



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект оптимізації конструкції торкостійких
(вказати тему дипломного проекту (роботи))
вагів в ТТД за допомогою системи МатГЕВ методом кінцевих

Студент

Савченко Д.В.Спеціальність «131 Трикошарна механіка» група МЗ-113МОбсяг проекту кваліф.Кількість аркушів креслень 9,5Кількість сторінок пояснювальної записки 180

а) короткий зміст проекту та прийнятих рішень в роботі
спроектовано ТТД роботи вага, верстатна
та контрольне устаткування,
спроектовано гілку механічної обробки
вагів та виготовлені дві павати -
метки на дваль.

б) висновок про відповідність проекту завданню
робота відповідає завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту,
рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим
методам роботи

всі розділи роботи відповідають
сучасним досягненням науки і
техніки.

г) негативні особливості виконання проекту
при проектуванні контрольного устаткування не розраховано торкостійкості
вагів.

д) позитивні особливості

думково зроблено оцінку оптимальності
технічної та економічної частини.

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту
графічне оформлення та пояснювальна
записка зроблені з урахуванням
вимог.

е) відгук про роботу загалом машинерська робота
виробничого характеру з рівною якістю
виконання роботи маюча.

ж) інші зауваження інших зауважень
нема.

з) оцінка проекту робота готова до захисту.
Синтез складання Д.В. Заслужено
судити "зарядило"

Рецензію склав доц. кат ТМБ Коробка О.Б.
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

« » 20 р.

[14:26:11] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1312 [3] (200034 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:26:32] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1317 [3] (200037 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:27:20] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1322 [3] (200023 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:27:33] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1327 [3] (200039 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:28:04] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1332 [3] (200023 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:28:44] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1337 [3] (200054 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:29:00] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1342 [3] (200039 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:29:40] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1347 [3] (200039 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:29:54] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1352 [3] (200023 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:31:03] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1357 [3] (200055 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

[14:33:06] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №1362 [3] (200070 миллисек.: Yandex
(Время ожидания операции истекло)

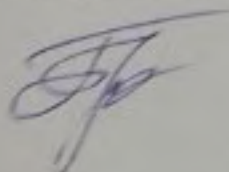
[14:33:07] Тип проверки: Стандартная

[14:33:07] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 22%)**

[14:33:07] **Уникальность текста 74%^c (Пропигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Сагалатий Д.В.,
провів зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

18.12.2018р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машчобудівний

(повна назва факультету, кафедри)

Технології Машчобудування

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

групи (магістерський)

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Оптимізації конструкції шкворнів
вд. ГТД за допомогою системи ANSYS
методом скінченних елементів

Виконав: студент 6 курсу, групи ШЗ-113М
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладна механіка

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Баталов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Памюк А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Козлова О.Б.

(прізвище та ініціали)

Інститут, факультет: Машинобудівничий
Кафедра: Технології машинобудування
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь): другий (магістерський)
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Напрямок підготовки: механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТНБ
доц. Ягуча С.І.
19 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Виконав: Бенча Володимир
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи): Оптимізація конструкції механічного
вільного за допомогою системи ANSYS
елемента елементів

Вірник проекту (роботи): Панчоліс Андрій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від "10" 12 2018 року № 372

Строк подання студентом проекту (роботи): квітень, програма випуску

Вихідні дані до проекту (роботи): Креслення, програма випуску

К: 10000 ч.
Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
робити): технологічна частина, конструктивна частина,
визначення механічного часу і діючих, оптимізація
розмірів, статичне навантаження, оптимізація
зона, охорона праці

Лік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Календарний план етапів проекту (роботи)

Робота	Підрозділ, виконавець та посада виконавця	Підпис	
		виконавець	приймач
Визначення завдань	Покришкин А.В. м.н.ч. 30%	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Визначення завдань	Покришкин А.В. м.н.ч. 30%	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Визначення завдань	Покришкин А.В. м.н.ч. 30%	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Визначення завдань	Покришкин А.В. м.н.ч. 30%	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Оформлення звіту	Шмарко В.І. м.н.ч. 30%	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Норм. звіт	Богдан Н.В. м.н.ч. 30%	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7. Дата підпису звіту: 13.08.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ к/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1	Визначення завдань	19.10.2018	
2	Визначення завдань	23.10.2018	
3	Визначення завдань	30.10.2018	
4	Визначення завдань	14.11.2018	
5	Оформлення звіту	28.11.2018	
6	Оформлення звіту	05.12.2018	
7	Оформлення звіту		
8	Оформлення звіту		
9	Оформлення звіту		
10	Оформлення звіту		
11	Оформлення звіту		
12	Оформлення звіту		
13	Оформлення звіту		
14	Оформлення звіту		
15	Оформлення звіту		
16	Оформлення звіту		
17	Оформлення звіту		
18	Оформлення звіту		
19	Оформлення звіту		
20	Оформлення звіту		

РЕФЕРАТ

ПЗ: 180 стор., 23 мал., 27 табл., 36 літ. джерел і 6 додатків.

Об'єктом дослідження - валів двигунів AI-20 і AI-24 на прикладі вала турбіни компресора двигуна AI-24 за допомогою системи ANSYS методом кінцевих елементів.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

Метою дипломної роботи є оптимізація конструкції тонкостінних валів, розробка типового технологічного процесу виготовлення вала турбіни компресора, конструювання верстатних і контрольних пристосувань, розробка планування розташування технологічного обладнання на ділянці, проведення економічного розрахунку параметрів цеху.

У розробленому проекті передбачені заходи, спрямовані на зниження витрат і зменшення часу на виробництво, запропоновані більш продуктивні методи обробки.

Диплом містить основні теоретичні положення, всі необхідні пояснення, розрахункові формули, ескізи і докладні розрахунки.

Ключові слова: ЗАГОТОВКА, ДЕТАЛЬ, РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА, ВЕРСТАТ, ЕСКІЗ, ОПЕРАЦІЯ, РОЗМІР, ПРИПУСК, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ІНСТРУМЕНТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ОПТИМІЗАЦІЯ, КІНЦЕВИЙ ЕЛЕМЕНТ.

ЗМІСТ

Завдання на проект	2
Реферат	4
Вступ.....	8
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	9
1 Технологічна частина	10
1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі	10
1.2 Вибір типу виробництва	14
1.3 Вибір методу отримання заготовки	14
1.4 Вибір основних засобів базування	19
1.5 Проектування плану обробки	20
1.5.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	20
1.5.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	22
1.5.3 Проектування маршруту виготовлення деталі	30
1.5.4 Розрахунок міжопераційних припусків і технологічних розмірів	31
1.6 Проектування операційної технології	44
1.7 Розробка розрахунково-технологічної карти керуючої програми для операції 030 Токарна	79
2 Конструкторська частина	84
2.1 Конструювання пристосування для свердління 12-ти отворів - операція 055 Сверлильна	84
2.1.1 Опис роботи пристосування	84
2.1.2 Розрахунок похибки установки в пристосуванні	85
2.1.3 Розрахунок пристосування на точність	87
2.1.4 Розрахунок необхідної сили затиску в пристосуванні	90
2.1.5 Визначення параметрів пристосування	92
2.1.6 Розрахунок економічної ефективності прийнятої конструкції пристосування	93
2.2 Конструювання контрольного пристосування для перевірки биття шийки	

вала	94
3 Проектування механічного цеху і ділянки	96
3.1 Визначення необхідної кількості технологічного обладнання і його завантаження	96
3.2 Визначення чисельності основних виробничих робітників	98
3.3 Планування технологічного обладнання і робочих місць на ділянці механічної обробки. Визначення площі виробничої ділянки	101
3.4 Наближене проектування механічного цеху	103
4 Економічна частина	106
4.1 Визначення виробничої програми цеху	106
4.2 Вартість основних фондів цеху	106
4.3 Персонал. Розрахунок чисельності робітників	110
4.4 Організація і управління виробництвом	112
4.5 Вартість основних матеріалів	115
4.6 Заробітна плата	116
4.7 Собівартість продукції	119
4.8 Техніко-економічні показники роботи цеху	127
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	129
5.1 Аналіз потенційних небезпек	129
5.2 Заходи з забезпечення техніки безпеки.....	130
5.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	138
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	144
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	147
6 Оптимізація конструкції тонкостінних валів за допомогою системи ANSYS методом кінцевих елементів	150
6.1 Статична міцність елементів роторів і корпусів газотурбінних двигунів	150
6.2 Визначення діючих навантажень	150
6.3 Визначення напружено-деформованого стану вала методом кінцевих елементів	156
6.4 Визначення напружень аналітичним методом	161

6.4.1 Оцінка міцності валів	161
6.5 Розрахунок осесиметричної плоскої моделі вала	162
6.6 Уточнений розрахунок шліцьових з'єднань	165
6.6.1 Розрахунок з'єднання на зминання	166
6.6.2 Розрахунок з'єднання на знос	168
6.7 Розробка рекомендацій по конструюванню вала турбіни компресора	173
Висновок	176
Перелік посилань	177
Додаток А. Керуюча програма для операції 025 Токарна з ЧПУ	181
Додаток Б.1. Керуюча програма в кодах ISO для операції 030 Токарна з ЧПУ	184
Додаток Б.2. Керуюча програма на мові АРТ для операції 030 Токарна з ЧПУ	185
Додаток В. Технічна специфікація пристосування для обробки 12-ти отворів Ø10мм	191
Додаток Д. Специфікація контрольного пристосування для перевірки биття	193
Додаток Ж. Програма розрахунку вала турбіни в системі ANSYS	195

ВСТУП

Прогрес у галузі авіадвигунобудування значною мірою визначає розвиток сучасної авіації. Удосконалення авіаційних двигунів, в свою чергу, висуває нові вимоги до технології їх виготовлення. Зростання робочих температур і тисків вимагає все більш широкого використання високоміцних сплавів, тенденція скорочення кількості деталей призводить до ускладнення геометричних форм, а зниження питомої маси двигуна обумовлює застосування деталей малої жорсткості.

Успішна реалізація конструктивних рішень більшою мірою визначається технологією. Проектовані технологічні процеси повинні забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості виробів при одночасному зниженні витрат на їх виготовлення. Вирішення цих завдань багато в чому залежить від раціональної побудови процесу обробки, використаного устаткування, інструменту та оснащення, а також обґрунтованого призначення припусків на обробку і допусків операційних розмірів.

Велике техніко-економічне значення раціонального вибору припусків і розрахунку операційних розмірів визначається, перш за все, місцем цього етапу в загальній послідовності завдань, що вирішуються при проектуванні технологічного процесу.

Відповідно до загальних правил розробки технологічних процесів комплексу завдань розмірного аналізу передують такі найважливіші етапи, як вибір виду вихідної заготовки, методу її виготовлення і технологічних баз, розробка варіанту технологічного маршруту обробки, а також вибір засобів технологічного оснащення.

В даному дипломному проекті будуть розглядатися всі перераховані вище завдання, які стоять перед сучасним технологом, а також запропоновано шляхи і методи їх вирішення.

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ДСТУ	Державний стандарт
КГШП	Кривошипні горячештамповочніє преси
ККД	Коефіцієнт корисної дії
КЕ	Кінцевий елемент
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
ППТЯ	Послідовність показників точності і якості
РТК	Розрахунково-технологічна карта
СНіП	Система норм і правил
ТО	Термічна обробка
ЕОМ	Електронно-обчислювальна машина

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі

Деталь - вал компресора низького тиску - є елементом двигуна AI-25, AI-25ТЛ, AI-25ТЛК.

AI-25 - висотний турбогвинтовий повітряно-реактивний двигун, що працює з повітряним гвинтом лівого обертання. Двигуни призначені для установки на пасажирські, сільськогосподарські, навчально-тренувальні, навчально-бойові реактивні літаки Як-40, Милец М-15, Аеро L-39 «Альбатрос» (двигун AI-25ТЛ), Hongdu JL-8 (двигун AI-25ТЛК).

Двигун складається з наступних основних вузлів:

- двухкасадного 12-ступеневої компресора;
- розділового корпусу;
- кільцевої камери згоряння з корпусом камери;
- двохвальною 3-ступінчастою турбіни;
- корпусу задньої опори з реактивним соплом;
- агрегатів, які забезпечують роботу систем двигуна.

Ступінь двоконтурності, або відношення витрати повітря через зовнішній (другий) контур до витрати повітря через внутрішній (перший) контур двигуна на розрахунковому режимі, дорівнює 2.

Застосована в двигуні двухвальная схема забезпечує стійку роботу компресора на запуск і прийомистості.

Компресор двигуна складається з двох основних вузлів:

- трехступеневого осьового компресора низького тиску;
- дев'ятиступеневого осьового компресора високого тиску з клапанами перепуску повітря через III і V ступенів.

Спереду до розподільного корпусу кріпиться компресор низького тиску, ззаду - компресор високого тиску і кожух зовнішнього контуру.

Турбіна - двухвальна, триступенева, бандажірованного.

Перший ступінь (турбіна високого тиску) приводить в обертання ротор компресора високого тиску і агрегати двигуна.

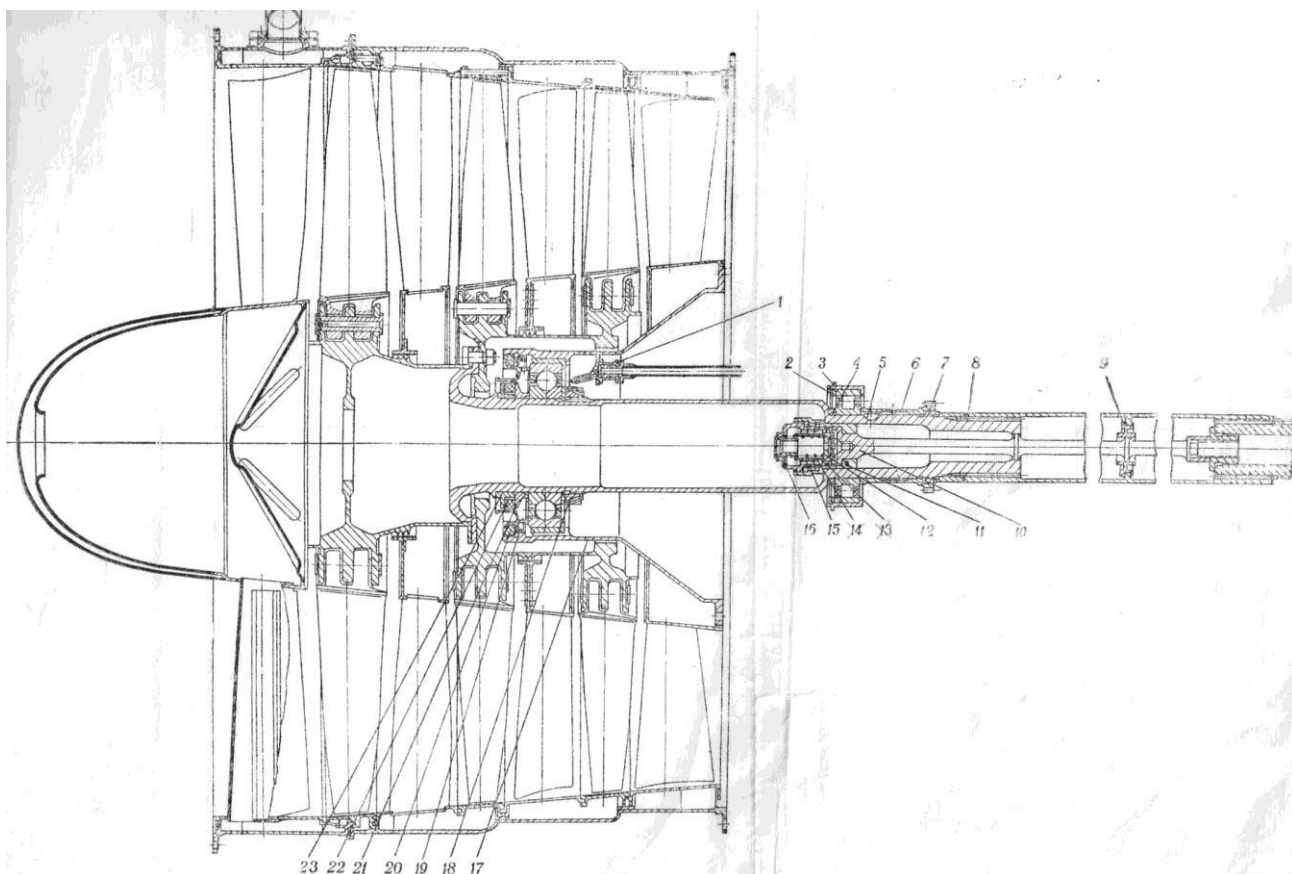
Друга і третя ступені (турбіна низького тиску) приводять в обертання ротор компресора низького тиску.

У корпусі задньої опори турбіни встановлюється роликопідшипник ротора турбіни низького тиску і виконані реактивні сопла обох контурів.

У меридіональному перетині проточна частина турбіни являє собою плавно розширювальний канал, що переходить в реактивне сопло.

Ротори двигуна механічно не пов'язані між собою, а мають лише газодинамічний зв'язок. Обороти роторів різні і змінюються в залежності від режиму роботи двигуна і параметрів повітря на вході в двигун.

Ротор низького тиску має чотири опори: передня опора - кульковий підшипник, інші три - роликові підшипники.



1- форсунка; 2 - разжимное кільце; 3 - стакан підшипника; 4 регулювальне кільце; 5 - шпонка; 6 - шестерня приводу датчика оборотів;

7 - гайка; 8 - ресора; 9 - проміжна опора болта; 10 - стягнутий болт; 11 - силова втулка; 12 - рухливий замок; 13 - гумове кільце ущільнювача; 14 - пружина; 15 - втулка; 16 - гайка; 17 - корпус підшипника; 18 - гайка; 19 - втулка контактної ущільнення; 20 - гайка; 21 - кільце; 22 - розрізне графітове кільце; 23 - кільце розпору.

Малюнок 1.1 - Ескіз вузла - ротора турбіни

Деталь виготовляється з легованої сталі EI-961-III (13X11H2B2MФ). Хімічний склад сталі наведений в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі EI-961-III ДСТУ 5632- 72

Хімічний елемент	відсоток вмісту
Кремній (Si)	0,60
Марганець (Mn)	0,60
Мідь (Cu), не більше	0,30
Молібден (Mo)	0,35-0,50
Нікель (Ni)	1,5-1,8
Сірка (S), не більше	0,020
Вуглець (C)	0,10-0,16
Фосфор (P), не більше	0,010
Хром (Cr)	10,5-18,0
Миш'як (As), не більше	0,08
Ванадій (V)	0,18-0,3
Вольфрам (W)	1,8-2,0

Сталь має такі властивості.

Термообробка: гарт 1000°C, масло, відпустку 620-680°C. Температура кування, °C: початку 1250, кінця 850. Перетини до 400 мм піддають низькотемпературного відпалу з двома переохолодженнями.

Зварюваність - важкозварювальна.

Різанням - у стані після відпустки при 380 HB і $\sigma_B = 850 \text{ Н / мм}^2$, $K_v = 0,8$ (твердий сплав), $K_v = 0,3$ (швидкоріжуча сталь).

Щільність - 7800 кг / м³

Межа міцності при розтягуванні - 950 МПа (гарт 850 ° (масло) + відпустку 570 ° (вода або масло)).

Межа плинності - 930 МПа (гарт 1000 ° (масло) + відпустку 580-670 °).

Рекомендовані режими термічної обробки.

I варіант. Нормалізація з 1000-1020 ° С, гарт з 1000- 1020 ° С, охолодження в маслі або на повітрі, відпустку при 540-590 ° С, охолодження на повітрі.

II варіант. Нормалізація з 1000-1020 ° С, гарт з 1000- 1020 ° С, охолодження в маслі або на повітрі. Відпустка при 640-680 ° С, охолодження на повітрі.

1.2 Вибір типу виробництва

Тип виробництва визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності, обсягів випуску виробів і їх маси. Згідно з вихідними даними: річна програма випуску $N = 10\,000$ шт.; маса деталі $m = 4,63$ кг, по [2, с.22, табл.2.2] визначаємо тип виробництва - багатосерійне.

Форма організації робіт на ділянці встановлюють залежно від принципу розміщення робочих місць і характеру переміщення оброблюваних заготовок з урахуванням рівномірності або кратності тривалості кожної операції, такту випуску.

У зв'язку з крупносерійним типом виробництва найбільш зручно буде застосувати змінно-потоківу форму організації виробництва, при якій деталі надходять на ділянку партіями, але обробка їх здійснюється поточним методом. Обсяг партії заготовок, що запускаються у виробництво, визначається за формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{250} = \frac{10 \cdot 10000}{250} = 400 \text{шт} \quad (1.1)$$

де a = періодичність запуску деталі в виробництво 10 днів

N = річна програма випуску деталі 10 000 шт

1.3 Вибір методу отримання заготовки

З урахуванням особливостей конструкції деталі, її конструктивних розмірів, технічних умов на її виготовлення і великосерійного типу виробництва з змінно-потокової формою організації робіт заготовку можна виготовити методом штампування на КГШП в закритих штампах або шляхом висадки трубного прокату на електровисадочних машинах (з одночасним контактним електричним).

Визначимо характеристики заготовки і визначимо найбільш доцільний метод отримання заготовки вала.

Штампування на КГШП.

– клас точності: T2 (визначаємо в залежності від виду обладнання), [7, табл. 5.10, с. 40];

– група стали: M2 (визначаємо в залежності від процентного вмісту вуглецю і сумарної частки легуючих елементів, див. табл. 1), [7, с. 40];

– ступінь складності: C2 (визначаємо шляхом обчислення співвідношення обсягу поковки до обсягу геометричної фігури, в яку вписується поковка, $C = 0,41$), [7, с. 40];

– вихідний індекс: $I_v = 16$ (визначається по [7, додаток 1] виходячи з вище перерахованих характеристик).

Основні припуски на механічну обробку і допуски визначаємо по [7, табл. 5.11, 5.12] і заносимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Результати розрахунку розмірів заготовки

Номинальний розмір, мм	Шорсткість поверхні, мкм	Табличний припуск, мм	Допуск номінального розміру, мм	Фактичний розмір заготовки, мм
455,3	1,6	3,7	5,6	$459^{+3.7}_{-1.9}$
Ø156	1,6	3,5	4,5	$\text{Ø}159,5^{+3.0}_{-1.5}$
Ø81	1,6	3,0	4	$\text{Ø}84^{+2.7}_{-1.3}$
Ø121	1,6	3,5	4	$\text{Ø}124,5^{+2.7}_{-1.3}$
23	1,6	2,5	3,2	$25,5^{+2.1}_{-1.1}$

Штампувальні ухили - 5° по [7, табл. 5.13]; радіуси заокруглень - $R_{\text{нар}} = 5\text{мм}$ [7, табл. 5.14].

