівник медичної служби, працівник пожежної охорони та головні спеціалісти підприємства (технолог, механік, енергетик). Результати роботи комісії фіксуються в журналі триступеневого контролю і розглядаються на нараді. За результатами наради видається наказ по підприємству.

Облік, аналіз та оцінка показників охорони праці і функціонування СУОП спрямовані (відповідно до одержаної інформації) на розробку та прийняття відповідних рішень керівниками усіх рівнів управління (від майстра дільниці до керівника підприємства). Суть цієї функції полягає у системному та систематичному обліку показників стану охорони праці, в аналізі одержаних даних та узагальненні причин недодержання вимог законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці, причин невиконання планів покращення стану безпеки, гігієни праці, виробничого

середовища, а також у розробці заходів, спрямованих на усунення виявлених недоліків. Аналізуються матеріали про нещасні випадки та професійні захворювання, результати всіх видів контролю за станом охорони праці, дані паспортів санітарно-технічного стану умов праці в цеху (на ділянці), матеріали спеціальних обстежень будівель, споруд, приміщень, обладнання та ін. За результатами обліку, аналізу та оцінки стану охорони праці вносяться доповнення та уточнення до оперативних, поточних і перспективних планів роботи з охорони праці, а також визначаються кращі серед структурних підрозділів, служб, працівників за досягнуті показники з охорони праці.

Робота з оцінки виробничих умов, ідентифікації небезпек, оцінки та регулювання ризиків передбачає проведення комплексного аналізу по таким основним показникам:

1) коефіцієнт частоти травматизму $K_{ч}$ - кількість нещасних випадків або профзахворювань, які сталися на підприємстві у відповідний період часу, на 1000 працюючих. (див. ЛЗ, розділ «Методи дослідження травматизму»);

2) коефіцієнт тяжкості травматизму $K_{т}$ - середня тривалість непрацездатності одного потерпілого, яка виражена в робочих днях;

3) коефіцієнт додержання працівниками інструкцій з охорони праці ($K_{о}$), який визначають як співвідношення між кількістю працюючих із додержанням інструкцій з охорони праці та загальної чисельності працівників;

4) коефіцієнт технічної безпеки обладнання ($K_{бо}$) – співвідношення кількості по ССБП показників безпеки, яким відповідає обладнання, до загальної кількості показників ССБП даного обладнання;

5) коефіцієнт безпеки технологічних процесів ($K_{тп}$) – співвідношення кількості показників безпеки по всьому обсягу технічної документації на ці

технологічні процеси, що задовольняються, до загальної кількості таких показників;

б) коефіцієнт додержання допустимих рівнів шкідливих факторів (K_c), який обраховується як співвідношення між кількістю шкідливих факторів, що знаходяться на допустимому рівні і загальною кількістю шкідливих факторів, діючих на даному підприємстві [18].

9. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Планування заходів цивільного захисту на промисловому підприємстві у випадку надзвичайної ситуації

Цивільний захист на промисловому підприємстві організується з метою своєчасної підготовки об'єкта до захисту від наслідків НС та оперативного проведення рятувальних і інших невідкладних робіт.

Згідно зі ст. 8 закону України «Про цивільну оборону України» «Керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, організовує здійснення евакозаходів, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність до практичних дій, виконує інші заходи з цивільної оборони і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати в порядку та обсягах, передбачених законодавством».

На об'єктах підвищеної небезпеки (радіаційно-, хімічно-, вибухонебезпечних) створюються локальні системи виявлення загрози виникнення НС і оповіщення працівників цих об'єктів та місцевого населення, що проживає в зоні можливого ураження (згідно з законом України «Про цивільну оборону України» власники таких об'єктів відповідають за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах). Відповідно до затвердженої Державної цільової соціальної програми розвитку цивільного захисту на 2009-2013 роки, вищеназвані локальні системи мають бути створені до 2013 року на всіх об'єктах підвищеної небезпеки.

Відповідальність за цивільний захист об'єкта несе керівник цього об'єкта, він є начальником ЦЗ об'єкта і підпорядковується своєму старшому начальнику (міністерства чи відомства), а в оперативному відношенні начальнику цивільного захисту міста чи району.

Начальник цивільного захисту об'єкта несе відповідальність за:

- створення, організацію, підготовку і дієздатність системи цивільного захисту на підпорядкованому об'єкті;
- забезпечення захисту персоналу (а на об'єктах підвищеної небезпеки і за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах) під час загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру;
- організацію і здійснення заходів щодо попередження НС, а у разі їх виникнення – за мінімізацію збитків від них;
- створення і організацію роботи системи оповіщення на об'єкті;
- створення і організацію роботи комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій, а також евакуаційної комісії об'єкта;
- постійну готовність органів управління і невоєнізованих формувань об'єкта до функціонування в мирний і воєнний час;
- фінансове та матеріально-технічне забезпечення заходів у сфері цивільного захисту;
- підготовку і навчання персоналу до дій у НС.

Наказом начальника ЦЗ об'єкта призначаються заступники (як варіант з евакуації, інженерно-технічної частини, з матеріально-технічного постачання, з оперативних питань).

Органом управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту об'єкта є штаб цивільної оборони та надзвичайних ситуацій (штаб ЦО та НС) (далі – штаб ЦО).

Штаб ЦО очолює начальник штабу, який є першим заступником начальника ЦЗ об'єкта. До складу штабу входять заступники начальника штабу і необхідні спеціалісти. Штаб комплектується як штатними працівниками ЦЗ об'єкта так і посадовими особами підприємства, не звільненими від виконання своїх основних обов'язків.

Начальник штабу ЦО відповідає за безпосередню організацію та функціонування сил і засобів цивільного захисту під час загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру. Він має право віддавати розпорядження з питань цивільної оборони, захисту від НС техногенного, природного та воєнного характеру від імені начальника цивільного захисту об'єкту.

Начальник штабу ЦО несе відповідальність за:

- організацію своєчасного оповіщення і збору персоналу об'єкта;
- організацію роботи і узгодженість дій створених на об'єкті органів управління і структурних підрозділів цивільного захисту;
- розробку планової документації з питань цивільного захисту, її своєчасне уточнення і коригування;
- стан готовності особового складу невоєнізованих формувань цивільного захисту до дій за призначенням;
- своєчасне доведення до виконавців рішень начальника цивільного захисту та організацію контролю за їх виконанням;
- організацію збору і аналізу інформації щодо вірогідного виникнення надзвичайних ситуацій, відпрацювання пропозицій щодо захисту персоналу

(а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) від їх наслідків;

– виконання заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єкта в воєнний час та при виникненні надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру;

– організацію взаємодії з місцевими органами державної влади, підрозділами МНС України, аварійно-рятувальними службами тощо;

– організацію спеціальної підготовки і підвищення кваліфікації персоналу у сфері цивільної оборони, захисту від надзвичайних ситуацій.

Обов'язки начальника ЦЗ об'єкта та начальника штабу ЦО об'єкта у випадку надзвичайної ситуації при функціонуванні єдиної системи ЦЗ:

1. Усвідомити й оцінити обстановку, прийняти відповідні оперативні рішення, поставити завдання голові комісії з питань ТЕБ та НС, керівникам інших органів управління та невоєнізованих формувань цивільного захисту:

– на забезпечення своєчасного оповіщення персоналу об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

– на організацію дій НФЦЗ об'єкта щодо локалізації і ліквідації НС;

– на проведення рятувальних та інших невідкладних робіт;

– на організацію меддопомоги постраждалим і евакуацію їх у лікувальні заклади;

– на забезпечення контролю за заходами безпеки при веденні рятувальних, аварійно-відновлювальних та інших невідкладних робіт;

– на забезпечення безперервного керування заходами щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

- на організацію своєчасного коригування планів дій щодо ліквідації наслідків НС;

- на організацію спостереження за станом навколишнього середовища і джерелом небезпеки;

- на евакуацію персоналу у безпечні райони.

2. Доповісти вищестоящому керівництву про місце, час, причину, вид НС, завдані збитки, наслідки, вжиті заходи:

- забезпечити негайне доведення одержаного сигналу оповіщення чи інформації про виникнення надзвичайної ситуації до керівництва, невоєнізованих формувань цивільного захисту, усього персоналу об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

- прийняти негайні заходи щодо захисту персоналу (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) об'єкта;

- організувати здійснення рятувальних, аварійно-відновлювальних та інших невідкладних робіт;

- забезпечити функціонування за призначенням органів управління та невоєнізованих формувань цивільного захисту;

- організувати практичне виконання плану ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного, природного чи воєнного характеру та їх наслідків;

- приймати участь у діяльності комісії з питань ТЕБ та НС і евакуаційної комісії об'єкта;

- забезпечити розробку наказів, розпоряджень і вказівок начальника цивільного захисту та органів управління цивільного захисту;

– забезпечити своєчасне подання відповідних звітів і донесень до вищестоящого керівництва.

На великому об'єкті для організації і проведення заходів захисту від НС на базі відповідних структурних підрозділів (відділів, цехів тощо) об'єкта, в залежності від характеру його виробничої діяльності створюються служби цивільного захисту:

- оповіщення і зв'язку;
- протипожежна;
- аварійно-технічна;
- сховищ і укриттів;
- медична;
- охорони громадського порядку;
- протирадіаційного та протихімічного захисту;
- харчування та торгівлі;
- автотранспортна;
- матеріально-технічного постачання та інші.

На невеликому об'єкті служби ЦЗ не створюються, а їх функції при необхідності виконують структурні органи управління цього об'єкта. Керівники цих служб (керівники підрозділів на базі яких створені ці служби) відповідають за постійну готовність сил і засобів, за забезпечення підлеглих формувань спеціальними засобами (засобами індивідуального захисту, спецобладнанням, апаратурою, приладами, технікою тощо), за навчання діям у надзвичайних ситуаціях.