Таким чином, маса заготовки буде рівною $m_z = 19,1$.

Визначимо собівартість виготовлення деталі з заготівлі, отриманої шляхом штампування на КГШП, по (1.2):

$$C_{\bar{A}} = \tilde{N}_{\bar{C}} + \tilde{N}_{\bar{H}} = 45,77 + 20,37 = 66,14 \text{ грн / шт} \quad (1.2)$$

де $C_3 = 45,77\text{грн / шт}$ - собівартість виробництва заготовки (за даними підприємства на 1991год);

C_{MO} - собівартість механічної обробки заготовки:

$$C_{MO} = C_{стр} \cdot \frac{M_3 - M_D}{1000} = 600 \cdot \frac{39,8 - 5,85}{1000} = 20,37 \text{ грн / шт} \quad (1.3)$$

де M_3 - маса заготовки;

M_D - маса деталі;

$C_{стр} = 600\text{грн / т}$ - витрати на механічну обробку, віднесені до 1т стружки (за даними на 1991год), [8, с.188-195].

Коефіцієнт використання матеріалу знаходимо по (1.4):

$$K_{IM} = \frac{M_D}{M_3} = \frac{5,85}{39,8} = 0,15 \quad (1.4)$$

Таким чином, при даному методі отримання заготовки використовується тільки 15% матеріалу.

Висадка трубного прокату на електровисадочних машинах.

- клас точності: Т4 (визначаємо в залежності від виду обладнання), [7, табл. 5.10, с. 40];
- група стали: М2 (визначаємо в залежності від процентного вмісту вуглецю і сумарної частки легуючих елементів, див. табл. 1), [7, с. 40];
- ступінь складності: С2 (визначаємо шляхом обчислення співвідношення обсягу поковки до обсягу геометричної фігури, в яку вписується поковка, $C = 0,41$), [7, с. 40];
- вихідний індекс: $I_v = 13$ (визначається по [7, додаток 1] виходячи з вище перерахованих характеристик).

Основні припуски на механічну обробку і допуски визначаємо по [7, табл. 5.11, 5.12] і заносимо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 - Результати розрахунку розмірів заготовки

Номінальний розмір, мм	Шорсткість поверхні, мкм	Табличний припуск, мм	Допуск номінального розміру, мм	Фактичний розмір заготовки, мм
455,3	1,6	2,7	4,0	$458^{+2,7}_{-1,3}$
Ø156	1,6	2,5	3,2	$\varnothing 158,5^{+2,1}_{-1,1}$
Ø121	1,6	2,5	2,5	$\varnothing 123,5^{+0,3}_{-1,1}$
Ø81	1,6	2,0	2,5	$\varnothing 97^{+0,3}_{-1,1}$
15	1,6	1,9	2,2	$23^{+0,65}_{-0,45}$
Ø54	1,6	1,8	2,5	$\varnothing 51^{+0,8}_{-0,2}$

Штампувальні ухили - 3° по [7, табл. 5.13]; радіуси заокруглень - $R_{нар} = 5\text{мм}$ [7, табл. 5.14].

Таким чином, маса заготовки буде рівною $m_3 = 21,8\text{кг}$.

Визначимо собівартість виготовлення деталі з заготівлі, отриманої шляхом висадки трубного прокату на електровисадочних машинах по (1.2):

$$C_d = 35,4 + 6,38 = 41,78\text{грн/шт}$$

де C_3 = собівартість виробництва заготовки (за даними підприємства на 1991 рік) $35,4\text{грн / шт}$

$C_{МО}$ - собівартість механічної обробки заготовки по (1.3):

$$C_{МО} = 400 \cdot \frac{21,8 - 5,85}{1000} = 6,38\text{грн/шт}$$

де M_3 - маса заготовки;

M_d - маса деталі;

$C_{стр}$ = витрати на механічну обробку, віднесені до 1т стружки (за даними на 1991 рік), [8, с.188-195] 400грн / т

Коефіцієнт використання матеріалу по (1.4):

$$K_{им} = \frac{5,85}{21,8} = 0,27$$

Таким чином, при даному методі отримання заготовки використовується 27% матеріалу.

Для вибору найбільш оптимального методу отримання заготовки необхідно порівняти параметри обох методів виготовлення і виконати техніко-економічний аналіз. Для зручності зведемо всі параметри в таблицю.

Таблиця 1.4 - Результати розрахунків техніко-економічних параметрів

характеристика	позначення	Одиниці виміру	вид заготовки	
			висадка на ЕОМ	штампування на КГШП
матеріал заготовки			40ХНМА-Ш	
маса деталі	m_d	$кг$	5,85	
маса заготовки	$M_{OЗ}$	$кг$	21,80	39,80
Заготівельна ціна 1 кг стружки	$C_{отх}$	$грн / кг$	0,08	
Собівартість виробництва заготовки	$C_З$	$грн / шт$	35,40	45,77
Витрати на механічну обробку, віднесені до 1т стружки	$C_{стр}$	$грн / т$	400,00	600,00
Собівартість механічної обробки заготовки	$C_{МО}$	$грн / шт$	6,38	20,37
Собівартість виготовлення деталі	$C_Д$	$грн / шт$	41,78	66,14
Коефіцієнт використання матеріалу	K_{IM}		0,27	0,15
Додаткові витрати на виготовлення	P_I	$грн / шт$	-	24,36
Додаткові витрати на матеріал	P_M	$грн / шт$	-	1,44

Додаткові витрати на виготовлення:

$$P_I = C_{Д_{КГШП}} - C_{Д_{ЭВМ}} = 66,14 - 41,78 = 24,36 \text{ грн / шт} \quad (1.5)$$

Додаткові витрати на матеріал:

$$P_M = (M_{З_{КГШП}} - M_{З_{ЭВМ}}) \cdot C_{отх} = (39,8 - 21,8) \cdot 0,08 = 1,44 \text{ грн / шт} \quad (1.6)$$

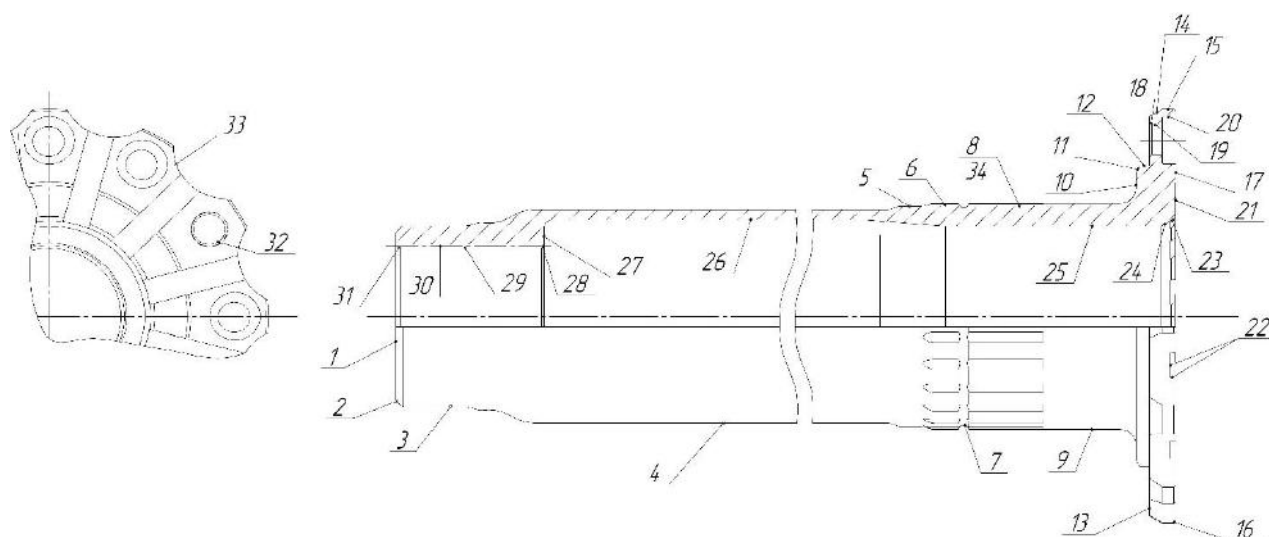
Таким чином, бачимо з розрахунків, що найбільш доцільно використовувати метод висадки трубного прокату на електровисадочних машинах.

1.4 Вибір основних засобів базування

Вибір засобів базування в основному залежить від типу деталі, її конструкції, виду обробки і характеристик оброблюваних поверхонь. Розглянемо найбільш характерні установчі бази для типових операцій.

Для фрезерно-центрувальної операції оптимальним буде базування на призму з шийок 3 і 9 з упором в поверхню 17.

Малюнок 1.2 - Ескіз деталі з технологічної розміткою поверхонь



Для чорнових токарних операцій використовуємо базування в кулачковому патроні на поверхню 15 і упором в поверхню 17 з підтиском торця конічної оправкой по поверхні 31, щоб мати можливість підготувати поверхні для інших типів базування.

Для чистових токарних операцій використовуємо для базування в упор поверхню 1 (див. мал. 1.2), зажим в кулачковий патрон поверхню 3 і посадка на люнет по поверхні 9; а для переустановлення - поверхні 17, 15 і 4 відповідно.

Для фрезерних операцій використовуємо базування на призми по шийок 3 і 9 з упором в поверхню 4.

Для свердлильних операцій, точних і чистових шліфувальних і деяких токарних застосуємо базування на конічних оправках на поверхні 23 і 31 (для свердлильних можливий упор на шийку 3).

1.5 Проектування плану обробки

1.5.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Технологічність конструкції деталі - це сукупність властивостей, які проявляються в можливості досягнення оптимальних витрат праці, коштів, матеріалів і часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті в порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення при забезпеченні встановлених значень показників якості та прийнятих умов виготовлення, експлуатації та ремонту (ДСТУ 18831-73). Технологічнішою конструкцією деталі буде та, яка забезпечить той же якість, працездатність, надійність і довговічність при менших витратах матеріалу, меншою трудомісткістю і собівартості.

Технологічність конструкції деталі визначають шляхом якісної оцінки ознак технологічності:

1. Група матеріалу - III [3, с.272, табл. 12.2]; оброблюваність матеріалу - задовільна, коефіцієнт оброблюваності 1,0 - 0,8; Можливість отримання необхідної шорсткості поверхонь - без особливих труднощів [3, с.272, табл. 12.3].
2. Складнощі, пов'язані з отриманням заготовки відсутні.
3. Поверхні деталі - прості, для їх отримання немає необхідності використовувати складне оснащення.
4. Конструкція вала жорстка - $L = 446 \text{ мм} < 12 \cdot \varnothing 90 \text{ мм}$.
5. Можлива багато інструментальних обробка вала.

6. Обробка поверхонь досить зручна, забезпечується вільний доступ інструменту до оброблюваної поверхні.

7. В межах даної деталі маємо 6 різних квалітетів точності.

8. Проставлення розмірів виконана технологічно.

Технологічність конструкції деталі оцінюють також за допомогою кількісних показників.

1. Коефіцієнт виготовлення заготовки:

$$K_{из} = \frac{q}{Q} = \frac{5,85}{21,8} = 0,27 \quad (1.7)$$

де q = маса деталі 5,85кг Q = маса заготовки 21,8кг

$K_{из}$ - конструкцію необхідно вважати за цим показником технологічною $< 0,8$

2. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі:

$$K_{yэ} = \frac{Q_{yэ}}{Q_э} = \frac{33}{33} = 1 \quad (1.8)$$

де $Q_э$ = загальна кількість конструктивних елементів (площині, циліндричні, конічні, фасонні поверхні, різьблення, шліци, галтелі, канавки, фаски і т.д.) 33

$Q_{yэ}$ = кількість уніфікованих елементів, тобто тих, обробка яких можлива стандартним інструментом 33

$K_{yэ} \geq 0,6$ - конструкцію вважають за цим показником технологічною.

3. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} = 1 - \frac{1}{9} = 0,89 \quad (1.9)$$

де A_{cp} = середнє значення квалітету точності розмірів 9

$K_{TO} > 0,8$ - конструкцію вважають за цим показником технологічною 0,8

4. коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{1}{1,2} = 0,83 \quad (1.10)$$

де $B_{CP} = 1,2$ - середнє значення показника шорсткості (Ra) за кресленням деталі.

$K_{ш} > 0,32$ - конструкцію вважають за даним показником не технологічною.

Конструкцію деталі слід вважати технологічною за всіма ознаками, крім коефіцієнта шорсткості.

1.5.2 Проектування маршруту обробки поверхонь (МОП)

Маршрут обробки поверхонь - це певна послідовність технологічних переходів обробки поверхні заготовки, необхідних для досягнення заданих показників якості цієї поверхні в деталі. МОП є технологічною основою технологічного процесу механічної обробки, так як саме в МОП, в технологічних переходах закладаються фізико-механічні, хіміко-термічні і т. П. Процеси впливу на поверхню заготовки.

Для складання маршруту обробки поверхонь необхідно скласти характеристику кожної оброблюваної поверхні і порівняти її з відповідною поверхнею заготовки. Характеристики основних поверхонь деталі (див. мал. 1.2) вносимо в таблицю 1.5.

При проектуванні МОП зручно використовувати поняття уточнення, так як воно дозволяє по дослідно-статистичним даним оцінити показники точності і якості поверхні на різних стадіях обробки заготовки. Під уточненням розуміють відношення величини допуску розглянутого показника якості партії заготовок до величини допуску цього ж показника партії деталей. Розрізняють загальне уточнення і уточнення по переходах.

Розглянемо принципи проектування маршруту обробки на прикладі поверхні 15 - Ø165m6.

Визначимо загальне уточнення за показниками якості.

$$\varepsilon_{d_0} = \frac{Td_{заг}}{Td_{дет}} = \frac{3,2}{0,055} = 58,2, \quad (1.11)$$

$$\varepsilon_{\Delta_0} = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дет}} = \frac{0,5}{0,02} = 25, \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_{Rz_0} = \frac{Rz_{заг}}{Rz_{дет}} = \frac{200}{3,2} = 62,5, \quad (1.13)$$

де $Td_{заг}$, $Td_{дет}$ - допуск геометричного розміру відповідно заготовки і деталі;

$\Delta_{заг}$, $\Delta_{дет}$ - похибка форми і взаємного розташування відповідно заготовки і деталі;

$Rz_{заг}$, $Rz_{дет}$ - шорсткість заготовки і деталі.

Переважаючим показником якості цієї поверхні є показник шорсткості, який потребує найбільшої уточнення. За превалирующому показником розрахуємо кількість переходів механічної обробки k за формулою:

Таблиця 1.5 - Характеристики основних поверхонь деталі

Номер поверхні, основні геометричні параметри		характер поверхні		показники															
				Квалітет точності		Допуск на точність і взаємне розташування										Шорсткість, Ra		твердість	
																дет.	заг.	дет., HRC	заг., HB
		вид	тип	дет.	заг.	дет.	заг.	дет.	заг.	дет.	заг.	дет.	заг.	дет.	заг.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	446h11	зовніш.	плоска	11	16	0,05	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	200	30-36	277-321
2	2,5x45 °	зовніш.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
3	Ø72h8	зовніш.	цилінд.	8	15	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	125	30-36	277-321
4	Ø85h10	зовніш.	цилінд.	10	15	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	125	30-36	277-321
5	Ø88	зовніш.	цилінд.	14	15	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	125	30-36	277-321
6	M90x1,5H2	зовніш.	резьб.	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
7	Ø87,8	внутр.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
8	R12, h1,6	внутр.	цилінд.	15	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
9	Ø90m6	зовніш.	цилінд.	6	15	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	125	30-36	277-321
10	15h11	зовніш.	плоска	11	16	0,01	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	200	30-36	277-321
11	1,5, 60 °	зовніш.	плоска	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
12	Ø120h11	зовніш.	цилінд.	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	125	30-36	277-321
13	10h11	зовніш.	плоска	11	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,25	-	-	1,6	-	30-36	277-321
14	5, 30 °	зовніш.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
15	Ø165m6	зовніш.	цилінд.	6	16	0,02	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	200	30-36	277-321
16	0,8x45 °	зовніш.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
17	446h11	зовніш.	плоска	11	16	-	0,5	-	-	-	-	0,02	0,25	-	-	1,6	200	30-36	277-321
18	1x45 °	зовніш.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	Ø12H7	внутр.	цилінд.	7	-	-	-	-	-	0,02	0.02	-	-	0,05	1.3	0,8	50	30-36	277-321
20	Ø19H7	внутр.	цилінд.	7	-	-	-	-	-	0,02	0.02	-	-	0,05	1.3	0,8	50	30-36	277-321
21	Ø107H17	внутр.	цилінд.	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
22	b10, h2	внутр.	плоска	14	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
23	1,6x45 °	внутр.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
24	3,7, 30 °	внутр.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
25	Ø72	внутр.	цилінд.	14	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	200	30-36	277-321
26	Ø77H12	внутр.	цилінд.	12	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	125	30-36	277-321
27	56h12	внутр.	плоска	12	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
28	1, 30 °	внутр.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
29	Ø54H10	внутр.	цилінд.	10	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
30	D- 28x54H10x58,8H12x3 ,14c10	внутр.	евольвентн ої	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
31	2, 30 °	внутр.	плоска	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
32	M12x1,5g6	зовніш.	резьб.	6	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321
33	Ø40, h8	внутр.	цилінд.	14	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-	30-36	277-321

$$k \approx 2 \lg \varepsilon_{Rz_0} = 2 \lg 62,5 = 3,6 \quad (1.14)$$

Приймаємо $k = 4$ переходах.

Визначаємо різницю показників якості і розподіляємо цю різницю між $k = 4$ переходами по закону прогресивного зменшення. При цьому слід розглядати кілька альтернативних варіантів розподілу різниці.

Різниця квалітетів точності і її розподіл:

$\Delta_{\text{кв}} = \text{IT}_{\text{заг}} - \text{IT}_{\text{дет}} = \text{IT}_{17} - \text{m}_6 = 10$ квалітетів $= 4 + 3 + 3 + 1$, тобто 1-й перехід механічної обробки уточнює поверхню заготовки на 4 квалітета точності; 2-й перехід - на 3 квалітета точності; 3-й - на 3 квалітета і 4-й перехід уточнює поверхню ще на 1 квалітет точності. Так можна розподілити різницю квалітетів між $k = 4$ переходами механічної обробки. А можна і так: $5 + 2 + 2 + 1$, або $5 + 3 + 1 + 1$ та ін. Це залежить від конкретних умов виготовлення деталі.

Встановлюємо послідовність показників точності і якості (ППТЯ):

$\text{IT}_{17} \rightarrow \text{h}_{13} \rightarrow \text{h}_{10} \rightarrow \text{h}_7 \rightarrow \text{m}_6$.

За таблицями економічної точності [1] відповідно до розробленої ППТЯ призначаємо методи обробки по переходах механічної обробки.

За рекомендацією [1] встановлюємо, що потрібну точність і якість поверхні шийки вала після термообробки можна забезпечити тонким шліфуванням. Це останній перехід механічної обробки. Проміжні переходи: до термообробки - точіння чорнове і чистове, після термообробки - шліфування попереднє і тонке. Методи обробки записуємо в таблицю МОП, (див. таблицю 1.6).

Таблиця 1.6 - Маршрут обробки основних поверхонь деталі

Номер поверхні, її характер і показники точності і якості	показник j	уточнення E _{j0}	Кількість перех. k		Різниця показників ППТК	МОП		допуск			уточнення		
			розрахунок	прийняте		i	метод обробки	розмір	взаємне полож.	шерхов.	розмір	взаємне полож.	шерхов.
Пов. 1, нар. плоск., 446h11, биття 0,05, Ra 1,6, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, 510 IT16, Rz = 200	d	11	3	3	Δкв = 16-11 = 5 +5 = 3 + 1 + 1 IT16 → h13 → h12 → h11 Δкл = 6-1 = 5 +5 = 2 + 1 + 2 Ra50 → Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra1,6 0 , 8 → 0,2 → 0,1 → 0,05	1	заготівля	4,0	0,8	50	-	-	-
		16				2	Точіння чернов.	0,97	0,2	12,5	4,5	4	4
						3	Точіння чистою.	0,63	0,1	6,3	1,5	2	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
	Rz	31				5	Шліф. однократ.	0,4	0,05	1,6	1,6	2	4
Пов. 3, нар. цил., Ø72h8, Ra 0,8, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, Ø95 IT15, Rz = 125	d	30	3	4	Δкв = 15-8 = 7 +7 = 3 + 2 + 1 + 1 IT15 → h12 → h10 → h9 → h8 Δкл = 7-2 = 5 +5 = 1 + 1 + 1 + 2 Ra25 → Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra3,2 → Ra0,8	1	заготівля	1,4	-	25	-	-	-
	Rz	39				2	Точіння чернов.	0,3	-	12,5	4	-	2
						3	Точіння чистою.	0,12	-	6,3	3	-	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
						5	Шліф. чернов.	0,074	-	3,2	1,6	-	2
						7	Шліф. тонке	0,046	-	0,8	1,6	-	4
	Пов. 4, нар. цил., Ø85h10, Ra 1,6, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, Ø95 IT15, Rz = 125	d				10	3	3	Δкв = 15-10 = 5 +5 = 3 + 1 + 1 IT15 → h12 → h11 → h10 Δкл = 6-2 = 4 4 = 1 + 1 + 2 Ra25 → Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra1,6	1	заготівля	1,4	-
Rz		20	2	Точіння чернов.	0,3	-				12,5	4,7	-	2
			3	Точіння чистою.	0,19	-				6,3	1,6	-	2
			4	ТО	-	-				-	-	-	-
			5	Шліф. чернов.	0,12	-				1,6	1,6	-	4
Пов. 5, нар. цил., Ø88, Ra 1,6, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, Ø95 IT15, Rz = 125	d	2	3	3	Δкв = 15-12 = 3 3 = 1 + 1 + 1 IT15 → h14 → h13 → h12 Δкл = 6-2 = 4 4 = 1 + 1 + 2 Rz25 → Rz12,5 → Rz6,3 → Ra1,6	1	заготівля	1,4	-	25	-	-	-
	Rz	20				2	Точіння чернов.	0,87	-	12,5	1,6	-	2
						3	Точіння чистою.	0,54	-	6,3	1,6	-	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
						5	Шліф. однократ.	0,35	-	1,6	1,5	-	4

Продовження таблиці 1.6

Номер поверхні, її характер і показники точності і якості	показник j	уточнення E _{j0}	Кількість перех. k		Різниця показників ППТК	МОП		допуск			уточнення		
			розрахунок	прийняте		i	метод обробки	розмір	взаємне розполож	шорсткість	розмір	взаємне розполож	шерхов.
Пов. 9, нар. цил., Ø90m6, Ra 0,8, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, Ø95 IT15, Rz = 125	d	64	3	4	Δ _{кв} = 15-6 = 9 9 = 4 + 3 + 1 + 1 IT15 → h11 → h8 → h7 → h6 Δ _{кл} = 7-2 = 5 +5 = 1 + 1 + 1 + 2 Ra25 → Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra3,2 → Ra0,8	1	заготівля	1,4	-	25	-	-	-
	Rz	39				2	Точіння чернов.	0,2	-	13	6,4	-	2
						3	Точіння чистою.	0,1	-	6,3	4	-	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
						5	Шліф. чернов.	0	-	3,2	1,5	-	2
						6	Шліф. тонке	0	-	0,8	1,6	-	4
Пов. 10, нар. плоск., 15h11, биття 0,01 Ra 0,8, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, 17 IT16, Rz = 200	d	10	4	4	Δ _{кв} = 16-11 = 5 +5 = 2 + 1 + 1 + 1 IT16 → h14 → h13 → h12 → → h11 Δ _{кл} = 7-1 = 6 6 = 2 + 1 + 1 + 2 Ra50 → Ra12,5 → Ra6, 3 → → Ra3,2 → Ra0,8 0,5 → 0,2 → 0,1 → 0,05 → 0,01	1	заготівля	1,1	0,5	50	-	-	-
		50				2	Точіння чернов.	0,4	0,2	13	2,6	-	4
						3	Точіння чистою.	0,3	0,1	6,3	1,6	-	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
						5	Шліф. чернов.	0,2	0,1	3,2	1,5	-	2
						7	Шліф. тонке	0,1	0	0,8	1,6	-	4
						Rz	63						
Пов. 15, нар. цил., Ø165m6, биття 0,02, Ra 0,8, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, Ø170 IT16, Rz = 200	d	58	4	4	Δ _{кв} = 16-6 = 10 10 = 4 + 3 + 2 + 1 IT16 → h12 → h9 → h7 → m6 Δ _{кл} = 7-1 = 6 6 = 2 + 1 + 1 + 2 Ra50 → Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra3,2 → Ra0,8 0,5 → 0,2 → 0,1 → 0,05 → 0,02	1	заготівля	3,2	0,5	50	-	-	-
		25				2	Точіння чернов.	0,4	0,2	13	8	-	4
						3	Точіння чистою.	0,1	0,1	6,3	4	-	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
						5	Шліф. чернов.	0	0,1	3,2	2,5	-	2
						7	Шліф. тонке	0	0	0,8	1,6	-	4
						Rz	63						
Пов.19, внутр.цїл., Ø12H7, несоосность 0,02, непаралельність 0,05, Ra 0,8, HRC 30 ... 36. Загот. - відп. Ø13 IT12, Rz = 50	d	7	3	3	Δ _{кв} = 12-7 = 5 +5 = 2 + 2 + 1 IT12 → H10 → H8 → H7 Δ _{кл} = 7-3 = 4 4 = 1 + 2 + 1 Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra1,6 → Ra0,8 1,3 → 0,5 → 0,1 → 0,05	1	свердління	0,18	0,02	13	-	-	-
		26				2	Зенкеров.однокр.	0,1	0,015	6,3	2,6	1,3	2
						3	Развёрт. точне	0	0,01	1,6	2,6	15	4
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
						5	Развёрт. тонке	0	0,005	0,8	1,5	2	2
Rz	16												

Продовження таблиці 1.6

Номер поверхні, її характер і показники точності і якості	показник j	уточнення E _{j0}	Кількість перех. k		Різниця показників ППТК	МОП		допуск			уточнення		
			розрахунок	прийняте		i	метод обробки	розмір	взаємне полож.	шорсткість	розмір	взаємне полож.	шорхов.
Пов. 20, внутр. цил., Ø19H7, несоосность 0,02, непаралельність 0,05, Ra 0,8, HRC 30 ... 36. Загот. - відп. Ø13 IT12, Rz = 50	d	9	3	3	$\Delta_{\text{кв}} = 12-7 = 5 + 5 = 2 + 2 + 1$ IT12 → H10 → H8 → H7 $\Delta_{\text{кл}} = 7-3 = 4 + 4 = 1 + 2 + 1$ Ra12,5 → Ra6,3 → → Ra1,6 → Ra0,8 1,3 → 0,5 → 0,1 → 0,05	1	свердління	0,18	0,02	13	-	-	-
						2	Зенкеров.однокр.	0,1	0,015	6,3	2,1	1,3	2
		26				3	Развёрт. точне	0	0,01	1,6	2,6	15	4
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
	Rz	16				5	Развёрт. тонке	0	0,005	0,8	1,6	2	2
Пов. 26, внутр. цил., Ø77H12, Ra 1,6, HRC 30 ... 36. Загот. - трубний прокат з висадкою, Ø51 IT15, Rz = 125	d	9	3	3	$\Delta_{\text{кв}} = 15-12 = 3 + 3 = 1 + 1 + 1$ IT15 → h14 → h13 → h12 $\Delta_{\text{ст}} = 6-2 = 4 + 4 = 1 + 1 + 2$ Ra25 → Ra12,5 → Ra6,3 → Ra1,6	1	заготівля	1,0	-	25	-	-	-
						2	Растач. чернов.	0,7	-	13	1,4	-	2
						3	Растач. чисто.	0,5	-	6,3	1,6	-	2
						4	ТО	-	-	-	-	-	-
	Rz	19				5	Шлифов. сиг.	0,3	-	1,6	1,5	-	4

1.5.3 Проектування маршруту виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) - це загальний план, в якому на основі компоновання раніше розроблених МОП встановлено склад і послідовність операцій технологічного процесу, вказані тип і модель верстата, встановлені технологічні комплекси, розроблені схеми установок, наведені вхідні та вихідні характеристики оброблюваних поверхонь і т.п.

Проектування МВД представляє собою багатофакторну техніко-економічну задачу з великою кількістю варіантів вирішення.

Етапний маршрут виготовлення вала турбіни компресора.

1 етап - отримання заготовки.

Найбільш доцільно для отримання заготовки використовувати метод висадки трубного прокату на електровисадочних машинах, дивись пункт 1.3.

2 етап - токарна обробка всіх поверхонь.

Обробка технологічних баз (торців, центрових отворів). Попереднє і чистове точіння шийок вала і торців.

3 етап - сверлильна обробка.

Свердління, зенкування і розгортання отворів.

4 етап - фрезерна обробка.

Обробка канавок, пазів, викрушек.

5 етап - термічна обробка.

Загартування, відпустка.

6 етап - шліфувальна обробка.

Шліфування чорнове, чистове і одноразове відповідних шийок і торців.

7 етап - нарізування різьби.

Мийка, контроль.

Розробивши етапну схему технологічного маршруту і визначивши технологічні бази (див. 1.4), сформуємо технологічні комплекси і операції. Технологічні комплекси формують з окремих поверхонь деталі, які доцільно обробляти з однієї установки заготовки.

I технологічний комплекс - поверхні 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13; II технологічний комплекс - поверхні 14, 15, 16, 17, 21; III технологічний комплекс - поверхні 23, 24, 25, 26, 27.

Вибір технологічного обладнання: тип верстата визначають на етапі проектування МОП, призначивши метод механічної обробки. Вибір моделі верстата для конкретної операції залежить від конструктивних особливостей верстата, що досягається точності обробки, встановленої потужності.

Детальну розробку маршруту виготовлення деталі див. лист МЗС.

1.5.4 Розрахунок міжопераційних припусків і технологічних розмірів

Технологічний розмір - це розмір, який визначається технологом і проставляється в технологічній документації. Технологічний розмір включає припуск під подальшу обробку.

Припуск - це шар матеріалу, що містить різні дефекти, які не допустимі за умовами службового призначення, і який необхідно усунути з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні. Припуск слід розглядати як компенсатор погрешностей попередніх переходів.

До теперішнього часу розроблено два методи визначення припусків: розрахунково-аналітичний і дослідно-статистичний (табличний).

При визначенні припуску розрахунково-аналітичним методом визначають складові елементи припуску R_z , h , ρ , ϵ в залежності від конкретних умов обробки і стану заготовки по довідковій літературі, а потім розраховують Z_i^{min} для переходів механічної обробки.

При визначенні припуску дослідно-статистичним методом величину загального припуску Z_0^{min} або припуску на перехід Z_i^{min} обирають з таблиць довідкової літератури.

Методи розрахунку технологічних розмірів: метод проф. В.М. Кована і метод розмірних ланцюгів.

Метод, заснований на теорії розмірних ланцюгів, дає загальне рішення розмірної завдання і охоплює весь спектр різних методів і схем обробки. Метод проф. В.М. Кована доцільний, надійний і ефективний за умови, що всі переходи механічної обробки є однопрохідної обробкою на налаштованих верстатах, тобто коли при механічній обробці спостерігається явища копіювання або технологічної спадковості.

1.5.4.1 Розглянемо методику розрахунку припусків розрахунково-аналітичним методом та розрахунку технологічних розмірів методом проф. В.М. Кована на прикладі поверхні 15 - Ø165m6.

Вибираємо нормативні та розрахункові значення елементів припусків для технологічних переходів.

Для заготівлі нормативні значення R_{z1} и h_1 приймаємо по [1, т.1, с.186, табл.12] в залежності від маси штампування - $R_{z1} = 200$ мкм, $h_1 = 250$ мкм.

Просторові відхилення заготовки визначаємо як суму допустимих значень зсуву $\rho_{см}$ і викривлення поверхні $\rho_{кор}$. а [1, т.1, с.187, табл.20] $\rho_{см} = 0,5$ мм. За [1, т.1, с.186, табл.16] - $\Delta_k = 1,6$ мкм / мм, тоді:

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l = 1,6 \cdot 18 = 28,8 \text{ мкм} \approx 0,03 \text{ мм} \quad (1.15)$$

Сумарне значення просторових відхилень визначаємо за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,03^2} = 0,5 \text{ мм} \quad (1.16)$$

Для точіння чорнового нормативні значення приймаємо по [1, т.1, с.188, табл.25]: $R_{z2} = 50$ мкм, $h_2 = 50$ мкм;

$$\rho_2 = k_y \cdot \rho_1 = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм} \quad (1.17)$$

де $k_y = 0,06$ - коефіцієнт уточнення приймаємо по [1, т.1, с.190, табл.29].

Похибка зацентровки заготовки визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_2 = 0,25\sqrt{Td_{заг}^2 + 1} = 0,25\sqrt{3,2^2 + 1} = 11\text{мкм} \quad (1.18)$$

де $Td_{заг} = 3,2$ мм - допуск діаметрального розміру бази заготовки, що використовується під час свердління центрових отворів заготовки.

Для точіння чистового по [1, т.1, с.188, табл.25] приймаємо $Rz_3 = 25$ мкм, $h_3 = 25$ мкм; $k_y = 0,05$; по (1.17):

$$\begin{aligned} \rho_3 &= k_y \cdot \rho_2 = 0,05 \cdot 30 = 1,5\text{мкм}, \\ \varepsilon_3 &= k_{y2} \cdot \varepsilon_2 = 0,06 \cdot 11 = 0,66\text{мкм}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Для термічної обробки по [1, т.1, с.186, табл.16] - $\Delta_k = 1,0$ мкм / мм

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot l = 1,0 \cdot 18 = 18\text{мкм} \quad (1.20)$$

Для шліфування чорнового приймаємо по [1, т.1, с.188, табл.25] $R_{z5} = 10$ мкм, $h_5 = 20$ мкм; $k_y = 0,03$; по (1.17) і (1.19):

$$\begin{aligned} \rho_5 &= k_y \cdot \rho_4 = 0,03 \cdot 18 = 0,54\text{мкм}, \\ \varepsilon_5 &= k_{y3} \cdot \varepsilon_3 = 0,05 \cdot 0,66 = 0,033\text{мкм}. \end{aligned}$$

Для шліфування чистового приймаємо по [1, т.1, с.188, табл.25] $R_{z6} = 3,2$ мкм, $h_6 = 15$ мкм, $\rho_6 = 0$, $\varepsilon_6 = 0$.

Розраховуємо мінімальні припуски для переходів механічної обробки по формулі:

$$2Z_i^{\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (1.21)$$

Для точіння чорнового

$$2Z_2^{\min} = 2(200 + 250 + \sqrt{500^2 + 11^2}) = 1900\text{мкм} = 1,9\text{мм}.$$

Для точіння чистового

$$2Z_3^{\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{30^2 + 0,66^2}) = 260\text{мкм} = 0,26\text{мм}.$$

Для шліфування чорнового

$$2Z_5^{\min} = 2(25 + 25 + \sqrt{18^2 + 0,033^2}) = 136\text{мкм} = 0,14\text{мм}.$$

Для шліфування чистового

$$2Z_6^{\min} = 2(10 + 20 + 0,54) = 61\text{мкм} = 0,06\text{мм}.$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.7.

Допуски на розміри технологічних переходів призначаємо згідно МОП (див. Табл. 5).

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі - розмір останнього переходу механічної обробки:

$$d_6^{\min} = d_6^{\text{ном}} + e_{id_6} = 165 + 0,015 = 165,015\text{мм} \quad (1.22)$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо за формулою:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2Z_{i+1}^{\min} \quad (1.23)$$

$$d_5^{\min} = d_6^{\min} + 2Z_6^{\min} = 165,015 + 0,06 = 165,08\text{мм},$$

$$d_3^{\min} = d_5^{\min} + 2Z_5^{\min} = 165,08 + 0,14 = 165,2\text{мм},$$

$$d_2^{\min} = d_3^{\min} + 2Z_3^{\min} = 165,2 + 0,26 = 165,5\text{мм},$$

$$d_1^{\min} = d_2^{\min} + 2Z_2^{\min} = 165,5 + 1,9 = 167,4\text{мм}.$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхонь для переходів по формулі:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.24)$$

$$d_6^{\max} = d_6^{\min} + Td_6 = 165,015 + 0,025 = 165,04\text{мм},$$

$$d_5^{\max} = d_5^{\min} + Td_5 = 165,08 + 0,04 = 165,12 \text{ мм},$$

$$d_3^{\max} = d_3^{\min} + Td_3 = 165,2 + 0,1 = 165,3 \text{ мм},$$

$$d_2^{\max} = d_2^{\min} + Td_2 = 165,5 + 0,4 = 165,9 \text{ мм},$$

$$d_1^{\max} = d_1^{\min} + Td_1 = 167,4 + 3,2 = 170,6 \text{ мм},$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2Z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.25)$$

$$2Z_2^{\max} = d_1^{\max} - d_2^{\min} = 170,65 - 165,9 = 4,7 \text{ мм},$$

$$2Z_3^{\max} = d_2^{\max} - d_3^{\min} = 165,9 - 165,3 = 0,6 \text{ мм},$$

$$2Z_5^{\max} = d_3^{\max} - d_5^{\min} = 165,3 - 165,12 = 0,18 \text{ мм},$$

$$2Z_6^{\max} = d_5^{\max} - d_6^{\min} = 165,12 - 165,04 = 0,08 \text{ мм}.$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи рівність:

$$2Z_o^{\max} - 2Z_o^{\min} = Td_{заг} - Td_{дет}$$

$$5,56 - 2,36 = 3,2 - 0,025$$

$$3,2 = 3,175$$

0,025 мм - це похибка за рахунок округлення.

Визначаємо технологічні виконавчі розміри для переходів механічної обробки. Перший перехід - заготівля. Визначаємо номінальний розмір заготовки:

$$d_1^{ном} = d_1^{\min} + eid_1 = d_1^{\max} - esd_1 = 167,4 + 1,1 = 170,6 - 2,1 = 168,5 \quad (1.26)$$

Старанні розмір заготовки - $\varnothing 168,5_{-1,1}^{+2,1}$.

Технологічні виконавчі розміри для другого, третього і п'ятого переходів проставляємо в системі вала - «h».

Всі розрахункові дані заносимо в таблицю 1.7.

1.5.4.2 Методику розрахунку припусків дослідно-статистичним методом і розрахунку технологічних розмірів методом розмірних ланцюгів розглянемо на прикладі поверхні 10 - 15h11.

За [9, с.41, табл. 4.9, 4.10] знаходимо мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

точіння чорнове - $Z_2^{\min} = 2,5\text{мм}$

точіння чистове - $Z_3^{\min} = 1,2\text{мм}$

шліфування чорнове після термічної обробки - $Z_5^{\min} = 0,5\text{мм}$

шліфування чистове - $Z_6^{\min} = 0,1\text{мм}$

Визначаємо граничні значення технологічних розмірів.

Розраховуємо максимальний розмір поверхні деталі - останнього переходу:

$$l_6^{\max} = l_6^{\text{ном}} + esl_6 = 15 + 0 = 15\text{мм} \quad (1.27)$$

Розраховуємо розрахункові максимальні розміри для переходів по формулі:

$$l_i^{\max} = l_{i+1}^{\max} + z_{i+1}^{\min} + Tl_i \quad (1.28)$$

$$l_5^{\max} = l_6^{\max} + z_6^{\min} + Tl_5 = 15 + 0,1 + 0,18 = 15,28\text{мм},$$

$$l_3^{\max} = l_5^{\max} + z_5^{\min} + Tl_3 = 15,28 + 0,5 + 0,27 = 16,05\text{мм},$$

$$l_2^{\max} = l_3^{\max} + z_3^{\min} + Tl_2 = 16,05 + 1,2 + 0,43 = 17,68\text{мм},$$

$$l_1^{\max} = l_2^{\max} + z_2^{\min} + Tl_1 = 17,68 + 2,5 + 1,1 = 21,28\text{мм}.$$

Розраховуємо мінімальні розміри поверхні для переходів по формулі:

$$l_i^{\min} = l_i^{\max} - Tl_i \quad (1.29)$$

$$l_1^{\min} = l_1^{\max} - Tl_1 = 21,28 - 1,1 = 20,18\text{мм},$$

$$l_2^{\min} = l_2^{\max} - Tl_2 = 17,68 - 0,43 = 17,25\text{мм},$$

$$l_3^{\min} = l_3^{\max} - Tl_3 = 16,05 - 0,27 = 15,78 \text{ мм},$$

$$l_5^{\min} = l_5^{\max} - Tl_5 = 15,28 - 0,18 = 15,1 \text{ мм},$$

$$l_6^{\min} = l_6^{\max} - Tl_6 = 15 - 0,11 = 14,89 \text{ мм}.$$

Визначаємо граничні значення припусків для переходів механічної обробки.

Максимальні значення припусків розраховуємо за формулою:

$$z_i^{\max} = l_{i-1}^{\max} - l_i^{\min} \quad (1.30)$$

точіння чорнове

$$z_2^{\max} = l_1^{\max} - l_2^{\min} = 21,28 - 17,25 = 4,03 \text{ мм};$$

точіння чистове

$$z_3^{\max} = l_2^{\max} - l_3^{\min} = 17,68 - 15,78 = 1,9 \text{ мм};$$

шліфування чорнове

$$z_5^{\max} = l_3^{\max} - l_5^{\min} = 16,05 - 15,1 = 0,95 \text{ мм};$$

шліфування чистове

$$z_6^{\max} = l_5^{\max} - l_6^{\min} = 15,28 - 14,89 = 0,39 \text{ мм}.$$

Мінімальні значення припусків розраховуємо за формулою:

$$z_i^{\min} = l_{i-1}^{\min} - l_i^{\max} \quad (1.31)$$

$$z_2^{\min} = l_1^{\min} - l_2^{\max} = 20,18 - 17,68 = 2,5 \text{ мм};$$

$$z_3^{\min} = l_2^{\min} - l_3^{\max} = 17,25 - 16,05 = 1,2 \text{ мм};$$

$$z_5^{\min} = l_3^{\min} - l_5^{\max} = 15,78 - 15,28 = 0,5 \text{ мм};$$

$$z_6^{\min} = l_5^{\min} - l_6^{\max} = 15,1 - 15 = 0,1 \text{ мм}.$$

Перевірка:

$$Tz_0 = z_0^{\max} - z_0^{\min} = Tl_1 + Tl_6$$

$$6,39 - 5,18 = 0,11 + 1,1$$

$$1,21 = 1,21$$

Отримані результати заносимо в таблицю 1.7.

1.5.4.3 Розрахунок технологічних координатних розмірів виробляємо методом розмірного аналізу.

Готуємо розрахункову карту (див. лист Карта розрахунку припусків і технологічних координатних розмірів), потім, після проектування розмірної схеми технологічного процесу, виявляємо технологічні розмірні ланцюги - замкнуті розмірні контури, в яких останньою ланкою повинен бути конструкторський розмір або припуск. Після визначаємо вихідні рівняння замкнутих розмірних контурів.

Таким чином, маємо наступні значення конструкторських розмірів:

$$A1 = 446 - 0,4 \text{ мм}; A2 = 15 - 0,11 \text{ мм}; A3 = 10 - 0,09 \text{ мм}; A4 = 56 - 0,3 \text{ мм}.$$

Мінімальні значення припусків призначаємо по [9, табл. 4.9, 4.10] з урахуванням стадії і методу обробки:

$$Z_{\text{фрез.}}^{\min} = 2,0 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{точ. черн.}}^{\min} = 2,0 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{точ. чист.}}^{\min} = 1,2 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{шлиф. однокр.}}^{\min} = 0,6 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{шлиф. черн.}}^{\min} = 0,5 \text{ мм}$$

$$Z_{\text{шлиф. чист.}}^{\min} = 0,1 \text{ мм}$$

Рішення розмірних ланцюгів.

Допуски на технологічні розміри призначаємо в залежності від стадії обробки заготовки.

Визначаємо технологічний розмір S15.

З вихідного рівняння $[A2] = S15$ знаходимо $S15 = A2 = 15\text{мм}$. Технологічний розмір $S15$ отримуємо чистовим шліфуванням, тому допуск і граничні відхилення по $h11$.