Для виконання завдань цивільного захисту на об'єкті створюються невоєнізовані формування. Вони поділяються на формування загального

призначення (наприклад, рятувальні загони, команди, групи) і формування служб (команди, групи, дружини, ланки, пости).

Невоєнізовані формування – це завчасно підготовлені до дій у НС групи робітників та службовців об'єкта, які об'єднані в окремі загони, команди, дружини, ланки, групи, пости зі спеціальною технікою, приладами та майном, без звільнення їх від основної роботи.

10. Екологія

10.1. Забруднення, які виникають у цехах механічної обробки, методи їх знешкодження

Сучасне машинобудування розвивається на базі великих виробничих об'єднань, що включають заготівельні і ковальсько-пресові цехи, цехи термічної і механічної обробки металів, цехи покриттів, а в ряді випадків і велике ливарне виробництво. До складу підприємств також входять випробувальні станції і допоміжні підрозділи. В процесі виробництва машин та устаткування широко використовуються зварювальні роботи, механічна обробка металів, переробка неметалевих матеріалів, лакофарбові операції .

Цехи механічної обробки. Механічна обробка металів на верстатах супроводжується виділенням пилу, стружки, туманів масел і емульсій, які через вентиляційну систему викидаються з приміщень. В таблиці 10.1 наведено кількість (грами) парів води, туманів масел і емульсії, що виділяються за 1 годину при роботі верстатів у розрахунку на 1 кВт потужності встановлюваних на верстатах електродвигунів.

Таблиця 10.1

Забруднення, що виділяються за 1 год при роботі верстатів на 1 кВт потужності встановлюваних на верстатах електродвигунів

Обладнання	Пари води	Масляний туман	Туман емульсій
МРВ при масляному охолодженні	-	0,02	-
МРВ при емульсійному охолодженні	150	-	0,0063
Шліфувальні верстати при охолодженні емульсією і содовим розчином	150	-	0,165
Шліфувальні верстати при охолодженні маслом	-	30	-

В процесах шліфування і полірування виділяється велика кількість тонкодисперсного пилю. Пил, що утворюється в процесі абразивної обробки на 30-40% складається з матеріалу абразивного круга, на 60-70% - з матеріалу оброблюваного виробу. Кількість виділяється пилю залежить від розмірів і твердості оброблюваного матеріалу, діаметра і окружної швидкості кола, а також способу подачі виробу. При зачистці і шліфуванні виробів виділяється більш 50 г/год пилю з одного верстата. При заточуванні інструменту пил має наступний фракційний склад:

Таблиця 10.2

Фракційний склад пилю при заточуванні інструмента

Розмір частинок, мкм	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	>60
Фракційний склад, %	13	12,1	22,8	22,9	21,8	7,4

Основні заходи захисту атмосфери від забруднень промисловими пилами і туманами передбачають широке використання пило- та тумановловлюючих апаратів і систем. Виходячи з сучасної класифікації пиловловлюючих систем, заснованої на принципових особливостях процесу очищення, пилоочисне обладнання можна розділити на чотири групи: сухі пиловловлювачі, мокрі пиловловлювачі, електрофільтри і фільтри. Пиловловлювачі різних типів, в тому числі і електрофільтри, застосовують при підвищених концентраціях домішок в повітрі. Фільтри використовуються для тонкої очистки повітря з концентраціями домішок менш 100 мг/м³. Якщо потрібно тонке очищення повітря при високих початкових концентраціях домішок, то очищення ведуть в системі послідовно з'єднаних пиловловників і фільтрів.

До сухих пиловловлювачів відносяться всі апарати, в яких відділення частинок домішок від повітряного потоку відбувається механічним шляхом за рахунок сил гравітації, інерції, Кориоліса. Конструктивно сухі

пиловловлювачі розділяють на циклони, ротаційні, вихрові, радіальні, жалюзійні пиловловлювачі та ін.

Апарати мокрого очищення газів мають широке поширення характеризуючись високою ефективністю очистки від дрібнодисперсних пилів з $d_p \geq (0,3-1,0)$ мкм, а також можливістю очищення від пилу гарячих і вибухонебезпечних газів. Однак мокрі пиловловлювачі володіють рядом недоліків, що обмежує область їх застосування: утворення в процесі очищення шламу, що вимагає спеціальних систем для його переробки; попадання вологи в атмосферу і утворення відкладень в відповідних газовідводах при охолодженні газів до точки роси; необхідність створення оборотних систем подачі води в пиловловлювач.

Апарати мокрого очищення працюють за принципом осадження частинок пилу або на поверхню крапель рідини, або на поверхню плівки рідини. Осадження частинок пилу на рідину відбувається під дією сил інерції і броунівського руху.

Конструктивно мокрі пиловловлювачі розділяють на скрубери Вентурі, форсункові і відцентрові скрубери, апарати ударно-інерційного типу, барботажно-пінні апарати і ін.

Електрична очистка - один з найбільш досконалих видів очищення газів від частинок пилу і туману. Цей процес заснований на ударній іонізації газу в зоні коронуючого розряду, передачі заряду іонів частинкам домішок і осадженні останніх на осаджувальних і коронуючих електродах.

Забруднені гази, що надходять в електрофільтр, завжди виявляються частково іонізованими за рахунок різних зовнішніх впливів (рентгенівських променів, радіоактивних випромінювань, космічних променів, нагрівання газу і ін.), тому вони здатні проводити струм, потрапляючи в простір між двома електродами. Величина сили струму залежить від числа іонів і напруги

між електродами. При збільшенні напруги в рух між електродами втягується все більше число іонів і величина струму зростає до тих пір, поки в русі не опиняться всі іони, наявні в газі. При цьому величина сили струму стає постійною (струм насичення), незважаючи на подальше зростання напруги. При деякій досить великій нарузі рухомі іони і електрони настільки прискорюються, що, стикаючись з молекулами газу, іонізують їх, перетворюючи нейтральні молекули в позитивні іони і електрони. Утворені нові іони і електрони прискорюються електричним полем і в свою чергу іонізують нові молекули газу. Цей процес називається ударною іонізацією газу.

Фільтри широко використовуються в промисловості для тонкого очищення вентиляційного повітря від домішок, а також для промислової та санітарної очистки газових викидів.

Процес фільтрування полягає в затриманні частинок домішок на пористих перегородках при русі дисперсних середовищ через них.

Для очищення повітря від туманів кислот, лугів, масел та інших рідин використовуються волокнисті фільтри, принцип дії яких заснований на осадженні крапель на поверхні пор з наступним стіканням рідини під дією сил тяжіння. Осадження крапель рідини на поверхні пор відбувається під дією всіх раніше розглянутих механізмів відділення частинок забруднювача від газової фази на фільтроелементах.

Тумановловлювачі ділять на низькошвидкісні ($\omega_{\phi} \leq 0,15$ м/с), в яких переважає механізм дифузійного осадження крапель, і високошвидкісні ($\omega_{\phi} = 2-2,5$ м/с), де осадження відбувається головним чином під впливом інерційних сил.

10.2. Методи переробки твердих металевих відходів

Обробку доцільно проводити в місцях утворення відходів, що скорочує витрати на вантажно-розвантажувальні роботи, знижує безповоротні втрати при їх перевалюванні і транспортування і вивільняє транспортні засоби.

Ефективність використання брухту і відходів металів залежить від їх якості. Забруднення і засмічення металовідходів призводять до великих втрат при переробці, тому збір, зберігання і здача їх регламентуються спеціальними стандартами (ГОСТ 2787-75 «Брухт і відходи чорних металів. Шихтові. Класифікація та технічні вимоги»; ГОСТ 1639-71 «Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні вимоги»; ГОСТ 1993-73 «Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Правила збору, первинної обробки, зберігання і транспортування»).

Основні операції первинної обробки металовідходів - сортування, оброблення та механічна обробка. Сортування полягає в розділенні брухту і відходів за видами металів. Розбирання брухту полягає у видаленні неметалевих включень. Механічна обробка включає рубку, різання, пакетування і брикетування на пресах.

Пакетування відходів організується на підприємствах, на яких утворюється 50 т і більше висікання і обрізків на місяць. Кожна партія повинна супроводжуватися посвідченням про вибухобезпеку та нешкідливість. Стружку переробляють на пакетувальних пресах, стружкодробарках, брикетувальних пресах. Брикетуванню (подрібненню на куски шляхом механічного ущільнення на пресах, під молотком та інших механізмах) піддається суха і неокислена стружка одного виду, що не містить сторонніх домішок з довжиною елемента до 40 мм для сталеві і 20 мм для чавунної стружки. Пресування зливної стружки доцільно проводити в відпаленого стані, так як при цьому відпадає необхідність виконання таких підготовчих операцій, як дроблення, знежирення, відбір обтиральних

матеріалів і дрібних шматків металу.

Відносна частка окремих операцій у процесі переробки чорних металів на машинобудівних підприємствах становить (%): пакування - 10,4; різка ножицями - 5,5; дроблення - 19,2; брикетування - 5,8; копова розбивка - 8,5; витяг металів з відвалів - 2,7; розбирання вибухом - 1,8; вогнева різка - 26,1; сортування - 18,0; інші - 2,0.

На підприємствах, де утворюється велика кількість металовідходів, організуються спеціальні цехи (ділянки) для утилізації вторинних металів. Чисті однорідні відходи з паспортом, котрі засвідчують їх хімічний склад, використовують без попереднього металургійного переділу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Метою, поставленою в дипломній роботі, є покращення кількісних і якісних характеристик токарної обробки на верстаті горизонтальної компоновки.

На основі аналізу завдання на дипломну роботу були визначені і завдання власне самого студіювання об'єкту і предмету дослідження.

Був проведений інформаційний і аналітичний огляд джерел, що торкаються визначених в дипломній роботі питань.

Для розгляду в узагальненому плані нами були проаналізовані задачі для різних досліджень оптимізаційного характеру стосовно теми роботи.