Виконавчий розмір $S15 = 15-0,11\text{мм}$.

Визначаємо технологічний розмір $S14$.

З вихідного рівняння

$[Z_9^{\min}] = S_{14}^{\min} - S_{15}^{\max}$ знаходимо $S_{14}^{\min} = S_{15}^{\max} + Z_9^{\min} = 15 + 0,1 = 15,1\text{мм}$. Допуск на розмір $S14$ призначаємо по $js14$: $TS14 = 0,18 (\pm 0,09) \text{мм}$.

Номінальний розмір: $S_{14}^{\text{ном}} = S_{14}^{\min} + EiS_{14} = 15,1 + 0,09 = 15,19\text{мм}$.

Виконавчий розмір: $S14 = 15,19 \pm 0,09\text{мм}$.

Виконуємо перевірку:

$$Z_9 = S_{14} - S_{15} = 15,19 \pm 0,09 - 15_{-0,11} = 0,19_{-0,09-(+0)}^{+0,09+(-0,11)} = 0,19_{-0,09}^{-0,02} \text{мм};$$

$$Z_9^{\min} = 0,19 - 0,09 = 0,1\text{мм} - \text{контрольне правило підтверджено};$$

$$Z_9^{\max} = 0,19 - 0,0 = 0,17\text{мм}.$$

Розрахунок інших розмірів аналогічний.

Отримані дані заносимо в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 - Результати розрахунку припусків і технологічних розмірів

характеристика поверхні	Найменування технологічного переходу	елементи припуску				розрахунковий		допуск	Граничне значення розмірів		Граничне значення припусків		Технологічний виконавчий розмір, d / l, мм
						припуск	розмір						
		Rz	h	ρ	ε	Zmin, мм	d / l, мм		dmax / lmax, мм	dmin / lmin, мм	Zmax, мм	Zmin, мм	
Пов. 1, нар. плоск., 446h11, биття 0,05, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	458,23	4,0	458,23	454,23	-	-	456,23 ± 2,0
	2. Фрезерування					2,0	451,89	0,97	451,89	451,26	4,97	2,0	451,745 ± 0,485
	3. Точний. чистий.					1,2	450,06	0,63	450,06	449,43	1,65	1,2	449,745 ± 0,315
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,6	446,0	0,4	446,0	445,6	0,83	0,6	446-0,4
Пов. 3, нар. цил., Ø72h8, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	77,1	1,4	77,1	75,7	-	-	Ø 76,1 ^{+1,0} _{-0,4}
	2. Точний. черн.					2,1	73,6	0,3	73,6	73,30	3,8	2,10	Ø 73,6-0,3
	3. Точний. чистий.					0,3	73,0	0,12	73,0	72,88	0,7	0,3	Ø 73-0,12
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. чорнове					0,75	72,1	0,074	72,1	72,060	0,9	0,85	Ø 72,1-0,074
	6. Шліф. чистове					0,06	72,0	0,046	72,0	71,954	0,2	0,06	Ø 72-0,046
Пов. 4, нар. цил., Ø85h10, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	89,9	1,4	89,9	88,5	-	-	Ø 88,9 ^{+1,0} _{-0,4}
	2. Точний. черн.					2,1	86,4	0,3	87,1	86,44	3,5	2,1	Ø 87,1-0,3
	3. Точний. чистий.					0,3	85,8	0,19	86,3	85,84	1,3	0,3	Ø 86,3-0,19
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф.однократ.					0,65	85,0	0,12	85,3	85,00	1,28	0,75	Ø 85-0,12
Пов. 5, нар. цил., Ø88, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	94,1	1,4	94,1	92,7	-	-	Ø 93,1 ^{+1,0} _{-0,4}
	2. Точний. черн.					2,3	90,4	0,87	90,4	89,49	4,6	2,3	Ø 90,4-0,87
	3. Точний. чистий.					0,3	89,2	0,54	89,2	88,65	1,7	0,3	Ø 89,2-0,54
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф.однократ.					0,65	88,0	0,35	88,0	87,65	1,5	0,65	Ø 88-0,35

Продовження таблиці 1.7

характеристика поверхні	Найменування технологічного переходу	елементи припуску				розрахунковий		допуск	Граничне значення розмірів		Граничне значення припусків		Технологічний виконавчий розмір, d / l, мм
						припуск	розмір						
		Rz	h	ρ	ε	Zmin, мм	d / l, мм		dmax / lmax, мм	dmin / lmin, мм	Zmax, мм	Zmin, мм	
Пов. 9, нар. цил., Ø90m6, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	95,3	1,4	95,3	93,9	-	-	Ø95 ^{+1,1} _{-0,3}
	2. Точний. черн.					2,5	91,4	0,22	91,4	91,13	4,1	2,5	Ø 91,4-0,22
	3. Точний. чистий.					0,3	90,8	0,054	90,8	90,780	0,6	0,3	Ø 90,8-0,054
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. чорнове					0,65	90,1	0,035	90,1	90,095	0,7	0,65	Ø 90,1-0,035
	6. Шліф. чистове					0,06	90,035	0,022	90,035	90,013	0,1	0,06	Ø90 ^{+0.035} _{+0.013}
Пов. 10, нар. плоск., 15h11, биття 0,01 Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	28,365	1,1	28,365	27,265	-	-	27,815 ± 0,55
	2. Точний. черн.					2,0	21,78	0,43	21,78	21,35	5,945	2	21,565 ± 0,215
	3. Точний. чистий.					1,2	17,78	0,27	17,78	17,51	3,07	1,2	17,645 ± 0,135
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. чорнове					0,5	15,28	0,18	15,28	15,1	2,08	0,5	15,19 ± 0,09
	6. Шліф. чистове					0,1	15	0,11	15	14,89	0,17	0,1	15-0,11
Пов. 12, нар. цил., Ø120h11, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	128,1	3,2	128,1	124,9	-	-	Ø126 ^{+2,1} _{-1,1}
	2. Точний. черн.					2,5	122,4	0,87	122,36	121,49	6,61	2,5	Ø 122,36-0,87
	3. Точний. чистий.					0,3	121,2	0,54	121,19	120,65	1,71	0,3	Ø 121,19-0,54
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,65	120,0	0,22	120	119,78	1,41	0,65	Ø 120-0,22
Пов. 13, нар. плоск., 10h11, неперпендікуляр ність 0,02, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	23,115	1,1	23,115	22,015	-	-	22,565 ± 0,55
	2. Точний. черн.					2,0	16,53	0,36	16,53	16,17	6,015	2,0	16,35 ± 0,18
	3. Точний. чистий.					1,2	12,51	0,22	12,51	12,29	3,04	1,2	12,4 ± 0,11
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,6	10,00	0,09	10	9,91	2,0	0,6	10-0,09

Продовження таблиці 1.7

характеристика поверхні	Найменування технологічного переходу	елементи припуску				розрахунковий		допуск	Граничне значення розмірів		Граничне значення припусків		Технологічний виконавчий розмір, d / l, мм
		Rz	h	ρ	ε	Zmin, мм	d / l, мм		dmax / lmax, мм	dmin / lmin, мм	Zmax, мм	Zmin, мм	
Пов. 15, нар. цил., Ø165m6, биття 0,02, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Заготівля	200	250	500	-	-	167,4	3,2	170,6	167,4	4,7	-	Ø168,5 ^{+2,1} _{-1,1}
	2. Точний. черн.	50	50	30	11	1,9	165,5	0,4	165,9	165,5	4,7	1,9	Ø 165,9-0,4
	3. Точний. чистий.	25	25	1,5	0,66	0,26	165,2	0,1	165,3	165,2	0,6	0,26	Ø 165,3-0,1
	4. ТО	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. чорнове	10	20	0,54	0,033	0,14	165,1	0,04	165,1	165,1	0,18	0,14	Ø 165,12-0,04
	6. Шліф. чистове	3,2	15	0	0	0,06	165	0,025	165	165	0,08	0,06	Ø165 ^{+0.040} _{+0.015}
Пов. 17, нар. плоск., 446h11, неперпендікулярнос ть 0,02, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	458,23	4,0	458,23	454,23	-	-	456,23 ± 2,0
	2. Фрезерування					2,0	451,89	0,97	451,89	451,26	4,97	2,0	451,745 ± 0,485
	3. Точний. чистий.					1,2	448,2	0,63	448,2	447,60	1,65	1,2	447,915 ± 0,315
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,6	447,0	0,4	447,0	446,6	1,23	0,6	446,8 ± 0,2
Пов. 19, внутр. цил., Ø12H7, несоосность 0,02, непаралельність 0,05, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Свердління					-	10,00	0,18	10,18	10,00	-	-	Ø 10 + 0,18
	2. Зенкер. однократ.					0,82	11,00	0,07	11,07	11,00	0,89	0,82	Ø 11 + 0,07
	3. Разверт. точне					0,43	11,50	0,027	11,527	11,50	0,45	0,43	Ø 11,5 + 0,027
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Разверт. тонке					0,47	12	0,018	12,018	12,00	0,49	0,47	Ø 12 + 0,018
Пов. 20, внутр. цил., Ø19H7, несоосность 0,02, непаралельність 0,05, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Свердління					-	16,32	0,18	16,32	16,14	-	-	Ø 16,14 + 0,18
	2. Зенкер. однократ.					1,5	18,00	0,084	18,087	18,00	1,76	1,5	Ø 18 + 0,084
	3. Разверт. точне					0,41	18,50	0,033	18,530	18,50	0,44	0,41	Ø 18,5 + 0,033
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Разверт. тонке					0,47	19,0	0,021	19,021	19,00	0,49	0,47	Ø 19 + 0,021

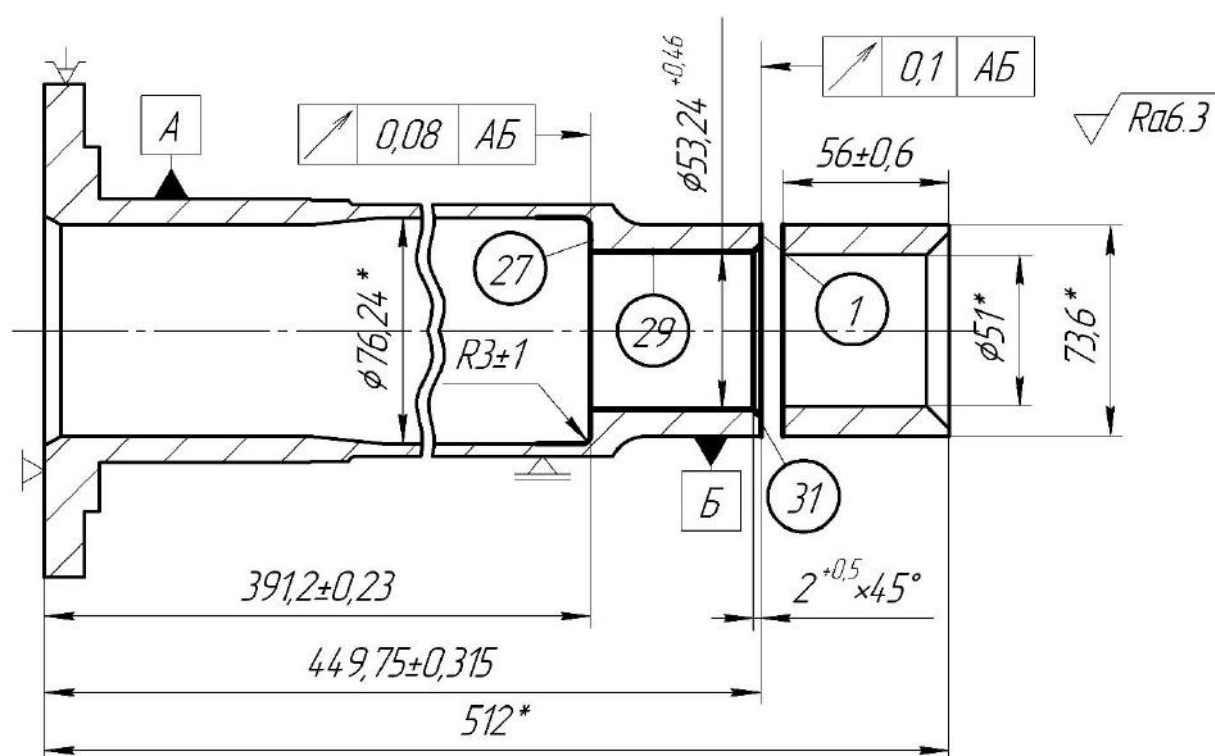
Продовження таблиці 1.7

характеристика поверхні	Найменування технологічного переходу	елементи припуску				розрахунковий		допуск	Граничне значення розмірів		Граничне значення припусків		Технологічний виконавчий розмір, d / l, мм
		Rz	h	ρ	ε	Zmin, мм	d / l, мм		dmax / lmax, мм	dmin / lmin, мм	Zmax, мм	Zmin, мм	
Пов. 25, внутр. цил., Ø72, Ra 0,8, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	66,50	1,00	66,50	65,50	-	-	Ø66,2 ^{+0,2} _{-0,8}
	2. Растачів. черн.					2,60	70,10	0,74	70,84	70,10	4,34	2,60	Ø 70,1 + 0,74
	3. Растачів. чистий.					0,40	71,24	0,46	71,70	71,24	0,86	0,40	Ø 71,24 + 0,46
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,30	72,00	0,30	72,30	72,00	0,60	0,30	Ø 72 + 0,3
Пов. 26, внутр. цил., Ø77H12, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	71,50	1,0	71,50	70,50	-	-	Ø71,2 ^{+0,2} _{-0,8}
	2. Растачів. черн.					2,60	75,10	0,74	75,84	75,10	4,34	2,60	Ø 75,1 + 0,74
	3. Растачів. чистий.					0,40	76,24	0,46	76,70	76,24	0,86	0,40	Ø 76,24 + 0,46
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,30	77,00	0,3	77,30	77,00	0,60	0,30	Ø 77 + 0,3
Пов. 27, внутр. плоск., 56h12, биття 0,03, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Точний. черн.					2,00	62,30	0,74	62,30	62,46	-	-	62,83 ± 0,37
	2. Точний. чистий.					1,20	391,43	0,46	391,43	390,07	3,47	1,20	391,2 ± 0,23
	3. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	4. Шліф. однократ.					0,60	56,00	0,30	56,00	55,70	2,79	0,60	56-0,3
Пов. 29, внутр. цил., Ø54H10, Ra 1,6, HRC 30 ... 36	1. Заготівля					-	50,80	1,00	51,80	50,80	-	-	Ø51 ^{+0,2} _{-0,8}
	2. Точний. черн.					0,35	52,15	0,74	52,84	52,10	1,04	0,35	Ø 52,1 + 0,74
	3. Точний. чистий.					0,35	53,24	0,46	53,70	53,24	0,86	0,35	Ø 53,24 + 0,46
	4. ТО					-	-	-	-	-	-	-	-
	5. Шліф. однократ.					0,30	54,00	0,12	54,12	54,00	0,42	0,30	Ø 54 + 0,12

1.6 Проектування операційної технології

Метою даного розрахунку є визначення для даної операції подачі, швидкості різання, підбір оборотів шпинделя і визначення потужності приводу верстата. Розробка розрахунково-технологічних карт для верстатів з ЧПУ або карти настройки для багаторізових або гідрокопіровальних верстатів. А також призначення норм часу на дану операцію.

1.6.1 Операція 025 Токарна



Малюнок 1.3 - Операційний ескіз для операції 025 Токарна

1.6.1.1 Вибір обладнання.

Для даної операції вибираємо верстат токарний патрно-центровий з ЧПУ моделі 16А20БФ3. При виборі верстата приймаємо до уваги потужність, необхідну для різання, і максимальний діаметр оброблюваної деталі.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 - Технічні характеристики токарного патронно-центрового верстата з ЧПУ моделі 16A20БФЗ

Найбільший діаметр встановлюваного виробу	500 мм
Найбільший діаметр оброблюваного виробу:	
над станиною	320 мм
над супортом	200 мм
Найбільша довжина оброблюваного виробу	750 мм
Максимальна рекомендована швидкість робочої подачі:	
поздовжньої	2000 мм
поперечної	1000 мм
точність позиціонування	0,01 мм
Діапазон частот обертання шпинделя	10 ... 3500 хв-1
Максимальна швидкість швидких переміщень:	
поздовжніх	15 м / хв
поперечних	7,5 м / хв
Кількість позицій інструментальної головки	8
Потужність приводу головного руху	11 кВт
Габаритні розміри верстата:	
довжина	3700 мм
ширина	2260 мм
висота	1650 мм
маса верстата	4000 кг

1.6.1.2 Вибір різального інструменту.

Перехід 01 - відрізання зразка для випробувань. Використовуємо відрізний різець з твердосплавною пластиною ДСТУ 18874-73, матеріал ріжучої частини ВК8, перетин державки $b \times h = 25 \times 16$, довжина державки $L = 140$ мм, ширина робочої частини $a = 6$ мм, головний кут в плані $\varphi = 90^\circ$, радіус заокруглення вершини різця $r = 0,5$ мм. Налаштування $a = -5$, $b = -70$, $j = 4$.

Перехід 02 - чорнове розточування поверхні 29 і обробка поверхні 31. Використовуємо розточний різець з твердосплавних пластиною ДСТУ 18883-73, матеріал ріжучої частини Т15К6, перетин державки $b \times h = 20 \times 20$, довжина державки $L = 140$ мм, ширина робочої частини $a = 10$ мм, головний кут в плані $\varphi = 95^\circ$, радіус заокруглення вершини різця $r = 1,0$ мм.

Перехід 03 - чистове розточування поверхонь 27, 29. Використовуємо розточний державочний різець з твердосплавною пластиною ДСТУ 9795-84, матеріал ріжучої частини Т15К6, перетин державки $b \times h = 16 \times 16$, довжина

державки $L = 63$ мм, ширина робочої частини $a = 8$ мм, головний кут в плані $\varphi = 40^\circ$, радіус заокруглення вершини різця $r = 3,0$ мм.

Перехід 04 - чистове підрізання торця 1. Використовуємо підрізної різець з твердосплавною пластиною ДСТУ 18880-73, матеріал ріжучої частини Т15К6, перетин державки $b \times h = 25 \times 16$, довжина державки $L = 140$ мм, ширина робочої частини $a = 10$ мм, головний кут в плані $\varphi = 10^\circ$, радіус заокруглення вершини різця $r = 1,0$ мм.

1.6.1.3 Розрахунок режимів різання для кожного переходу.

Перехід 01 - відрізати зразок для випробувань по поверхні 1.

Глибина різання $t_1 = 6$ мм.

Визначаємо подачу за формулою:

$$S_o = S_{OT} \cdot K_{SO} = 0,15 \cdot 0,82 = 0,12 \text{ мм / об} \quad (1.32)$$

де S_{OT} - табличне значення подач

$$S_{OT} = 0,14 \text{ мм / об згідно [5, табл. 29, с. 238]}$$

$$K_{SO} = K_{SI} \cdot K_{SH} \cdot K_{S\varphi} \cdot K_{S3} \cdot K_{SM} \cdot K_{SJ} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,07 \times 0,9 = 0,82 \quad (1.33)$$

де $K_{SI} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні [5, табл. 30, с. 239];

$K_{SH} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту [5, табл. 30, с. 239];

$K_{S\varphi} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні [5, табл. 30, с. 239];

$K_{S3} = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує вплив загартування [5, табл. 30, с. 239];

$K_{SM} = 1,07$ - коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної деталі [5, табл. 30, с. 239];

$K_{sj} = 0,9$ - коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи [5, табл. 30, с. 239].

Період стійкості різця $T = 30$ хв [5, табл. 18, с. 227].

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою:

$$V = V_T \cdot K_V = 239 \cdot 0,24 = 57 \text{ м / хв.} \quad (1.34)$$

де $V_T = 239$ м / хв - табличне значення швидкості різання [5, табл. 36, с. 243];

$$K_V = K_{V_m} \cdot K_{V_u} \cdot K_{V_\phi} \cdot K_{V_m} \cdot K_{V_{жс}} \cdot K_{V_n} \cdot K_{V_o} = 0,61 \cdot 0,83 \cdot 0,81 \cdot 0,64 \cdot 0,9 \times \\ \times 1,0 \cdot 1,0 = 0,24 \quad (1.35)$$

де $K_{V_m} = 0,61$ - коефіцієнт, що враховує оброблюваність матеріалу [5, табл. 1, с. 23];

$K_{V_u} = 0,83$ - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту [5, табл. 37, с. 244];

$K_{V_\phi} = 0,81$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута в плані [5, табл. 37, с. 244];

$K_{V_m} = 0,64$ - коефіцієнт, що враховує вид обробки [5, табл. 37, с. 244];

$K_{V_{жс}} = 0,9$ - коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи [5, табл. 37, с. 244];

$K_{V_n} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні [5, табл. 37, с. 245];

$K_{V_o} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує вплив МОР [5, табл. 37, с. 245];

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 57}{3,14 \cdot 73,6} = 246,5 \text{ об / хв.} \quad (1.36)$$

$$N_{cm} = \text{об / хв } 247$$

Дійсна швидкість головного руху:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 73,6 \cdot 247}{1000} = 57 \text{ м / хв.} \quad (1.37)$$

Потужність різання розраховуємо за такою формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2530,5 \cdot 57}{1020 \cdot 60} = 2,4 \text{ кВт} \quad (1.38)$$

де V - швидкість різання,

P_z - сила різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 204 \cdot 6^1 \cdot 0,12^{0,75} \cdot 57^0 \cdot 1,014 = 2530,5 \text{ Н} \quad (1.39)$$

де постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$ згідно [1, табл. 22, с. 273],

поправочний коефіцієнт

$$K_p = K_{p_m} \cdot K_{p_\phi} \cdot K_{p_\gamma} \cdot K_{p_r} = 1,31 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,014 \quad (1.40)$$

згідно [1, табл. 23, с. 275 і табл. 9, с.264].