Зокрема в роботі проведено розроблення технологічного процесу типової деталі-представника, яким обрано вал-тихохідний. При такому проектуванні проводився також пошук оптимізаційного характеру, як виду заготовки, так і маршрутної, а також операційної технології.

Для випадку токарного оброблення був проведений пошук найкращих схем формоутворення обраної деталі, а також формалізовані правила оптимізаційного відбору раціонального компонування рішення для верстату горизонтальної композиції.

При проектуванні кінематичної схеми був проведений оптимізаційний відбір раціональних структурних сіток і на їх основі запропонований загальний підхід до розробки кінематичної схеми в цілому.

В науковому розділі відповідно до викладеної мети дослідження нами показано, що найкраще використовувати в якості оцінки при чорновому обробленні деталей, зокрема точінні, функцію мети продуктивності різання, яка базується на використанні як найбільшої кількості чисел обертів шпинделя і поздовжньої подачі.

В результаті побудована математична модель, яка передбачає оптимізацію режимів обробки при чорновому точінні.

При цьому були задіяні як аналітичний підхід до розв'язку, так і його графічна інтерпретація, і що важливо – у лінеаризованій постановці.

Важливим є те, що за рахунок супутнього аналізу можна значно спростити розв'язок задачі і здійснити його в основному аналітично.

Новим є те, що для кінцевої оцінки оптимізаційного рішення задіяний метод аналізу динамічної стійкості обробляючої системи, який дозволяє перевірити достатність оптимізаційних параметрів для забезпечення протидії автоколиванням.

Викладений підхід можна вважати ще одним обґрунтованим кроком у напрямку практичного застосування ефективних методів пошуку оптимальних схем проектування технологічних процесів.

Дипломна робота супроводжується техніко-економічним обґрунтуванням. Окрім того, виконані необхідні представлення для заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності. В дипломній роботі також розглянуті визначені питання екологічного характеру.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов, Ю.М. Теорія технічних систем /Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310с.
2. Кузнецов, Ю.М. Теория технических систем: Учебник /Ю.М. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луців. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2010. – 252с.
3. Системы автоматизированного проектирования. Кн. 1-9/ Серия учебных пособий под. ред. И.П. Норенкова. – М.: Высшая школа, 1986.
4. Старков, В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве /В.К. Старков. – М.: Машиностроение, 1989. – 296с.
5. Бобров, В.Ф. Основы теории резания металлов /В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344с.
6. Кроль, О.С. Теория резания металлов в примерах и задачах: Учеб. пособие /О.С. Кроль, Е.У. Зарубицкий, В.Н. Киселев. – К.: УМК ВО, 1992. -124с.
7. Хмеловский, Г.Л. Основы автоматизации технологического проектирования: Учеб. Пособие /Хмеловский Г.Л., Кроль О.С., Сурнин Ю.М. - К.: УМК ВО, 1989. -188с.
8. Гуляев, А.П. Металловедение /А.П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1986. – 272с.
9. Балакшин, Б.С. Основы технологи машиностроения /Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 561с.
10. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения /А.Ф. Горбацевич. – Минск: Высшая школа, 1975. – 288с.
11. Егоров, М.Е. Технология машиностроения /М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1976. – 535с.
12. Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов: Справочник /Ю.В. Барановский. – М.: Машиностроение, 1972. – 408с.

13. Металлорежущие станки: Учебник /В.Э.Пуш и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 575с.
14. Маеров, А.Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учебное пособие / А.Г.Маеров. М.: Машиностроение, 1986.
15. Проников, А.С. Металлорежущие станки и автоматы /А.С. Проников и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 479с.
16. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1987. – 345с.
17. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков /Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
18. Пуш, В.Э. Конструирование металлорежущих станков /В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 561с.
19. Дубиняк, С.А. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ: Учеб. пособие /С.А. Дубиняк, С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив, И.Д. Дубецкий. – К.: УМК ВО, 1989. -152с.
20. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. Д.Н.Решетова. В 2-х т. – М.: Машиностроение, 1970.
21. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304с.
22. Анельчик, Д.Є. Система різання: фізичні основи і оптимізація /Д.Є. Анельчик, С.В. Швець, І.В. Луців, І.Д. Дубецький. Під ред. І.В. Луціва. – Одеса-Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2000. – 145с.
23. Якобс, Г.Ю. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации /Г.Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279с.
24. Подураев, В.Н. Технология фізико-хімічних методів обробки /В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1985. – 264с.
25. Армарево, Д.А. Обработка металлов резанием /Д.А. Армарево, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325с.

26. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
27. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов /Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 608с.
28. Шанайда, В.В. Пакет MathCADв інженерних розрахунках /В.В. Шанайда. –Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2001. – 163с.
29. Кудинов, В.А. Динамика станков /В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359с.
30. Луців, І.В. Аналіз частотними методами динамічної стійкості багатолезової самоналагоджувальної обробки / І.В. Луців //Вісник Тернопільського державного університету, 1999, т.4, №1, с.97-103.
31. Кедров, С.С. Колебания металлорежущих станков /С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199с.
32. Луців І.В. Процедура оптимізаційного дослідження режимів токарного оброблення при проектуванні технологічних процесів / І.В. Луців, Б.С. Сагайдак//Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і студентів 27-28 листопада 2019 року. В 3-х т. Том I: ТНТУ, 2019, с.113-114 .
33. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія /Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин. – К.: - Тернопіль: Терно-Граф, 2011. 692 с.
34. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т./Под ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994.
35. Кузнецов Ю. Н., Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки: монография/ Ю.Н. Кузнецов, О.И. Драчев, И.В. Луцив И.В., Шевченко А.В., Волошин В.Н.. – Старый Оскол: ТНТУ, 2014. – 480 с.
36. Луців І.В. Багатолезове адаптивне оснащення: техніко-економічні показники//Вісник ЖДТУ. - Житомир: ЖДТУ, 2001, 316, с. 52-59.

ДОДАТКИ

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1			ДР 18-35.02.00.000-СК	<u>Пояснювальна записка</u>		
				<u>Деталі</u>		
		1	ДР 18-35.02.00.000-01	Поздовжня каретка	1	
		2	ДР 18-35.02.00.000-02	Коробка подач	1	
		3	ДР 18-35.02.00.000-03	Рукоятка	1	
		4	ДР 18-35.02.00.000-04	Рукоятка	1	
		5	ДР 18-35.02.00.000-05	Рукоятка	1	
		6	ДР 18-35.02.00.000-06	Станина	1	
		7	ДР 18-35.02.00.000-07	Передня бабка	1	
		8	ДР 18-35.02.00.000-08	Рукоятка	1	
		9	ДР 18-35.02.00.000-09	Рукоятка	1	
		10	ДР 18-35.02.00.000-10	Коробка швидкостей	1	
		11	ДР 18-35.02.00.000-11	Супорт	1	
		12	ДР 18-35.02.00.000-12	Поперечна каретка	1	
		13	ДР 18-35.02.00.000-13	Різцева каретка	1	
		14	ДР 18-35.02.00.000-14	Фартук	1	
		15	ДР 18-35.02.00.000-15	Рукоятка переключення	1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат	ДР 18-35.02.00.000СП	
Розроб.	Сагайдак Б.				Літ.	Аркуш
Перев.	Луців І.В.					1
Реценз.						2
Н.контр.	КобельникВ.				ТНТУ, гр.. МВд-2	
Затв.	КобельникВ.					

Специфікація
Токарний верстат
горизонтальної компоновки

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.	
				<u>Документація</u>			
A1			ДР 18-35.03.00.000-СК	<u>Пояснювальна записка</u>			
				<u>Деталі</u>			
		1	ДР 18-35.03.00.000-01	Корпус	1		
		2	ДР 18-35.03.00.000-02	Приводний вал	1		
		3	ДР 18-35.03.00.000-03	Вал 2	1		
		4	ДР 18-35.03.00.000-04	Вал 3	1		
		5	ДР 18-35.03.00.000-05	Вал 4	1		
		6	ДР 18-35.03.00.000-06	Вал 5	1		
		7	ДР 18-35.03.00.000-07	Шпindelний вал	1		
		8	ДР 18-35.03.00.000-08	Зубчасте колесо	1		
		9	ДР 18-35.03.00.000-09	Зубчасте колесо	1		
		10	ДР 18-35.03.00.000-10	Рухомий блок	1		
		11	ДР 18-35.03.00.000-11	Рухомий блок	1		
		12	ДР 18-35.03.00.000-12	Зубчасте колесо	1		
		13	ДР 18-35.03.00.000-13	Зубчасте колесо	1		
		14	ДР 18-35.03.00.000-14	Зубчасте колесо	1		
		15	ДР 18-35.03.00.000-15	Зубчасте колесо	1		
			ДР 18-35.03.00.000СП				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Сагайдак Б.			Літ.	Аркуш	
Перев.		Луців І.В.				1	
Реценз.					Аркушів	4	
Н.контр.		КобельникВ.			ТНТУ, гр.. МВд-2		
Затв.		КобельникВ.					
Специфікація							
Розгортка коробки							
швидкостей							