Перехід 02 - точити начорно поверхню 29, 31.

$$\text{глибина різання } t_2 = \frac{D_{\text{дет}} - D_{\text{заг}}}{2} = \frac{52,1 - 51}{2} = 0,55 \text{ мм.}$$

Визначаємо подачу по формулі (1.32):

$$S_o = 0,47 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,07 \cdot 0,9 = 0,36 \text{ мм / об}$$

де $S_{OT} = 0,47 \text{ мм / об}$ [5, табл. 26, с. 237]; $K_{SH} = 1,0$; $K_{SH} = 1,0$; $K_{S\phi} = 1,0$; $K_{S3} = 0,8$; $K_{SM} = 1,07$; $K_{SJ} = 0,9$ [5, табл. 30, с. 239]

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.34):

$$V = 239 \cdot 0,61 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 42 \text{ м / хв.}$$

де $V_T = 239 \text{ м / мин}$ [5, табл. 36, с. 243]; $K_{V_m} = 0,61$ [5, табл. 1, с. 23]; $K_{V_u} = 1,0$; $K_{V_\phi} = 0,8$; $K_{V_m} = 0,6$; $K_{V_{ж}} = 0,6$; $K_{V_n} = 1,0$; $K_{V_o} = 1,0$ [5, табл. 37, с. 244];
Частота обертання шпинделя (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot 42}{3,14 \cdot 52,1} = 257 \text{ об / хв.}$$

$$N_{cm} = \text{об / хв } 257$$

Дійсна швидкість головного руху (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 52,1 \cdot 257}{1000} = 42 \text{ м / хв.}$$

Потужність різання розраховуємо за такою формулою (1.38):

$$N = \frac{561,5 \cdot 42}{1020 \cdot 60} = 0,4 \text{ кВт},$$

Сила різання P_z визначаємо по (1.39):

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 0,55^1 \cdot 0,39^{0,75} \cdot 42^0 \cdot 1,014 = 561,5 \text{ Н},$$

Постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$ згідно [1, табл. 22, с. 273], поправочний коефіцієнт по (1.40): $K_p = 1,31 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,014$, Згідно [1, табл. 23, с. 275 і табл. 9, с. 264].

Перехід 03 - точити начисто поверхні 27, 29.

глибина різання $t_3 = l_{\text{дет}3} - l_{\text{дет}2} = 62,83 - 60,545 = 2,3 \text{ мм}$.

Визначаємо подачу по формулі (1.32):

$$S_O = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 1,07 \cdot 0,83 = 0,18 \text{ мм / об}$$

де $S_{OT} = 0,25 \text{ мм / об}$ [5, табл. 27, с. 237]; $K_{ST} = 1,0$; $K_{SH} = 1,0$; $K_{S\phi} = 1,0$; $K_{S3} = 0,83$; $K_{SM} = 1,07$; $K_{SJ} = 0,83$ [5, табл. 30, с. 239].

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.34):

$$V = 239 \cdot 0,61 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 57 \text{ м / хв.}$$

де $V_T = 239 \text{ м / мин}$ [5, табл. 36, с. 243]; $K_{V_m} = 0,61$ [5, табл. 1, с. 23]; $K_{V_u} = 1,0$; $K_{V_\phi} = 0,8$; $K_{V_m} = 0,6$; $K_{V_{ж}} = 0,82$; $K_{V_n} = 1,0$; $K_{V_o} = 1,0$ [5, табл. 37, с. 244];

Частота обертання шпинделя (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot 57}{3,14 \cdot 76,24} = 240 \text{ об / хв.},$$

$N_{cm} = \text{об / хв } 240$

Дійсна швидкість головного руху по (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 76,24 \cdot 240}{1000} = 57 \text{ м / хв.},$$

Потужність різання розраховуємо за формулою (1.38):

$$N = \frac{1315 \cdot 57}{1020 \cdot 60} = 1,2 \text{ кВт},$$

Сила різання P_z по (1.39):

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 2,3^1 \cdot 0,18^{0,75} \cdot 57^0 \cdot 1,014 = 1315H,$$

Постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$ згідно [1, табл. 22, с. 273], поправочний коефіцієнт по (1.40): $K_p = 1,31 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,014$, Згідно [1, табл. 23, с. 275 і табл. 9, с.264].

Перехід 04 -подрежать торець 1.

$$\text{глибина різання } t_4 = l_{\text{дем3}} - l_{\text{дем2}} = 451,745 - 449,745 = 2\text{мм}.$$

Визначаємо подачу по формулі (1.32):

$$S_O = 0,38 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,07 \cdot 0,62 = 0,2\text{мм/об}$$

де $S_{OT} = 0,38\text{мм/об}$ [5, табл. 26, с. 237]; $K_{SI} = 1,0$; $K_{SH} = 1,0$; $K_{S\phi} = 1,0$; $K_{S3} = 0,8$; $K_{SM} = 1,07$; $K_{SJ} = 0,62$ [5, табл. 30, с. 239]

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.34):

$$V = 250 \cdot 0,61 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,64 \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 80\text{м/хв.}$$

де $V_T = 250\text{м/мин}$ [5, табл. 36, с. 243]; $K_{V_m} = 0,61$ [5, табл. 1, с. 23]; $K_{V_u} = 1,0$; $K_{V_\phi} = 1,0$; $K_{V_m} = 0,64$; $K_{V_{ж}} = 0,82$; $K_{V_n} = 1,0$; $K_{V_o} = 1,0$ [5, табл. 37, с. 244];

Частота обертання шпинделя (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot 80}{3,14 \cdot 73,6} = 346\text{об/хв.},$$

$$N_{cm} = \text{об/хв } 346$$

Дійсна швидкість головного руху по (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 73,6 \cdot 346}{1000} = 80\text{м/хв.},$$

Потужність різання розраховуємо за формулою (1.38):

$$N = \frac{1237,3 \cdot 80}{1020 \cdot 60} = 1,6 \text{ кВт},$$

Сила різання P_z по (1.39):

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 2^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 80^0 \cdot 1,014 = 1237,3 \text{ Н},$$

Постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$ згідно [1, табл. 22, с. 273], поправочний коефіцієнт по (1.40): $K_p = 1,31 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,014$, Згідно [1, табл. 23, с. 275 і табл. 9, с.264].

1.6.1.4 Розробка розрахунково-технологічної карти керуючої програми.

Характерною особливістю верстатів з ЧПУ є автоматична реалізація сукупності закодованих команд (керівної програми), що забезпечують необхідну послідовність взаємних положень оброблюваної деталі і інструменту.

Для розробки керівної програми технологом-програмістом повинна бути підготовлена технологічна документація, яка містить всю необхідну геометричну, числову, технологічну інформацію і включає в себе: розрахунково-технологічну карту (РТК), заповнений бланк числовий і технологічної інформації та програмний лист з програмою в кодах ISO .

Керуюча програма для цієї операції наведена в додатку А.

1.6.1.5 Нормування операції.

Технічна норма часу - обґрунтована тривалість часу, необхідна для виконання певної операції. У великосерійному нормою часу на операцію є штучно-калькуляційний час.

Норма штучно-калькуляційного часу визначається наступним чином:

$$t_{ш-к} = t_{ум} + \frac{t_{нз}}{n} = 4,64 + \frac{32}{400} = 4,72 \text{ хв.} \quad (1.41)$$

де $t_{шт}$ - норма штучного часу:

$$t_{шт} = t_o + t_e + t_{обс} + t_n \quad (1.42)$$

де t_o - основний час на операцію:

$$t_o = \sum t_{oj} \quad (1.43)$$

t_{oj} - основний час на виконання j -го переходу обробки елементарної поверхні:

$$t_{oj} = \frac{L_{p.x.}}{S \cdot n} \cdot i \quad (1.44)$$

де $L_{p.x.}$ - довжина робочого ходу:

$$L_{p.x.} = l_{врез} + l_{обр} + l_{пероб} \quad (1.45)$$

$l_{врез}$ - довжина врізання ріжучого інструменту,

$l_{обр}$ - довжина різання,

$l_{пероб}$ - довжина перебігаючи ріжучого інструменту.

S - подача на оборот обертання шпинделя,

n - частота обертання шпинделя,

i - кількість проходів.

$$t_{o1} = \frac{2 + 11,3 + 2}{0,12 \cdot 247} \cdot 1 = 0,8 \text{ хв.}$$

$$t_{o2} = \frac{2 + 2,8 + 62,83 + 2}{0,36 \cdot 257} \cdot 1 = 0,77 \text{ хв.}$$

$$t_{o3} = \frac{2 + 61,63 + 10,93 + 18 + 2}{0,18 \cdot 240} \cdot 1 = 1,4 \text{ хв.}$$

$$t_{o4} = \frac{2 + 10,18 + 2}{0,2 \cdot 346} \cdot 1 = 0,28 \text{ хв.}$$

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} + t_{o4} = 0,8 + 0,77 + 1,4 + 0,28 = 3,3 \text{ хв.}$$

t_{ϵ} - допоміжний час:

$$t_{\epsilon} = t_{\epsilon.y} + t_{\epsilon.м.в.} = 0,5 + 0,35 = 0,85 \text{ хв.} \quad (1.46)$$

де $t_{\epsilon.y}$ - час на установку і зняття заготовки, згідно [4, карта 51, с. 138] $t_{\epsilon.y} = 0,5 \text{ хв.}$,

$t_{\epsilon.м.в.}$ - машинно-допоміжний час, пов'язане з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхонь, згідно [1, табл.12, с.605] для верстата 16А20БФ3 машинно-допоміжний час, що витрачається на: прискорене переміщення одно 0,03мін, установче - 0,10хв, неодружене в зоні різання - 0,04хв, на поворот револьверної головки - 0,02хв. Таким чином, $t_{\epsilon.м.в.} = 0,03 + 0,10 + 0,04 \cdot 4 + 0,02 \cdot 3 = 0,35 \text{ хв.}$.

$t_{обс}$ - час обслуговування робочого місця, згідно [1, табл.12, с.605]

$t_{обс} = 10\%$ від оперативного часу -

$$t_{он} = t_o + t_{\epsilon.y} + t_{\epsilon.м.в.} = 3,0 + 0,85 = 3,85 \text{ хв.}$$

$$\text{отже, } t_{обс} = 0,1 \cdot 3,85 = 0,385 \text{ хв.}$$

t_n - час на особисті потреби, згідно [4, карта 50, с. 137] $t_n = 4\%$ від оперативного часу. отже, $t_n = 0,04 \cdot 3,85 = 0,154 \text{ хв.}$.

$$\text{Таким чином, } t_{ум} = 3,3 + 0,85 + 0,385 + 0,154 = 4,64 \text{ хв.}$$

$t_{нз}$ - підготовчо-заключний час на партію деталей

$$t_{нз} = t_{нз1} + t_{нз2} = 12 + 20 = 32 \text{ хв.} \quad (1.47)$$

де $t_{n31} = 12$ хв згідно [1, с.604],

t_{n32} - час, що враховує додаткові роботи, по [1, табл.12, с.605]

$t_{n32} = 20 \text{ хв.}$

$n = 400$ шт - розмір партії заготовок (див. Пункт 1.2).

Визначаємо змінну норму виробітку:

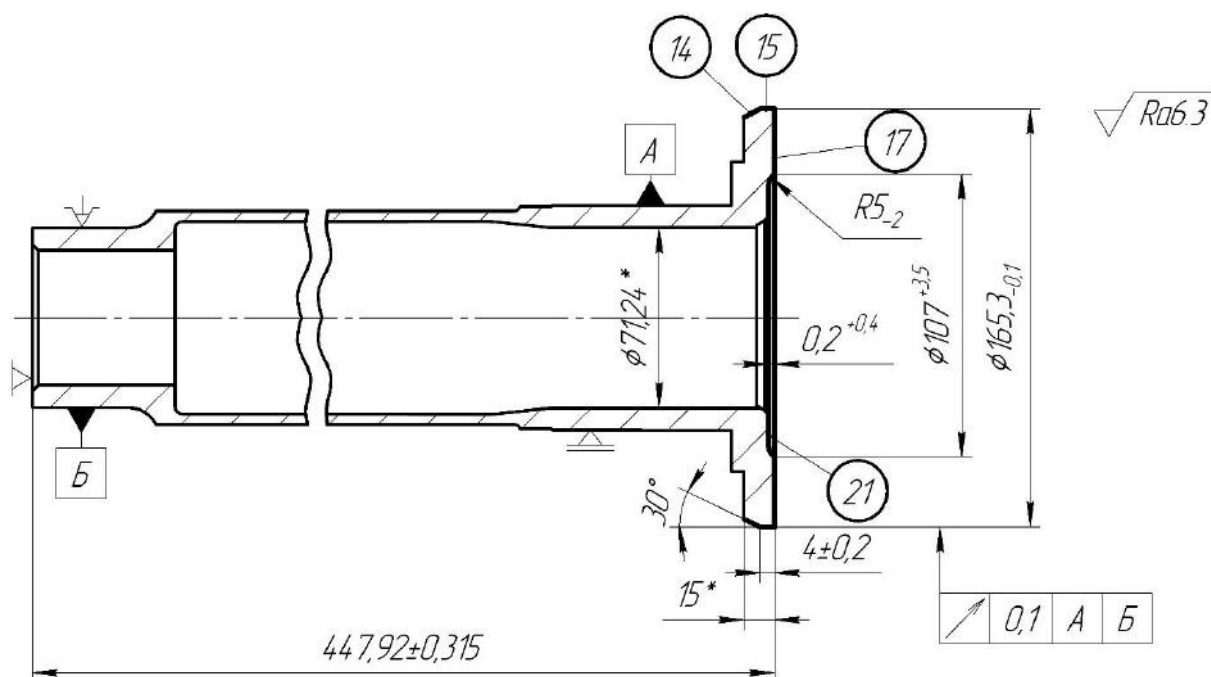
$$q_{cm} = \frac{f_{cm}}{t_{u-k}} = \frac{482}{4,72} = 102 \text{ шт} \quad (1.48)$$

де $f_{cm} = 482$ ч-тривалість робочої зміни.

Отримані дані заносимо в таблицю 1.12.

1.6.2 Операція 030 Токарна

Малюнок 1.4 - Операційний ескіз для операції 030 Токарна



1.6.2.1 Вибір обладнання.

Для даної операції вибираємо верстат токарний патрно-центровий з ЧПУ моделі 16А20БФ3. При виборі верстата приймаємо до уваги потужність, необхідну для різання, і максимальний діаметр оброблюваної деталі.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.8.

1.6.2.2 Вибір різального інструменту.

Перехід 01 - різець збірної прохідний з механічним кріпленням 4-хгранної твердосплавних пластиною клином, ДСТУ 20872-80, перетин державки $b \times h = 16 \times 20$, довжина державки $L = 120$ мм, матеріал ріжучої частини Т15К6, ширина робочої частини $a = 16$ мм, головний кут в плані $\phi = 45^\circ$, радіус заокруглення вершини різця $r = 1,0$ мм.

Налаштування $a = -15$, $b = +10$, $j = 5$.

Перехід 02 - різець збірний прохідний з механічним кріпленням 4-хгранної твердосплавної пластини клином, ДСТУ 20872-80, перетин державки $b \times h = 16 \times 20$, довжина державки $L = 120 \text{ мм}$, матеріал ріжучої частини Т15К6, ширина робочої частини $a = 16 \text{ мм}$, головний кут в плані $\varphi = 45^\circ$, радіус заокруглення вершини різця $r = 1,0 \text{ мм}$.

Налаштування $a = -25$, $b = 0$, $j = 8$.

1.6.2.3 Розрахунок режимів різання для кожного переходу.

Перехід 01 - точити поверхні 17, 21.

глибина різання $t_1 = l_{\text{дем3}} - l_{\text{дем2}} = 451,745 - 449,745 = 2 \text{ мм}$.

Визначаємо подачу за формулою (1.32):

$$S_O = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,07 \cdot 1,0 = 0,25 \text{ мм / об}$$

де $S_{OT} = 0,3 \text{ мм / об}$ [5, табл. 28, с. 238]; $K_{SI} = 1,0$; $K_{SH} = 1,0$; $K_{S\varphi} = 1,0$; $K_{S3} = 0,8$; $K_{SM} = 1,07$; $K_{SJ} = 1,0$ [5, табл. 30, с. 239].

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.34):

$$V = 228 \cdot 0,61 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 136,8 \text{ м / хв.}$$

де $V_T = 228 \text{ м / мин}$ [5, табл. 36, с. 243]; $K_{V_m} = 0,61$ [5, табл. 1, с. 23]; $K_{V_u} = 1,0$; $K_{V_\varphi} = 1,0$; $K_{V_m} = 1,0$; $K_{V_{жс}} = 1,0$; $K_{V_n} = 1,0$; $K_{V_o} = 1,0$ [5, табл. 37, с. 244].

Частота обертання шпинделя (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot 136,8}{3,14 \cdot 165,9} = 262 \text{ об / хв.}$$

$N_{cm} = \text{об / хв } 262$

Дійсна швидкість головного руху (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 165,9 \cdot 262}{1000} = 136 \text{ м / хв.}$$

Потужність різання розраховуємо за такою формулою (1.38):

$$N = \frac{1462,7 \cdot 136}{1020 \cdot 60} = 3,3 \text{ кВт},$$

Сила різання P_z по (1.39):

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 2,0^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 136^0 \cdot 1,014 = 1462,7 \text{ Н},$$

Постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$ згідно [1, табл. 22, с. 273], поправочний коефіцієнт по (1.40): $K_p = 1,31 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,014$, Згідно [1, табл. 23, с. 275 і табл. 9, с. 264].

Перехід 02 - точити поверхні 14, 15.

$$\text{глибина різання } t_2 = \frac{D_{\text{дем3}} - D_{\text{дем2}}}{2} = \frac{165,9 - 165,3}{2} = 0,3 \text{ мм}.$$

Визначаємо подачу за формулою (1.32):

$$S_o = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 1,07 \cdot 1,0 = 0,25 \text{ мм/об}$$

де $S_{OT} = 0,3 \text{ мм/об}$ [5, табл. 28, с. 238]; $K_{SI} = 1,0$; $K_{SH} = 1,0$; $K_{S\Phi} = 1,0$; $K_{S3} = 0,83$; $K_{SM} = 1,07$; $K_{SK} = 1,0$ [5, табл. 30, с. 239].

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.34):

$$V = 280 \cdot 0,61 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 168 \text{ м/хв.}$$

де $V_T = 280 \text{ м/мин}$ [5, табл. 36, с. 243]; $K_{V_m} = 0,61$ [5, табл. 1, с. 23]; $K_{V_u} = 1,0$; $K_{V_\phi} = 1,0$; $K_{V_m} = 1,0$; $K_{V_{ж}} = 1,0$; $K_{V_n} = 1,0$; $K_{V_o} = 1,0$ [5, табл. 37, с. 244];

Частота обертання шпинделя (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot 168}{3,14 \cdot 165,3} = 323,5 \text{ об/хв.},$$

$N_{cm} = \text{об} / \text{хв} \cdot 323$

Дійсна швидкість головного руху по (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 165,3 \cdot 323}{1000} = 167 \text{ м/хв.},$$

Потужність різання розраховуємо за формулою (1.38):

$$N = \frac{146 \cdot 4167}{1020 \cdot 60} = 0,4 \text{ кВт},$$

Пила різання P_z по (1.39):

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 0,3^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 167^0 \cdot 1,014 = 146 \text{ Н},$$

Постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, $n = 0$ згідно [1, табл. 22, с. 273], поправочний коефіцієнт по (1.40): $K_p = 1,31 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 1,014$, Згідно [1, табл. 23, с. 275 і табл. 9, с.264].

1.6.2.4 Розробка розрахунково-технологічної карти керуючої програми.

Характерною особливістю верстатів з ЧПУ є автоматична реалізація сукупності закодованих команд (керуючої програми), що забезпечують необхідну послідовність взаємних положень оброблюваної деталі і інструменту.

Для розробки керуючої програми технологом-програмістом повинна бути підготовлена технологічна документація, яка містить всю необхідну геометричну, числову, технологічну інформацію і включає в себе: розрахунково-технологічну карту (РТК), заповнений бланк числовий і технологічної інформації та програмний лист з програмою в кодах ISO .

Розробка РТК для цієї операції наведена в п. 1.7.

1.6.2.5 Нормування операції.

Норма штучно-калькуляційного часу визначаємо за формулою (1.41):

$$t_{u-k} = t_{um} + \frac{t_{n3}}{n} = 2,5 + \frac{32}{400} = 2,58xв$$

Норму штучного часу тшт знаходимо за формулою (1.42):

$$t_{um} = t_o + t_{\epsilon} + t_{обс} + t_n = 1,18 + 1,02 + 0,22 + 0,088 = 2,5xв.$$

Основний час на операцію t_o за формулою (1.43):

$$t_{o1} = \frac{L_{p.x.}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{2,5 + \frac{165,9 - 71,24}{2} + 1}{0,25 \cdot 262} \cdot 1 = 0,77xв$$

$$t_{o2} = \frac{L_{p.x.}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{2 + 12,7 + 16,7 + 2}{0,25 \cdot 323} \cdot 1 = 0,41xв$$

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} = 0,77 + 0,41 = 1,18xв.$$

Допоміжний час t_{ϵ} в по формулі (1.46):

$$t_{\epsilon} = t_{\epsilon.y} + t_{м.в.} = 0,5 + 0,52 = 1,02xв.$$

$$t_{\epsilon.y} = 0,5xв, [4, \text{ карта } 51, \text{ с. } 138]$$

$$t_{м.в.} = 0,03 + 0,10 + 0,04 \cdot 2 + 0,02 \cdot 2 = 0,52xв. [1, \text{ табл. } 12, \text{ с. } 605]$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 2,2 = 0,22xв. [1, \text{ табл. } 12, \text{ с. } 605]$$

$$t_n = 0,04 \cdot 2,2 = 0,088xв. [4, \text{ карта } 50, \text{ с. } 137]$$

Підготовчо-заключний час t_{n3} на партію деталей знаходимо за формулою (1.47):

$$t_{n3} = t_{n31} + t_{n32} = 12 + 20 = 32xв.$$

$t_{n31} = 12$ хв згідно [1, с.604],

t_{n32} - час, що враховує додаткові роботи, по [1, табл.12, с.605] $t_{n32} = 20$ хв. .

$n = 400$ шт - розмір партії заготовок (див. Пункт 1.2).