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.	
		16	ДР 18-35.03.00.000-16	Зубчасте колесо	1		
		17	ДР 18-35.03.00.000-17	Рухомий блок	1		
		18	ДР 18-35.03.00.000-18	Зубчасте колесо	1		
		19	ДР 18-35.03.00.000-19	Рухомий блок	1		
		20	ДР 18-35.03.00.000-20	Нерухомий блок	1		
		21	ДР 18-35.03.00.000-21	Зубчасте колесо	1		
		22	ДР 18-35.03.00.000-22	Зубчасте колесо	1		
		23	ДР 18-35.03.00.000-23	Нерухомий блок	1		
		24	ДР 18-35.03.00.000-24	Кришка підшипника	1		
		25	ДР 18-35.03.00.000-25	Кришка підшипника	2		
		26	ДР 18-35.03.00.000-26	Кришка підшипника	2		
		27	ДР 18-35.03.00.000-27	Кришка підшипника	2		
		28	ДР 18-35.03.00.000-28	Кришка підшипника	2		
		29	ДР 18-35.03.00.00029	Кришка підшипника	1		
		30	ДР 18-35.03.00.000-30	Кришка підшипника	1		
		31	ДР 18-35.03.00.000-31	Кришка підшипника	1		
		32	ДР 18-35.03.00.000-32	Втулка	1		
		33	ДР 18-35.03.00.000-33	Втулка	1		
		34	ДР 18-35.03.00.000-34	Втулка	1		
		35	ДР 18-35.03.00.000-35	Втулка	1		
		36	ДР 18-35.03.00.000-36	Втулка	1		
		37	ДР 18-35.03.00.000-37	Втулка	1		
		38	ДР 18-35.03.00.000-38	Втулка	2		
		39	ДР 18-35.03.00.000-39	Втулка	2		
		40	ДР 18-35.03.00.000-40	Втулка	2		
				ДР 18-35.03.00.000СП			2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат			

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
		64	ДР 18-35.03.00.000-88	Манжети 1-20x40-1 ГОСТ8752-79	1	
		63	ДР 18-35.03.00.000-61	Підшипник 46204 ГОСТ 831-75	2	
		64	ДР 18-35.03.00.000-62	Підшипник 46204 ГОСТ 831-75	8	
		65	ДР 18-35.03.00.000-63	Підшипник 46304 ГОСТ 831-75	6	
		66	ДР 18-35.03.00.000-64	Підшипник 46205 ГОСТ 831-75	1	
		67	ДР 18-35.03.00.000-65	Підшипник 46209 ГОСТ 831-75	4	
		68	ДР 18-35.03.00.000-66	Підшипник 46314 ГОСТ 831-75	1	
		69	ДР 18-35.03.00.000-67	Підшипник 46211 ГОСТ 831-75	2	
		70	ДР 18-35.03.00.000-68	Підшипник 3182116к	1	
		71	ДР 18-35.03.00.000-69	Підшипник 178819 ГОСТ 20821-75	1	
		72	ДР 18-35.03.00.000-70	Підшипник 3182119к	1	
			ДР 18-35.03.00.000-55	Прокладка регулювальна	2	
			ДР 18-35.03.00.000-56	Прокладка регулювальна	2	
			ДР 18-35.03.00.000-57	Прокладка регулювальна	2	
			ДР 18-35.03.00.000-58	Прокладка регулювальна	2	
			ДР 18-35.03.00.000-59	Прокладка регулювальна	1	
			ДР 18-35.03.00.000-60	Прокладка регулювальна	1	
		79	ДР 18-35.03.00.000-91	Шайба 20 ГОСТ 11872-89	1	
			ДР 18-35.03.00.000-53	Шків 290 ГОСТ 1284-68	1	
		81	ДР 18-35.03.00.000-71	Шпонка 6x6x50 ГОСТ 23360-78	1	
		82	ДР 18-35.03.00.000-72	Шпонка 6x6x16 ГОСТ 23360-78	2	
		83	ДР 18-35.03.00.000-73	Шпонка 8x7x25 ГОСТ 23360-78	4	
		84	ДР 18-35.03.00.000-74	Шпонка 12x8x40 ГОСТ 23360-78	1	
		85	ДР 18-35.03.00.000-75	Шпонка 16x10x80 ГОСТ 23360-78	1	
		86	ДР 18-35.03.00.000-76	Шпонка 22x14x110 ГОСТ 23360-78	2	
			ДР 18-35.03.00.000СП			4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

УДК 621.9.06

І.В. Луців, д.т.н., проф., Б.С. Сагайдак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ПРОЦЕДУРА ОПТИМІЗАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ
ТОКАРНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ**

I.V. Lutsiv, Dr., Prof., B.S. Sahajdak

**PROCEDURE OF TURNING CUTTING CONDITIONS OPTIMIZATION
RESEARCH IN MANUFACTURING PROCESS DEVELOPMENT**

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки першочергове значення надається забезпеченню високої економічності процесу обробки, тобто досягненню його найважливіших економічно вигідних показників [1]. Цим визначається змістовне наповнення математично-прикладної постановки задачі такої оптимізації – знаходження серед безлічі технічних варіантів такого, що визначає позитивно вирашений економічний результат [2]. Така задача є багатоструктурною, багатокритеріальною і багатоваріантною водночас.

Перш за все оптимізаційну задачу можна поділити на маршрутну, операційну та внутрі-операційну складові. Так, стосовно до точіння (наприклад валів) наближено можна говорити про такі етапи раціонального пошуку оптимального складового елементу технологічного процесу обробки: а) розподіл припусків; б) оптимізація силового режиму чорнового точіння; в) досягнення високої якості поверхні при чистовому обробленні; г) забезпечення високого рівня працездатності технологічної системи верстат (шпиндель, затискний пристрій, спосіб закріплення), оброблювана заготовка (попередні операції, конструкція, матеріал), супортна група з інструментальним оснащенням (різальна частина, її геометрія, кріплення, елементи адаптації, тощо), д) досягнення надійного запасу динамічної стійкості такої системи.

Найважливішими характеристиками при пошуку оптимального технологічного процесу є штучний технологічний час чи штучна продуктивність [3]. При цьому їх слід віднести до основних факторів, що визначають економічні показники, що безпосередньо призводить до рішення про оптимізацію елементів режимів різання, як найважливішого етапу раціонального проектування оптимального технологічного процесу. Зокрема, це є особливо істотним в наш час при застосуванні програмно керованого обладнання, яке дозволило збільшити долю основного часу в загальній структурі часу на обробку до більше 55%. Раціональний поділ припуску при різних проходах вирішується за рахунок застосування методу динамічного програмування або ж раціональними положеннями попереднього інженерного досвіду (глибина різання на першому проході – найбільша, а на останньому – хоча б не менша за попередні і т.д.). Досить істотним є відоме положення про оптимальне визначення швидкості різання при обробці залежно від визначеного раціонального періоду стійкості різального інструменту [4], особливо при застосуванні при обробці швидкорізальних сталей, хоча в даний час при використанні дороговартісного нового сучасного обладнання із ЧПК, а особливо при обробці на оброблювальних центрах, з врахуванням застосування змінних непереточуваних пластин із твердих сплавів, такий підхід втрачає свою визначальність. Основним обмежувальним критерієм при чистовій обробці часто є забезпечення необхідної шорсткості і мінімальної хвилястості оброблюваної поверхні. В результаті, необхідність істотного збільшення продуктивності обробки при врахуванні раціонального поділу припуску, тобто, при оптимальному значенні

глибини різання, призвела до пошуку оптимальних режимів обробки за критеріями максимізації добутку $n \cdot s$ (n – частота обертання шпинделя; s – подача на один оберт).

Таким чином, оптимізаційна задача може бути зведена до її плоскої постановки.

Нами проаналізований підхід щодо раціоналізації параметрів n і s для випадку чорнового точіння деталі «вал тихохідний». При цьому обмеження, що формують область визначення функції мети були сформульовані в такому вигляді: 1) за різальними можливостями інструменту; 2) за потужністю руху різання; 3) за допустимим зусиллям приводу подачі; 4) за міцністю державки різця; 5) за міцністю різальної пластини; 6-9) за граничними значеннями подачі і частоти обертання шпинделя верстату. Систему нерівностей із зазначенням постійного рівня функції мети можна розв'язувати як графоаналітичну задачу [5] або ж аналітичну методом геометричного моделювання чи іншим. Геометрична інтерпретація задачі на попередньому етапі дає істотну можливість її значно спростити стосовно області формування можливих значень існування максимального значення функції мети. Тобто фактично можна досягнути простої за формою оптимізованої області допустимих значень. При цьому приходимо до достатньо нескладної системи нерівностей в логарифмічній системі координат ($x_1 = \ln(n)$ – вісь ординат, а $x_2 = \ln(s)$ – вісь абсцис) виду:

$$\begin{aligned} \alpha_{11}x_1 + \alpha_{21}x_2 \leq \beta_1; \quad \alpha_{12}x_1 + \alpha_{22}x_2 \leq \beta_2; \\ \gamma_1 \leq x_1 \leq \gamma_2; \quad \gamma_3 \leq x_2 \leq \gamma_4. \end{aligned}$$

При аналізі цих залежностей нами показано, що шукане оптимальне рішення щодо значень елементів режимів різання лежить на границі оптимізованої області допустимих значень у вузлових точках, а значення оптимального режиму різання легко отримати аналітично перебором значень $x_1 + x_2 \rightarrow \max$.

В подальшому дуже важливою є перевірка отриманого оптимального режиму різання на вібростійкість. При цьому варто скористатись динамічною характеристикою процесу різання у формі аперіодичної ланки, запропонованою О.В. Кудиновим, при умові представлення пружної системи верстатно-інструментального оснащення у вигляді одно масової системи із пружним і демпфуючим зв'язками. При цьому можна використати алгебраїчний критерій Рауса-Гурвіца або ж частотний критерій Найквіста. Таким чином, розраховуємо значення гранично можливої глибини різання, яке дозволяє дана система, при визначених швидкості різання та подачі. Така перевірка дозволяє забезпечити різання з надійним рівнем динамічної стійкості.

Викладений підхід можна вважати ще одним обґрунтованим кроком у напрямку практичного застосування ефективних методів пошуку оптимальних схем проектування технологічних процесів.

Література.

1. Якобс Г.Ю. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации/ Г.Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Кузнецов Ю.М. Теория технических систем/ Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. – Тернопіль, 1997. – 310 с.
3. Анельчик Д.Є. Система різання: фізичні основи і оптимізація/ Д.Є. Анельчик, С.В. Швець, І.В. Луців, І.Д. Дубецький. Одеса – Тернопіль: ТДГУ, 2000. – 145 с.
4. Грановский Г.И. Резание металлов/ Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 334 с.