Визначаємо змінну норму виробітку за формулою (1.48):

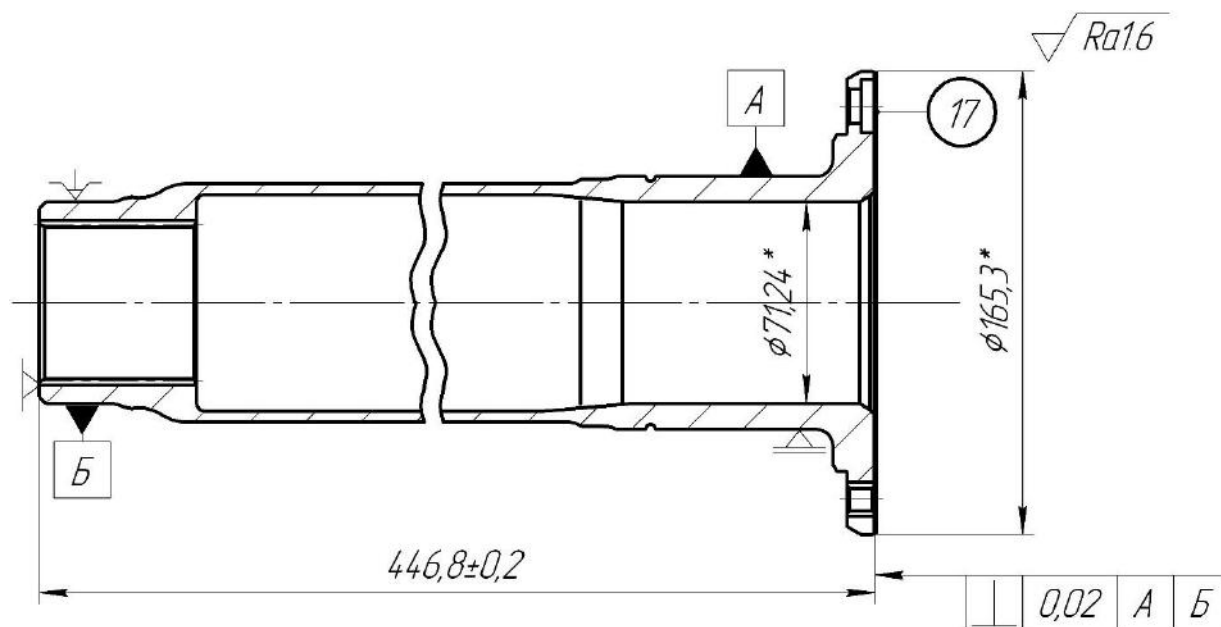
$$q_{cm} = \frac{f_{cm}}{t_{u-k}} = \frac{482}{2,58} = 187 \text{шт}$$

де f_{cm} = тривалість робочої зміни 482 ч

Отримані дані заносимо в таблицю 1.12.

1.6.3 Операція 070 Шліфувальна

Малюнок 1.8 - Операційний ескіз для операції 070 Шліфувальна



Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 - Технічні характеристики універсального круглошлифовального напівавтомата з ЧПУ моделі 3У12АФ1

Найбільший діаметр встановлюваного виробу	200 мм
Найбільша довжина оброблюваного виробу	500 мм
Висота центрів	125 ± 2 мм
довжина шліфування	450 мм
Діапазон регулювання швидкості столу (безступінчасте)	0,03 ... 5,0 м / хв
Кут повороту верхнього столу	8,5 °
Кут повороту санчат шліфувальної бабки	30 °
Дискрета пристрої цифрової індикації	0,001 мм на Ø
Швидкість виразний подачі (безступінчата)	0,04 ... 10 мм / хв
Діапазон величин імпульсів подачі	0,001 ... 0,099 мм
Частота обертання виробу (безступінчасте)	55 ... 900 об / хв
Сумарна потужність електродвигуна	11 кВт
Потужність приводу головного руху	4 кВт
Габаритні розміри верстата:	
довжина	3600 мм
ширина	2260 мм
висота	2040 мм
маса верстата	4500 кг
точність обробки	
Сталість діаметра в поздовжньому перетині	0,003 мм
круглость	0,0006 мм

1.6.3.2 Вибір різального інструменту.

Вибір шліфувального круга залежить від оброблюваного матеріалу, необхідної шорсткості поверхні і умов обробки. При шліфуванні легированих сталей необхідно застосовувати шліфувальні круги з білого електрокорунду, який має високу ріжучу здатність. Вибираємо параметри шліфувального круга згідно [5, табл. 158, с. 340]: білий електрокорунд, зернистість 40, твердість С2, зв'язка керамічна К8.

Таким чином, обробку поверхні 17 вестимемо шліфувальним кругом ПП 350х50х200 23А 40 С2 4 К8 35м / с 1кл А по ДСТУ 2424-83.

1.6.3.3 Розрахунок режимів різання.

$$\text{глибина різання } t = l_{\text{дем5}} - l_{\text{дем3}} = 447,915 - 446,8 = 1,12 \text{ мм}.$$

Для досягнення більшої продуктивності припуск необхідно знімати за два проходи: $t_1 = 0,9 \text{ мм}$ і $t_2 = 0,22 \text{ мм}$.

Визначаємо подачу за формулою:

$$S_B = S_{BT} \cdot K_{SB} = 0,0013 \cdot 0,87 = 0,0011 \text{ мм/об} \quad (1.50)$$

де S_{BT} - табличне значення подач

$$S_{BT} = 0,0013 \text{ мм згідно [5, табл. 164, с. 347]}$$

$$K_{SB} = K_M \cdot K_R \cdot K_D \cdot K_{V_K} \cdot K_T \cdot K_{l_T} \cdot K_h = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,58 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \times \\ \times 1,0 \cdot 1,5 = 0,87 \quad (1.51)$$

де K_M = коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал [5, табл. 165, с. 348] 1,0;

K_R = коефіцієнт, що враховує радіус галтелі деталі [5, табл. 165, с. 348] 1,0;

K_D = коефіцієнт, що враховує діаметр кола [5, табл. 165, с. 348] 0,58;

K_{V_K} = коефіцієнт, що враховує швидкість кола [5, табл. 165, с. 348] 1,0;

K_T = коефіцієнт, що враховує стійкість кола [5, табл. 165, с. 348] 1,0;

K_{l_T} = коефіцієнт, що враховує точність обробки [5, табл. 165, с. 348] 1,0;

K_h = коефіцієнт, що враховує припуск на обробку [5, табл. 165, с. 348] 1,5.

Період стійкості кола $T = 150$ хв [5, с. 232].

Швидкість деталі $V_D = 60$ м / хв по [5, табл. 161, с. 343].

Частота обертання шпинделя по формулі (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{3,14 \cdot 165,3} = 1150 \text{ об / хв.}$$

Ефективну потужність розраховуємо за такою формулою:

$$N = C_N \cdot V_{\text{д}}^r \cdot t^x \cdot b^z = 0,39 \cdot 60^{0,7} \cdot 0,9^{0,5} \cdot 47^0 = 6,5 \text{ км} \quad (1.52)$$

де $V_{\text{д}}$ = швидкість деталі 60 м / хв,

t = глибина шліфування 0,9 мм,

b = ширина шліфування 47мм,

показники $C_N = 0,39$, $r = 0,7$, $x = 0,5$, $z = 0$ знаходимо за [1, табл. 56, с. 303]

1.6.3.5 Нормування операції.

Норма штучно-калькуляційного часу визначаємо за формулою (1.41):

$$t_{\text{ш-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{нз}}}{n} = 1,67 + \frac{50}{400} = 1,8 \text{ хв.}$$

Норму штучного часу $t_{\text{шт}}$ знаходимо за формулою (1.42):

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{в}} + t_{\text{обс}} + t_n = 1,13 + 0,32 + 0,145 + 0,073 = 1,67 \text{ хв.}$$

Основний час t_o на операцію за формулою (1.43):

$$t_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{1,12}{0,0011 \cdot 900} \cdot 1 = 1,13 \text{ хв.}$$

Допоміжний час $t_{\text{в}}$ за формулою (1.46):

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в.у}} + t_{\text{м.в.}} = 0,14 + 0,18 = 0,32 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{в.у}} = 0,07 \cdot 2 = 0,14 \text{ хв.}, [4, \text{ карта } 14, \text{ с. } 639],$$

$$t_{\text{м.в.}} = 0,02 \cdot 2 + 0,06 \cdot 2 + 0,01 \cdot 2 = 0,18 \text{ хв.}, [1, \text{ табл. } 12, \text{ с. } 605],$$

$$t_{\text{обс}} = 0,1 \cdot 1,45 = 0,145 \text{ хв.}, [1, \text{ табл. } 12, \text{ с. } 605],$$

$$t_n = 0,05 \cdot 1,45 = 0,073 \text{ хв.}, [4, \text{ карта } 19, \text{ с. } 645],$$

Підготовчо-заключний час t_{nz} на партію деталей знаходимо за формулою (1.47):

$$t_{nz} = t_{nz1} + t_{nz2} = 2,5 \cdot 14 + 16 = 50 \text{ хв.}$$

$t_{nz1} = 2,5$ хв - час на одну правку круга згідно [4, карта 19, с. 644] (для обробки партії деталей знадобитися 14 правок кола),

t_{nz2} - час, що враховує додаткові роботи, по [4, карта 20, с. 646] $t_{nz2} = 16 \text{ хв.}$

$n = 400$ шт - розмір партії заготовок (див. пункт 1.2).

Визначаємо змінну норму виробітку за формулою (1.48):

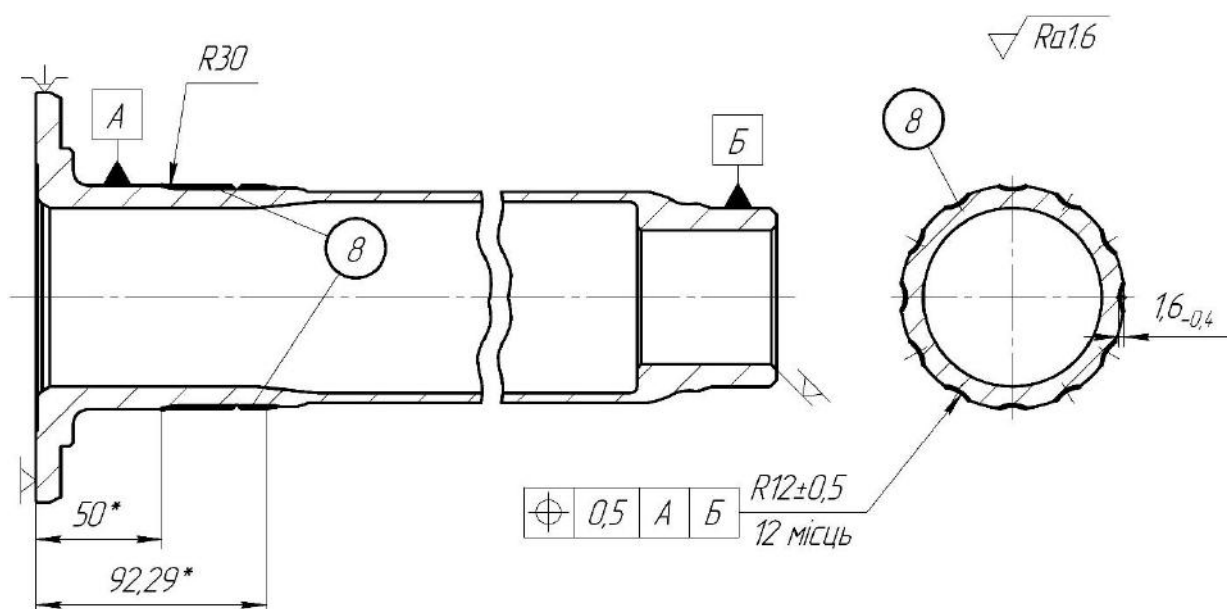
$$q_{cm} = \frac{f_{cm}}{t_{ш-к}} = \frac{482}{1,1} = 438 \text{ шт}$$

де $f_{cm} = 482$ ч-тривалість робочої зміни.

Отримані дані заносимо в таблицю 1.12.

1.6.4 Операція 040 Фрезерна

Малюнок 1.5 - Операційний ескіз для операції 040 Фрезерна



1.6.4.1 Вибір обладнання.

Для даної операції вибираємо верстат горизонтально-фрезерний консольний з поворотним столом моделі 6Т80. При виборі верстата приймаємо до уваги потужність, необхідну для обробки, і максимальний діаметр оброблюваної деталі.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 - Технічні характеристики горизонтально-фрезерного консольного верстата моделі 6Т80

Розміри робочої поверхні горизонтального столу	1250x260 мм
Найбільший поздовжній хід столу (вісь X)	800 мм
Найбільший вертикальний хід столу (вісь Z)	360 мм
Найбільший поперечний хід столу (вісь Y)	220 мм
Межі частот обертання вертикального шпинделя	50 ... 2240 об / хв
Кількість ступенів частот обертання	12
Швидкості поздовжньо-поперечних робочих подач	20 ... 1000 м / хв
Швидкості вертикальних робочих подач	10 ... 500 м / хв
Швидкість поздовжньо-поперечних укорочених переміщень	3,35 м / хв
Швидкість вертикальних укорочених переміщень	1,7 м / хв
Максимально допустимий крутний момент вертикального шпинделя	155 Нм

Продовження таблиці 1.10

Потужність головного приводу	3 кВт
Габаритні розміри верстата:	
довжина	1600 мм
ширина	1530 мм
висота	1900 мм
маса верстата	13400 кг

1.6.4.2 Вибір різального інструменту.

Для фрезерування пазів використовуємо дискову опуклу напівкруглу фрезу за ДСТУ 9305-69: радіус опуклості зубів $R = 12\text{мм}$, діаметр фрези $D = 60\text{мм}$, ширина фрези $B = 24\text{мм}$, діаметр посадкового отвору $d = 22\text{мм}$, число зубів $z = 12$.

1.6.4.3 Розрахунок режимів різання.

глибина різання $t = 1,6\text{мм}$ за кресленням.

Визначаємо подачу за формулою:

$$S_z = S_{zT} \cdot K_{SZ} = 0,55 \cdot 0,14 = 0,08\text{мм} \quad (1.49)$$

де S_{zT} - табличне значення подач

$$S_{zT} = 0,55 \text{ мм згідно [5, табл. 112, с. 304]}$$

$$K_{SZ} = K_{S_{zC}} \cdot K_{S_{zH}} \cdot K_{S_{zR}} \cdot K_{S_{z\phi}} = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 0,5 \cdot 0,66 = 0,14 \quad (1.50)$$

де $K_{S_{zC}} = 0,5$ коефіцієнт, що враховує шифр схеми фрезерування [5, табл. 109, с. 302];

$K_{S_{zH}} = 0,85$ - коефіцієнт, що враховує матеріал фрези [5, табл. 114, с. 305];

$K_{S_{zR}} = 0,5$ - коефіцієнт, що враховує шорсткість обробленої поверхні [5, табл. 114, с. 305];

$K_{S_{z\phi}} = 0,66$ - коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні [5, табл. 114, с. 305];

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = V_T \cdot K_V = 59 \cdot 0,17 = 10 \text{ м / хв.} \quad (1.51)$$

де $V_T = 59$ м / хв - табличне значення швидкості різання [5, табл. 149, с. 332];

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_H} \cdot K_{V_{II}} \cdot K_{V_C} \cdot K_{V_\phi} \cdot K_{V_O} = 0,61 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \times \\ \times 0,8 = 0,17 \quad (1.52)$$

де $K_{V_M} = 0,61$ - коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу [5, табл. 1, с. 23];

$K_{V_H} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту [5, табл. 150, с. 332];

$K_{V_{II}} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні [5, табл. 150, с. 332];

$K_{V_C} = 0,5$ - коефіцієнт, що враховує шифр типової схеми фрезерування [5, табл. 109, с. 302];

$K_{V_\phi} = 0,7$ - коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні [5, табл. 150, с. 332];

$K_{V_O} = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує умови обробки [5, табл. 150, с. 332];

Частота обертання шпинделя по формулі (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot 60} = 53 \text{ об / хв.}$$

$$N_{cm} = 50 \text{ об / хв}$$

Дійсна швидкість головного руху по (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 50}{1000} = 9,4 \text{ м / хв.},$$

Потужність різання розраховуємо за формулою (1.38):

$$N = \frac{2050 \cdot 9,4}{1020 \cdot 60} = 0,3 \text{ кВт},$$

Силу різання P_z розраховуємо за:

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp} = \frac{10 \cdot 261 \cdot 1,6^{0,9} \cdot 0,08^{0,8} \cdot 24^{1,1} \cdot 12}{60^{1,1} \cdot 50^{0,1}} \cdot 1,31 = 2050 \text{ Н}$$

де z - число зубів фрези,

n - частота обертання фрези,

D - діаметр фрези,

B - ширина фрези,

постійна $C_p = 261$ і показники $x = 0,9$, $y = 0,8$, $n = 1,1$, $q = 1,1$, $w = 0,1$ згідно [1, табл. 41, с. 291], поправочний коефіцієнт $K_{Mp} = 1,31$ по [1, табл. 9, с. 264].

1.6.4.5 Нормування операції.

Норма штучно-калькуляційного часу визначаємо за формулою (1.41):

$$t_{ш-к} = t_{ум} + \frac{t_{нз}}{n} = 6,7 + \frac{23}{400} = 6,8 \text{ хв.}$$

Норму штучного часу $t_{шт}$ знаходимо за формулою (1.57):

$$t_{ум} = t_o + t_e + t_{np} = 7,5 + 1,72 + 0,93 = 6,7 \text{ хв.} \quad (1.53)$$

де t_o - основний час,

t_e - допоміжний час,

$t_{np} = 0,1 \cdot (t_o + t_e) = 0,1 \cdot (7,5 + 1,72) = 0,92 \text{ мин}$ - додатковий час на операцію, [4, карта 50, с. 137].

Основний час на операцію t_o за формулою (1.43):

$$t_o = \frac{L_{p.x.}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{2+28}{0,08 \cdot 12 \cdot 50} \cdot 12 = 7,5 \text{хв.}$$

Допоміжний час t в визначаємо за формулою:

$$t_{\epsilon} = t_{c.y} + t_{y.c.} + t_{\epsilon n. \epsilon o.} = 1,4 + 0,5 + 0,12 = 1,72 \text{хв.} \quad (1.54)$$

$t_{c.y} = 1,4$ мін - час на установку і зняття деталі, [4, карта 51, с. 138],

$t_{y.c.}$ - час на управління верстатом:

$$t_{y.c.} = (t_{\epsilon k l} + t_{n.o.}) = 0,02 + 0,48 = 0,5 \text{хв.} \quad (1.55)$$

де $t_{\epsilon k l} = 0,02$ хв. - час на включення і виключення верстата,

$t_{n.o.} = 0,04 \cdot 12 = 0,48$ хв. - час на підведення і відведення деталі, [10, табл. 5.8, с. 203]

$t_{\epsilon n. \epsilon o.} = 0,12$ хв. - час швидкого підведення і відведення деталі [10, табл. 5.8, с.203],

Підготовчо-заключний час $t_{nз}$ на партію деталей знаходимо за формулою:

$$t_{nз} = t_{нал.ст.} + t_{пол.инстр.} = 13 + 20 = 23 \text{хв.} \quad (1.56)$$

де $t_{нал.ст.}$ = час на наладку верстата, [4, карта 50, с. 137] 13хв,

$t_{пол.инстр.}$ = час на отримання інструменту, [4, карта 50, с. 137] 20хв.

n = розмір партії заготовок (див. Пункт 1.2) 400шт.

Визначаємо змінну норму виробітку за формулою (1.48):

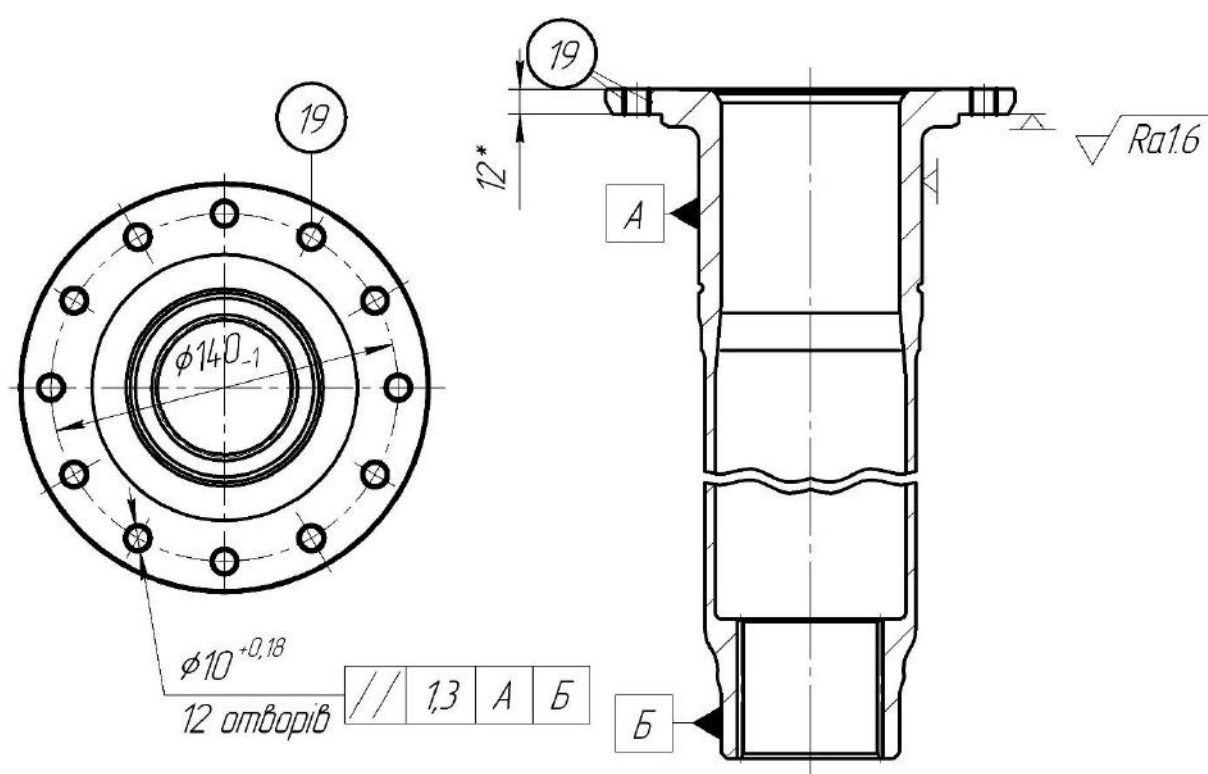
$$q_{cm} = \frac{f_{cm}}{t_{и-к}} = \frac{482}{6,8} = 71 \text{шт}$$

де f_{cm} = тривалість робочої зміни 482 ч.

Отримані дані заносимо в таблицю 1.12.

1.6.5 Операція 055 Свердлильна

Малюнок 1.6 - Операційний ескіз для операції 055 Свердлильна



1.6.5.1 Вибір обладнання.

Для даної операції вибираємо верстат радіально-свердлильний моделі 2А554. При виборі верстата приймаємо до уваги потужність, необхідну для обробки, і максимальний діаметр оброблюваної деталі.

Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 - технічні характеристики радіально-свердлильного верстата моделі 2A554

Діаметр свердління в сталі	50мм
Діаметр свердління в чавуні	63мм
Крутний момент шпинделя	710Нм
Осьове переміщення шпинделя	400мм
Переміщення головки по рукаву	1225мм
Переміщення рукава по колоні	750мм
Обертання рукави навколо колони	360 °
Частота обертання шпинделя	18 ... 2000об / хв
Кількість частот обертання шпинделя	24
діапазон подач	0,045 ... 5,0 / об
Кількість подач шпинделя	24
конус шпинделя	Мк5
Потужність головного приводу	5,5 кВт
Габаритні розміри верстата:	
довжина	2665 мм
ширина	1030 мм
висота	3430 мм
маса верстата	4700 кг

1.6.5.2 Вибір різального інструменту.

Для свердління отворів використовуємо свердло спіральне зі швидкорізальної сталі Р6М5 за ДСТУ 4010-77: діаметр свердла $d = 10\text{мм}$, довжина свердла $L = 100\text{мм}$, довжина робочої частини $l = 50\text{мм}$.

1.6.5.3 Розрахунок режимів різання.

глибина різання $t = 0,5d = 5\text{мм}$.

Подачу визначаємо за формулою (1.32):

$$S_o = S_{OT} \cdot K_{SO} = 0,18 \cdot 0,75 = 0,14\text{мм/об}$$

де $S_{OT} = 0,18\text{ мм / об}$ згідно [5, табл. 64, с. 267]

$$K_{SO} = K_{Sl} \cdot K_{SH} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SM} \cdot K_{SK} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,75 \quad (1.57)$$

де K_{Sl} = коефіцієнт, що враховує глибину свердління [5, табл. 65, с. 267]

1,0;

K_{SH} = коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту [5, табл. 65, с. 267] 1,0;

K_{Sd} = коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного отвору [5, табл. 65, с. 267] 1,0;

K_{SM} = коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної деталі [5, табл. 65, с. 267] 1,0;

K_{SK} = коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи [5, табл. 65, с. 267] 0,75;

$$Scm = 0,14 \text{ мм / об.}$$

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.34):

$$V = V_T \cdot K_V = 37 \cdot 0,4 = 15 \text{ м / хв.}$$

де $V_T = 37 \text{ м / хв}$ [5, табл. 66, с. 269];

$$K_V = K_{V_m} \cdot K_{V_u} \cdot K_{V_d} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_l} = 0,61 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \times \\ \times 1,0 = 0,4 \quad (1.58)$$

де K_{V_m} = коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу [5, табл. 1, с. 23] 0,61;

K_{V_u} = коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту [5, табл. 67, с. 270] 0,91;

K_{V_d} = коефіцієнт, що враховує тип отвору [5, табл. 67, с. 270] 0,9;

K_{V_o} = коефіцієнт, що враховує умови обробки [5, табл. 67, с. 270] 0,8;

K_{V_T} = коефіцієнт, що враховує стійкість інструменту [5, табл. 67, с. 270] 1,0;

K_{V_l} = коефіцієнт, що враховує довжину свердління [5, табл. 67, с. 270] 1,0.

Частота обертання шпинделя визначаємо за формулою (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15}{3,14 \cdot 10} = 478 \text{ об / хв.}$$

$$N_{cm} = 400 \text{ об / хв}$$

Дійсна швидкість головного руху за формулою (1.37):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 400}{1000} = 13 \text{ м / хв.}$$

Потужність різання розраховуємо за такою формулою:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{11,7 \cdot 400}{9750} = 0,5 \text{ кВт} \quad (1.59)$$

де n - частота обертання шпинделя,

$M_{кр}$ - обертаючий момент:

$$M_{кр} = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{204 \cdot 5^1 \cdot 0,14^{0,75} \cdot 10}{2 \cdot 100} = 11,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.60)$$

де постійна $C_p = 204$ і показники $x = 1$, $y = 0,75$, згідно [1, табл. 22, с. 273].

1.6.5.5 Нормування операції.

Норму штучно-калькуляційного часу визначаємо за формулою (1.41):

$$t_{u-k} = t_{um} + \frac{t_{nz}}{n} = 4,3 + \frac{10}{400} = 4,33 \text{ хв.}$$

Норму штучного часу t_{um} знаходимо за формулою (1.57):

$$t_{um} = t_o + t_{\epsilon} + t_{np} = 1,5 + 2,38 + 0,4 = 4,3 \text{ хв.}$$

Додатковий час на операцію $t_{np} = 0,07 \cdot (t_o + t_e) = 0,1 \cdot (1,5 + 2,38) = 0,4 \text{ хв.}$ [4, карта 50, с. 302].

Основний час на операцію t_o за формулою (1.43):

$$t_o = \frac{L_{p.x.}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{2+10+2}{0,14 \cdot 400} \cdot 6 = 1,5 \text{ хв.}$$

Допоміжний час t в визначаємо за формулою (1.57):

$$t_e = t_{c.y} + t_{y.c.} + t_{\text{бн.бо.}} = 1,8 + 0,5 + 0,08 = 2,38 \text{ хв.}$$

Час на установку і зняття деталі $t_{c.y} = 1,8 \text{ хв.}$ [4, карта 44, с. 288],

Час на управління верстатом визначаємо за формулою (1.58):

$$t_{y.c.} = (t_{\text{вкл}} + t_{n.o.}) = 0,02 + 0,48 = 0,5 \text{ хв.}$$

Час на включення і виключення верстата $t_{\text{вкл}} = 0,02 \text{ хв.}$ [4, карта 46, с. 295],

Час на підведення і відведення інструменту $t_{n.o.} = 0,48 \text{ хв.}$ [4, карта 47, с. 296].

Час швидкого підведення і відведення деталі $t_{\text{бн.бо.}} = 0,08 \text{ хв.}$ [4, карта 47, с. 296],

Підготовчо-заключний час t_{nz} на партію деталей знаходимо за формулою (1.59):

$$t_{nz} = t_{\text{нал.ст.}} + t_{\text{пол.инстр.}} = 5 + 5 = 10 \text{ хв.}$$

де $t_{\text{нал.ст.}}$ = час на наладку верстата, [4, карта 50, с. 300] 5хв;

$t_{\text{пол.инстр.}}$ = час на отримання інструменту, [4, карта 50, с. 300] 5хв;

n = розмір партії заготовок (див. Пункт 1.2) 400шт.

Визначаємо змінну норму виробітку за формулою (1.48):

$$q_{cm} = \frac{f_{cm}}{t_{u-k}} = \frac{482}{5,83} = 88_{шт}$$

де f_{cm} = тривалість робочої зміни 482 ч.

Отримані дані заносимо в таблицю 1.12.

Таблиця 1.12 - Результати розрахунку режимів різання і норм часу

Номер і назва операції	номер переходу	режими різання					норми часу			
		глибина різання t, мм	кількість проходів і	подача S, мм / об	швидкість різання V, м / хв	частота обертання шпинделя n, об / хв	основний час to, хв	допоміжний час t в, хв	штучний час t шт, хв	штучно-калькуляційний час tш-к, хв
010 Фрезерно-центровальна	01	2,2	1	1,6	120	200	1,8	0,38	2,4	2,45
	02	2,5	1	0,60	10,5	200				
015 Токарська	01	3,38	2	0,38	100	390	8,74	0,94	10,0	10,08
	02	2,15	1	0,38	110	390				
	03	1,8	1	0,38	140	270				
020 Токарська	01	3,18	3	0,18	85	386	28	1,85	32,8	32,9
	02	2,5	1	0,18	85	386				
	03	0,57	1	0,12	120	500				
	04	1,3	1	0,38	120	230				
	05	2,5	1	0,38	120	500				
025 Токарська	01	6	1	0,12	57	247	3,3	0,85	4,57	4,72
	02	0,55	1	0,36	42	257				
	03	2,3	1	0,18	57	240				
	04	2	1	0,2	80	346				
030 Токарська	01	2	1	0,25	136	262	1,18	1,02	2,42	2,58
	02	0,3	1	0,25	167	323				
035 Токарська	01	0,8	1	0,25	150	288	6,8	0,65	8,2	8,48
040 Фрезерна	01	1,6	12	0,08	9,4	50	7,5	1,72	6,7	6,8
045 Фрезерна	01	2,2	2	0,08	9,4	50	0,94	1,62	2,8	2,87
050 Протяжна	01	-	1	0,12	2,5	-	0,4	0,84	1,36	1,42
055 Сверлильна	01	5	6	0,14	13	400	1,5	2,38	4,3	4,33
060 Фрезерно-сверлильна	01	4	8	0,55	9,3	165	5,7	6,52	13,4	13,5
	02	0,25	8	1,6	6,4	110				
	03	0,25	8	1,2	7,6	127				

1.7 Розробка розрахунково-технологічної карти керуючої програми для операції 030 Токарна.

Обробку даної деталі проводимо за одну установку послідовно декількома інструментами.

Визначаємо настроювальні розміри для оброблюваної поверхні деталі і проставляємо їх на ескізі (мал. 1.7) за формулою:

$$A_{настр} = (A_{max} + A_{min}) / 2 \quad (1.61)$$

Результати розрахунку зводимо в таблицю 1.13.

Вибираємо систему координат деталі. Початок системи координат - перетин осей «XZ». Вісь Z поєднана з віссю обертання деталі, вісь X поєднана з лівим торцем деталі, який є напольгливої базою.

Таблиця 1.13 - Розрахункові настроювальні розміри

№ п / п	Її конфігураційний розмір	операційний розмір
1	447,915	447,915 ± 0,315
2	165,25	165,3-0,1
3	4	4 ± 0,2
4	108,75	107 + 3,5
5	0,4	0,2 + 0,4
6	R4	R5-2

Координати «нульовий» точки еталонного інструменту для даного верстата з фіксованим положенням супорта складають:

$X_e = 240\text{мм}$

$Z_e = 480\text{мм}$

Опис траєкторій.

блок №1

01 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 01

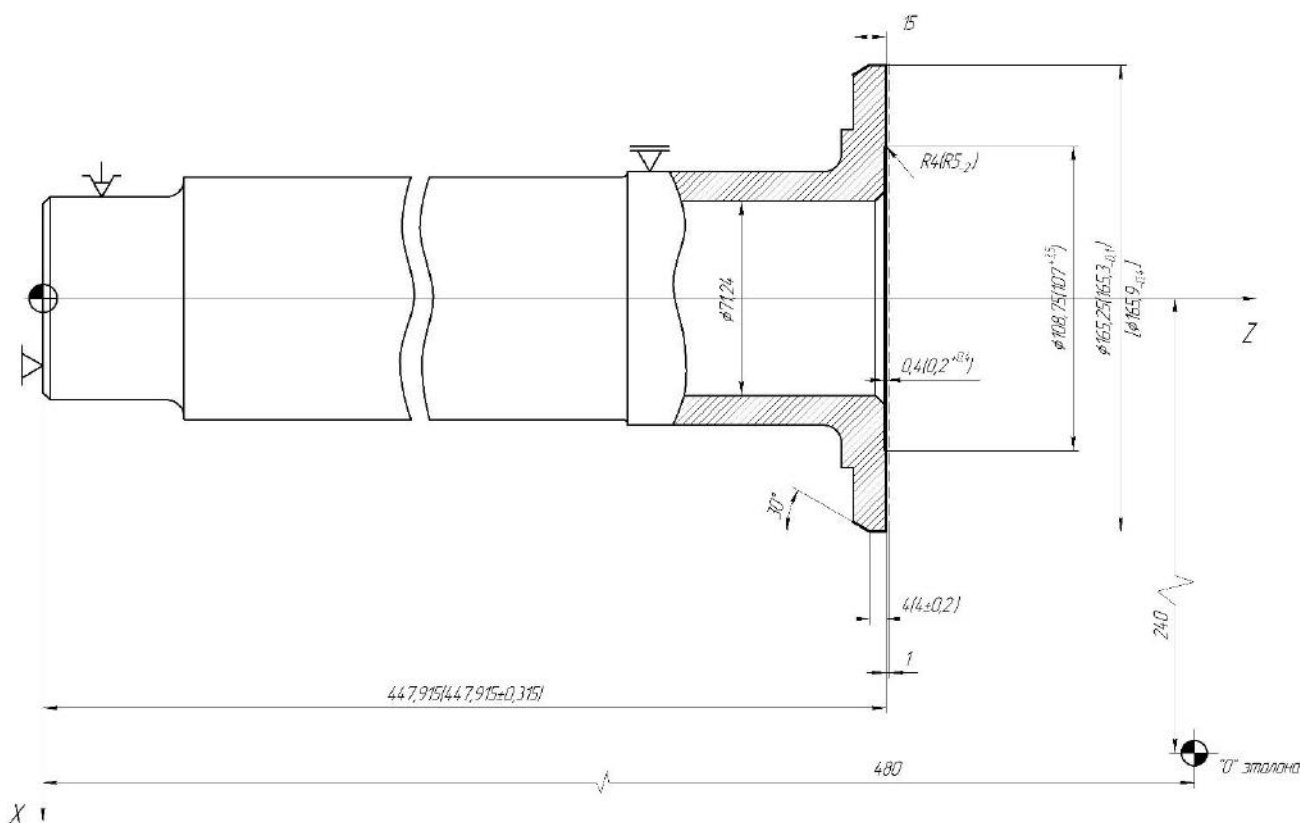
блок №2

02 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 17 - 12 - 13 - 02

Керівну програму можна написати безпосередньо в кодах ISO 7bit (ручне написання), або на мові програмування АРТ (програму в кодах ISO 7bit отримуємо після обробки на ЕОМ - автоматичне написання).

Щоб мати можливість розглянути обидва методи програмування - одну траєкторію руху інструменту (блок №1) спроектуємо вручну, а другу траєкторію - на мові АРТ.

Малюнок 1.7 - Операційний ескіз деталі з урахуванням настроювальних розмірів



Для ручного програмування необхідно розрахувати координати зміщеного «0» блоку і координати опорних точок. Потім йде етап написання програми.

Координати зміщеного «0» блоку №1 (див. мал. 1.8):

$$X_{cm0} = \frac{165,3}{2} + 2,5 - 15 = 70,15 \cdot 200 = 14030 \mu m$$

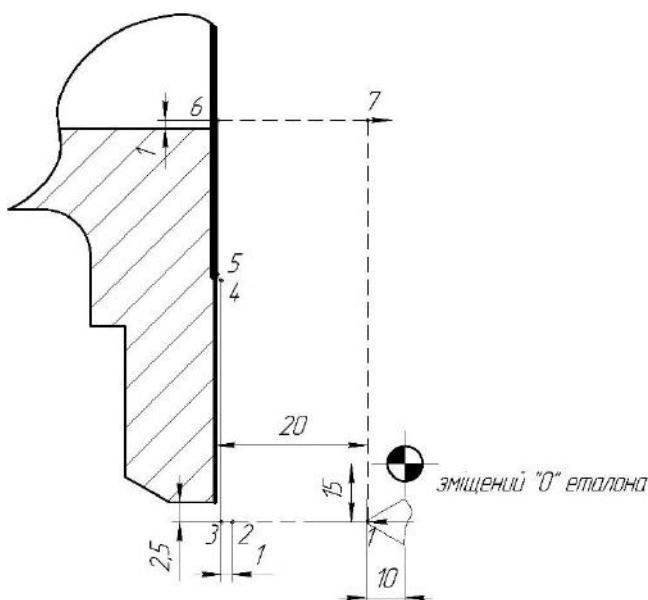
$$Z_{cm0} = 447,92 + 20 - 1,0 + 10 = 476,92 \cdot 100 = 47692 \mu m$$

Розраховуємо координати і збільшення координат опорних точок траєкторій, починаючи з вихідною точки кожного інструменту, і заносимо в карту технологічною інформацією (див. додаток).

$$X_{01} = \frac{165,3}{2} + 2,5 = 85,15 \cdot 200 = 17030 \mu m$$

$$Z_{01} = 447,915 + 20 = 467,92 \cdot 100 = 46792 \mu m$$

Малюнок 1.8 - Траєкторія руху інструменту блоку №1



$$X_{02} = X_{01} = 17030 \mu m$$

$$Z_{02} = 447,92 + 1,0 + 1,0 = 449,92 \cdot 100 = 44992 \mu m$$

$$X_{03} = X_{01} = 17030 \mu m$$

$$Z_{03} = 447,92 + 1,0 = 448,92 \cdot 100 = 44792 \mu m$$

$$X_{04} = \frac{108,75}{2} = 54,375 \cdot 200 = 10875 \mu m$$

$$Z_{04} = Z_{03} = 44792 \mu m$$

$$X_{05} = \frac{108,75}{2} + 4 = 58,375 \cdot 200 = 11675 \mu m$$

$$Z_{05} = 447,92 + 1,0 - 0,4 = 448,52 \cdot 100 = 44852 \mu m$$

$$X_{06} = \frac{71,24}{2} - 1 = 34,62 \cdot 200 = 6924 \mu m$$

$$Z_{06} = Z_{05} = 44852 \mu m$$

$$X_{07} = X_{06} = 6924 \mu m$$

$$Z_{07} = Z_{01} = 46792 \mu m$$

Розраховуємо збільшення координат, починаючи з точки на площині безпеки (підхід до площини безпеки здійснюється при роботі верстата в абсолютних координатах).

$$\Delta X_2 = X_2 - X_1 = 17030 - 17030 = 0 \mu m$$

$$\Delta Z_2 = Z_2 - Z_1 = 44992 - 46792 = -1800 \mu m$$

$$\Delta X_3 = X_3 - X_2 = 17030 - 17030 = 0 \mu m$$

$$\Delta Z_3 = Z_3 - Z_2 = 44792 - 46792 = -2000 \mu m$$

$$\Delta X_4 = X_4 - X_3 = 10875 - 17030 = -6155 \mu m$$

$$\Delta Z_4 = Z_4 - Z_3 = 44792 - 44792 = 0 \mu m$$

$$\Delta X_5 = X_5 - X_4 = 11675 - 10875 = 800 \mu m$$

$$\Delta Z_5 = Z_5 - Z_4 = 44852 - 44792 = 60 \mu m$$

$$\Delta X_6 = X_6 - X_5 = 6924 - 11675 = -4751 \mu m$$

$$\Delta Z_6 = Z_6 - Z_5 = 44852 - 44852 = 0 \mu m$$

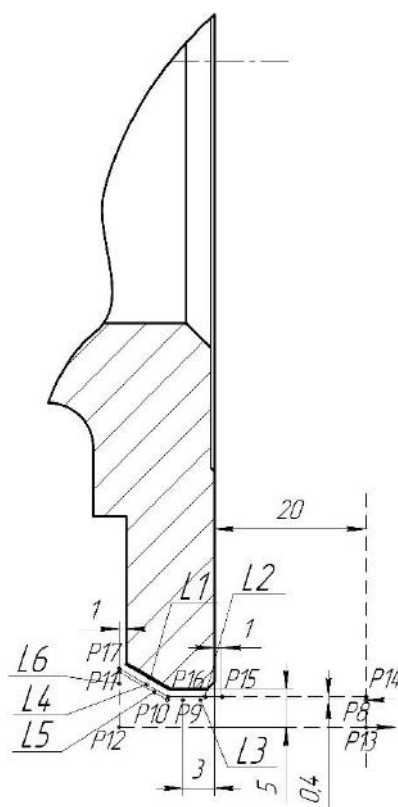
$$\Delta X_7 = X_7 - X_6 = 6924 - 6924 = 0 \mu m$$

$$\Delta Z_7 = Z_7 - Z_6 = 46792 - 44852 = 1940 \mu m$$

Керуюча програма і траєкторія руху інструменту наведені в додатку Б. 1.

Автоматизована підготовка керівної програми для блоку №2.

Малюнок 1.9 - Операційний ескіз деталі з опорними точками і лініями траєкторії руху інструменту



Керуюча програма, її розрахунок та траєкторія руху інструмента наведених в додатку Б.2.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Конструювання пристосування для свердління 12-ти отворів - операція 055 Сверлильна

Дана деталь буде оброблятися на свердильному верстаті 2А554.

Так як діаметр оброблюваних отворів 10 мм на міжосьовій відстані 140 мм, доцільно застосування свердильної головки на два інструменти.

При проектуванні багатомісного пристосування виникають складнощі з затискачем деталі. Затиск необхідно проводити по торця фланця, а розміри на товщину фланця вільні і через це необхідно передбачати компенсуючий затиск деталі кондуктором. Це призводить до значного ускладнення конструкції пристосування і не дає стовідсоткової гарантії повного затиску всіх деталей. Тому, з огляду на вищесказане, встановлюємо, що пристосування буде одномісне.

Технічні характеристики верстата, а також призначення ріжучого інструменту, розрахунок режимів різання і норми штучно-калькуляційного часу розглянуті в п. 1.6.5.

2.1.1 Опис роботи пристосування

Пристосування спроектовано на конкретну операцію для свердління отвору в даній деталі. Але при проектуванні врахована можливість переналагодження на інші деталі і на інші операції.

Деталь попередньо встановлюється на опору Ø90,8мм і лягає на торець. Зверху встановлюється кондуктор, базується за допомогою пальця Ø18 мм. У кондуктора знаходяться 12 спеціальні змінні кондукторні втулки, через які і проводиться свердління отворів. Змінні втулки встановлюються в постійні втулки і закріплюються від випадання гвинтами.

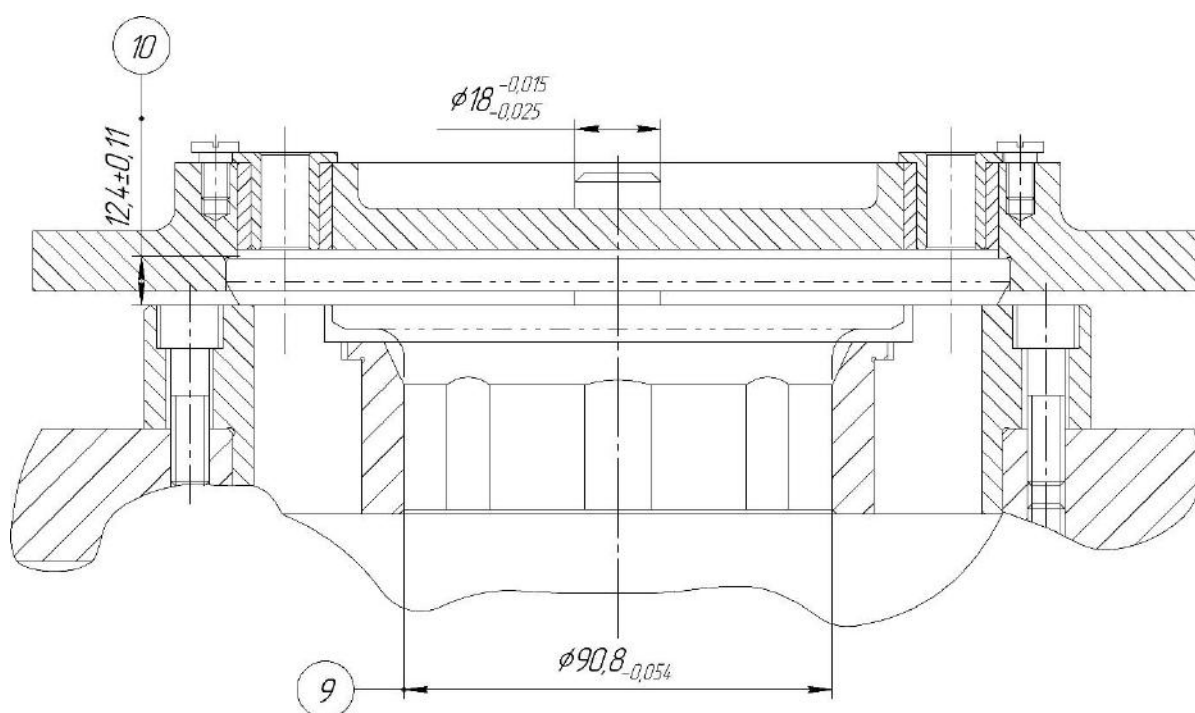
У нижній частині пристосування знаходяться два пневмоциліндра, при русі поршнів вниз (стиснене повітря подається в вертикальну порожнину пневмоциліндра), за допомогою штоків здійснюється закріплення деталі притиском кондукторної плити.

2.1.2 Розрахунок похибки установки в пристосуванні

Отвори $\varnothing 10\text{мм}$ задано за кресленням уздовж осі деталі з боку більшого діаметра. Отвори рівнорозташовані між собою і щодо фланця. Отвори будуть свердлитися послідовно на радіально-свердлильному верстаті за допомогою накладного кондуктора. Кондуктор буде точно базуватися за допомогою пальця $\varnothing 18_{-0,025}^{-0,015}$. Це забезпечить максимальну точність свердління та мінімальну похибку базування.

Виходячи з цього, призначаємо бази: установку деталі виробляємо на поверхні 10 і 9 (мал. 2.1).

Малюнок 2.1 - Схема установки і базування деталі



Похибка установки ε за своїм фізичним змістом виражає похибку положення заготовки і визначається за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} \quad (2.1)$$

де ε_{δ} - похибка базування деталі в пристосуванні,

ε_3 - похибка закріплення деталі в пристосуванні.

Похибкою базування називається різниця граничних відстаней вимірювальної бази щодо встановленого на розмір інструменту. Похибка базування має місце при не суміщенні вимірювальної і настановної баз заготівлі. У цьому випадку положення вимірювальних баз окремих заготовок в партії буде різним щодо оброблюваної поверхні.

Як похибка положення, похибка базування впливає на точність виконання розмірів, на точність взаємного положення поверхонь і не впливає на точність їх форм. Для зменшення похибки базування слід поєднувати настановні й вимірювальні бази, обирати оптимальні розміри і розташування настановних елементів, а також усувати або зменшувати зазори при посадці заготовки на охоплювальні або охоплюючі установчі елементи. Для уніфікації схем установки по всіх операціях технологічного процесу обробки даної деталі слід витримувати також принцип сталості баз, що має велике значення при обробці на автоматичних лініях.

У нашому випадку базування на точність оброблюваних отворів впливатиме точність базування деталі (по поверхні $9 \text{ } \varnothing 90,8_{-0,054}$) і точність базування кондукторної плити на жорсткий циліндричний палець $\varnothing 18_{-0,025}^{-0,015}$ (Мал.2.1).

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{S_1^{\max} + S_2^{\max}}{2} \quad (2.2)$$

де $S_1^{\max}$ - максимальний зазор при centruванні деталі,

$S_2^{\max}$ - максимальний зазор при centruванні кондуктора.

$$S_i^{\max} = T_0 + T_{II} + 2\Delta \quad (2.3)$$

де T_0 - допуск на базовий отвір,

T_{II} - допуск на палець,

Δ = величина радіального гарантованого зазору для вільної установки заготовки 0,005 мм.

$$S_1^{\max} = 0,01 + 0,054 + 2 \cdot 0,005 = 0,074 \text{ мм}$$

$$S_2^{\max} = 0,019 + 0,01 + 2 \cdot 0,005 = 0,039 \text{ мм}$$

Тоді похибка базування дорівнює:

$$\varepsilon_6 = \frac{S_1^{\max} + S_2^{\max}}{2} = \frac{0,074 + 0,039}{2} = 0,06 \text{ мм}$$

Похибкою закріплення ε_3 називається різниця між найбільшою і найменшою величинами проекцій зсуву вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру в результаті додатка до заготівлі сили затиску.

Для нашого випадку маємо $\varepsilon_3 = 0$, так як напрямок сили затиску і розміру обробки взаємно перпендикулярні.

Таким чином, похибка установки дорівнює:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{0,06^2 + 0} = 0,06 \text{ мм}$$

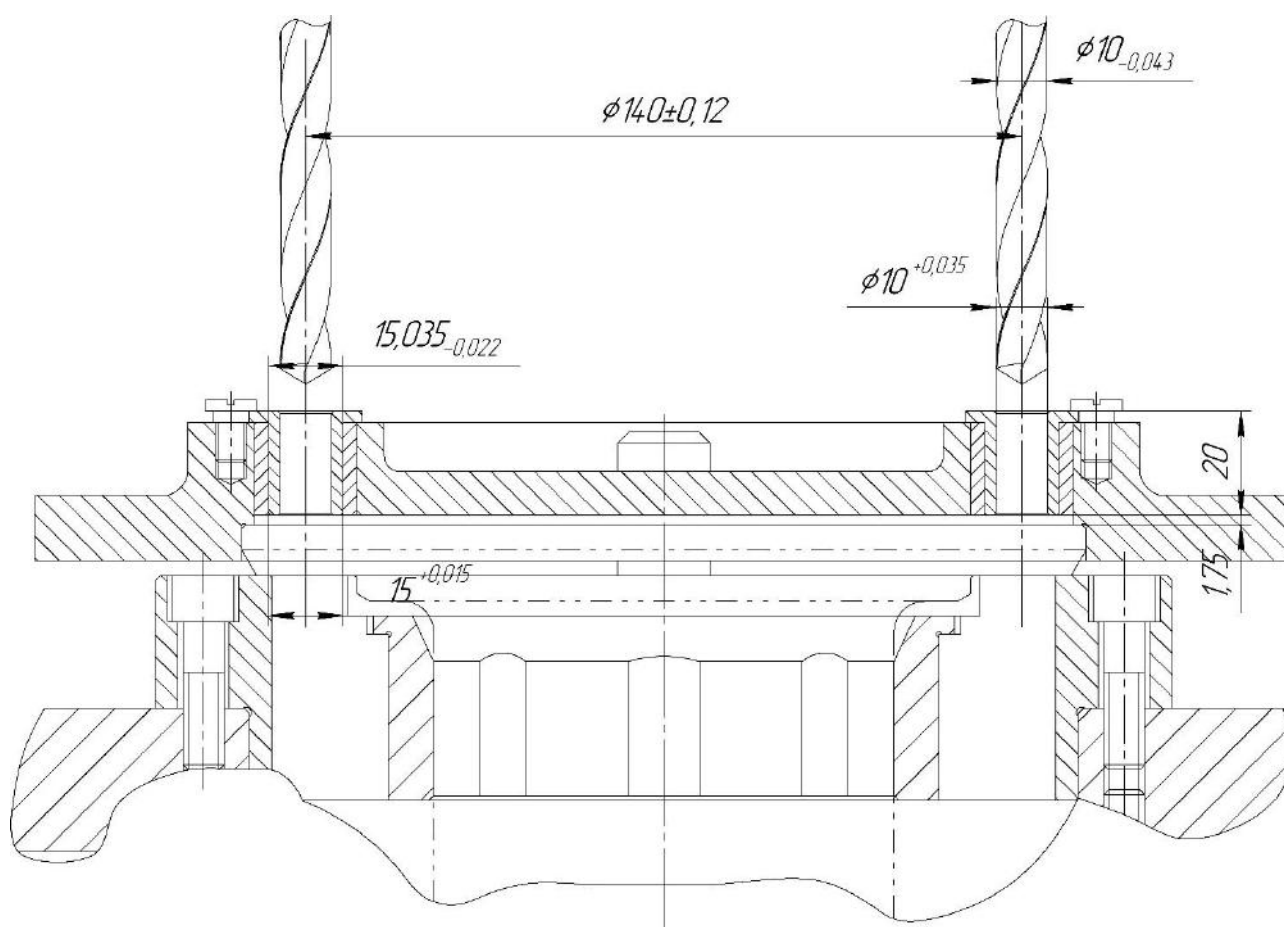
2.1.3 Розрахунок пристосування на точність

Розрахунок полягає у визначенні виконавчих розмірів на розташування осей кондукторних втулок і допусків на ці розміри. На мал. 2.2 представлена розрахункова схема.

Визначаємо номінальні розміри між осями кондукторних втулок.

Так як допуск на розташування оброблених отворів задається симетрично щодо осі деталі і призми, то міжосьові відстані деталі і кондуктора рівні [11, с. 90].

Малюнок 2.2 - Розрахункова схема пристосування на точність



Розраховуємо допуск на міжосьовий розмір кондуктора L_k розмір за формулою:

$$T_k \leq T_D - k \cdot \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \left(\Delta_1 \cdot \frac{H + 2a}{H} \right)^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2} \quad (2.4)$$

де T_D = повне поле допуску на розмір обробки ($\varnothing 140-0,4$) 0,4 мм,

$k = 1 \dots 1,2$ - коефіцієнт, що враховує відхилення відстані складових величин від закону нормального розподілу, і залежить від кількості складових похибок. Чим їх більше, тим ближче значення коефіцієнта до одиниці. Приймаємо $k = 1$,

ε_6 = похибка базування деталі в пристосуванні 0,06мм,

ε_3 = похибка закріплення деталі в пристосуванні 0,

Δ_1 - частка похибки обробки, що залежить від зсуву осі свердла щодо осі отвору змінної втулки:

$$\Delta_1 = S_{1\max} = d_{cm.\max} - d_{cv.\min} = 10,035 - 9,957 = 0,078 \text{ мм} \quad (2.5)$$

де $d_{cm.\max} = 10,035 \text{ мм}$ - максимальний діаметр змінної втулки;

$d_{cv.\min} = 9,957 \text{ мм}$ - мінімальний діаметр свердла;

$S_{1\max}$ - Максимальний зазор між змінною втулкою і свердлом.

Δ_2 - частка похибки обробки, що залежить від зсуву осі змінної втулки щодо осі постійної втулки.

$$\Delta_2 = S_{2\max} = d_{n.\max} - d_{cm.\min} = 15,015 - 15,013 = 0,002 \text{ мм} \quad (2.6)$$

де $S_{2\max}$ - максимальний зазор між постійною і змінною втулкою;

$d_{n.\max} = 15,015 \text{ мм}$ - максимальний діаметр постійної втулки;

$d_{cm.\min} = 15,013 \text{ мм}$ - мінімальний діаметр змінної втулки.

$\Delta_3 = 2e = 0,01\text{мм}$ - частка похибки обробки, викликана зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок.

$\Delta_4 = 0,02\text{мм}$ - частка похибки обробки, що залежить від величини допустимого зносу змінної втулки по направляючої діаметру, [11, табл. 5.19, с.89].

Δ_5 - частка похибки обробки, що враховує перекіс інструменту в процесі обробки. Схема по визначенню Δ_5 приведена в [11, с.91, мал. 5.10].

$$\Delta_5 = \Delta_1 \cdot \frac{H + 2a}{H} = 0,078 \cdot \frac{20 + 2 \cdot 1,75}{20} = 0,087\text{мм} \quad (2.7)$$

де $H = 20\text{мм}$ - довжина обробки,

$a = (0,5 \dots 0,8)$ дсв - величина зазору для виходу стружки.

Тоді допуск на розмір кондуктора дорівнює:

$$T_k \leq 0,4 - 1 \cdot \sqrt{0,06^2 + 0 + 0,078^2 + 0,002^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0,087^2} = 0,27\text{мм}.$$

Призначаємо виконавчий розмір розташування осей кондукторних втулок в пристосуванні: $d = 140 \pm 0,12$ мм.

2.1.4 Розрахунок необхідної сили затиску в пристосуванні

Оброблювана деталь базується в пристосуванні по зовнішньому діаметру в призму при упорі у фланець.

Вихідними даними для розрахунку зусилля затиску є момент різання $M_{рез} = 11,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$, який прагне повернути деталь в пристосуванні.

$K3= 1,0$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при переривчастому різанні, [11, с.101],

$K4= 1,0$ - коефіцієнт, який характеризує затискний пристрій з точки зору сталості розвиваються ним сил, [11, с.102],

$K6= 1,0$ - коефіцієнт конструкції опорної поверхні, [11, с.102].

$f= 0,25$ - коефіцієнт тертя спокою,

$n= 2$ - число одночасно працюючих свердел,

$D1= 165,9\text{мм}$, $D2 = 90,8\text{мм}$, $D3 = 140\text{мм}$, $D4 = 18\text{мм}$.

тоді:

$$W = \frac{1,98 \cdot 11,7 \cdot 2}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \left[\left(\frac{0,166^3 - 0,09^3}{0,166^2 - 0,09^2} \right) + \left(\frac{0,14^3 - 0,02^3}{0,14^2 - 0,02^2} \right) \right]} = 1410,4\text{Н}.$$

2.1.5 Визначення параметрів пристосування

Так як співвідношення довжини і діаметру деталі і діаметр кондуктора чималі, то можна застосувати схему двостороннього затиснення двома штоками. Відповідно пристосування матиме два циліндра.

Зусилля, що розвивається кожним пневмоциліндром, дорівнює зусиллю затиску.

Необхідний тиск в пневмоциліндрі:

$$p = \frac{W}{S} \quad (2.10)$$

де S - площа перетину поршня.

Попередньо приймаємо тиск повітря в пневмосистемі цеху 4АТ або 0,4 МПа (400 000 Па).

Сила на штоку пневмоциліндра W визначається за формулою:

$$W = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p \cdot \eta \quad (2.10)$$

де $\eta = 0,85 \dots 0,9$ - ККД, що враховує втрати на тертя.

Звідки визначаємо діаметр поршня за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1410,4}{3,14 \cdot 400000 \cdot 0,85}} = 0,16 \text{ м} = 160 \text{ мм} \quad (2.11)$$

Так як пристосування конструктивно має два пневмоциліндра, то діаметри циліндрів приймаємо рівними 80мм.

За [11, табл. 7.4, с. 141] обираємо основні параметри пневмоциліндра. Діаметри циліндрів $D = 80\text{мм}$, діаметри штоків $d = 25\text{мм}$ різьба штоків M16 (внутрішня), різьба в отворі для підведення повітря M12x1,5.

Тиск повітря (надлишковий) в пневмосистемі цеху 4 ... 5АТ, тому, незважаючи на те, що не враховувалися зусилля стиснення пружин, робимо висновок, що деталь буде закріплена при обробці надійно з великим запасом.

2.1.6 Розрахунок економічної ефективності прийнятої конструкції пристосування

Умова ефективного застосування пристосування виражається формулою:

$$n = E_{\Pi} - P \quad (2.12)$$

де E_n - річна економія (без урахування річних витрат на пристосування), грн.

P - річні витрати на пристосування, грн.

Річна економія визначається з виразу:

$$\Xi_n = \frac{(T_{um} - T_{um}^n) \cdot C_{ч.з} \cdot N}{60} \quad (2.13)$$

де T_{um} - штучний час при обробці деталі без пристосування або в універсальному пристосуванні,

T_{um}^n - штучний час на операції після впровадження проектного пристосування,

$C_{ч.з}$ - часові затрати по експлуатації робочого місця,

N = річна програма 10000шт.

Часові затрати по експлуатації робочого місця:

$$C_{ч.з} = C_{ч.з}^{\delta.y} \cdot k_m = 93,9 \cdot 0,8 = 75,12 \text{ коп / год} \quad (2.14)$$

де $C_{ч.з}^{\delta.y}$ - практичні скориговані часові затрати на базовому робочому місці,

$C_{ч.з}^{\delta.y}$ = для умов двозмінного виробництва, для великосерійного виробництва 93,9 коп,

k_m = машино-коефіцієнт [10, с. 174] 0,5.

$$T_{um} = t_o + t_v + t_{обсл} + t_{омд} = 3 + 3,82 + 2,1 + 1,1 = 10,02 \text{ хв},$$

де $t_o = 3 \text{ хв}$; $t_v = 3,82 \text{ хв}$; $t_{он} = 6,82 \text{ хв}$; $t_{обсл} = 2,1 \text{ хв}$; $t_{омд} = 1,1 \text{ хв}$.

тоді:

$$\begin{aligned} \Xi_n &= \frac{(T_{um} - T_{um}^n) \cdot C_{ч.з} \cdot N}{60} = \frac{(10,02 - 5,8) \cdot 75,12 \cdot 10000}{60} = 507244 \text{ коп} = \\ &= 507,2 \text{ грн} \end{aligned}$$

Річні витрати на пристосування:

$$P = S_{пр} \cdot (A + B) = 190 \cdot (0,5 + 0,2) = 133 \text{ грн} \quad (2.15)$$

де $S_{пр} = 190 \text{ грн}$ по [10, с.150] - вартість пристосування

A - коефіцієнт амортизації: при окупності в два роки $A = 0,5$;

B - коефіцієнт, що враховує ремонт і зберігання пристосування $B = 0,2$.

Економічний ефект від застосування пристосування:

$$n = E_{\text{п}} - P = 507,2 - 133 = 139,2 \text{ грн.}$$

2.2 Конструювання контрольного пристосування для перевірки биття шийки вала

Контрольне пристосування застосовується на операції 125 Контрольна для перевірки биття шийки вала.

Деталь базується в призми на шийках $\varnothing 90\text{мм}$ і $\varnothing 72\text{мм}$.

Пристосування розташовується під кутом за допомогою спеціальних ніжок. Це забезпечує базування в упор на склянку по торцю і внутрішнім шліцам деталі. Склянка, в свою чергу, з'єднана шарнірно-рухомою опорою (кулькою) з кронштейном.

Вимірювання биття проводиться індикаторними годинами, які кріпляться на штанзі. Штанга розташована збоку від деталі і прикріплена до корпусу пристосування трьома стяжними болтами. Вона також має можливість повороту навколо своєї осі на 360 градусів. А також є можливість перезакріплення штанги з індикаторними годинами на необхідний діаметр. Дані особливості пристосування дозволяють легко здійснювати його переналагодження.

3 ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ І ДІЛЯНКИ

3.1 Визначення необхідної кількості технологічного обладнання і його завантаження

Орієнтуючись на задану програму випуску, попередньо призначаємо тип виробництва - багатосерійне з змінно-потоккової формою організації робіт (див. П. 1.2).

Всі вихідні і розрахункові дані наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Вихідні дані і результати розрахунку необхідної кількості технологічного обладнання і його завантаження

Вихідні дані			результати розрахунків																			
Номер деталі Річна програма випуску N, шт		1	10000	Номер операції, i																		
				модель верстата																		
				MP-71M	16A20БФ3	16A20БФ3	16A20БФ3	16A20БФ3	16A20БФ3	6Т80	6Т80	7540	2А554	МА-655ПН	3У12АФ1	3У12АФ1	3У12АФ1	3У12АФ1	3В130Ф4	3В130Ф4	16А20БФ3	5Е32П
				Станкоємкість (штучно-калькуляційний час), хв																		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19							
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19								
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19									
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19										
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19											
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19												
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19													
11	12	13	14	15	16	17	18	19														
12	13	14	15	16	17	18	19															
13	14	15	16	17	18	19																
14	15	16	17	18	19																	
15	16	17	18	19																		
16	17	18	19																			
17	18	19																				
18	19																					
19																						

Потім, необхідно остаточно встановити тип і форму організації виробництва. Для цього потрібно розрахувати необхідну кількість верстатів для обробки деталей групи «вали», визначити коефіцієнт завантаження устаткування і середній коефіцієнт завантаження, а також визначити коефіцієнт закріплення операції.

Розрахуємо річну верстатомісткість по кожному виду робіт за такою формулою:

$$t_{\text{ш-}\kappa_j} = \sum_{j=1} t_{\text{ш-}\kappa_j} \cdot N_j \quad (3.1)$$

$$t_{\text{ш-}\kappa_j} = \sum_{j=1} t_{\text{ш-}\kappa_j} \cdot N_j = 10000 \cdot 10,9 + 9000 \cdot 6,5 + 8000 \cdot 3,4 + 7500 \cdot 4,8 = 230500 \text{ мин}$$

І так далі для кожної операції.

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{p_j} = \frac{\sum_{j=1} t_{\text{ш-}\kappa_j} \cdot N_j}{F_g \cdot m \cdot 60} = \frac{230500}{240000} = 0,96 \text{ станков} \quad (3.2)$$

де $F_g \cdot m = 4000 \text{ ч}$ - фонд часу роботи верстата за рік.

приймаємо $S_{n_j} = 1 \text{ станок}$.

Коефіцієнт завантаження верстата визначаємо за формулою:

$$K_{3_j} = \frac{S_p}{S_n} = \frac{0,96}{1,0} = 0,96 \quad (3.3)$$

Аналогічно розраховуємо для інших операцій.

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

$$\overline{K_3} = \frac{\sum S_p}{\sum S_n} = \frac{19}{24} = 0,8 \quad (3.4)$$

Підраховуємо кількість деталей-операцій, які виконуються на технологічній лінії обробки валів:

$$Про = 21 \cdot 4 - 17 = 67 \text{ деталей-операції.}$$

$$\text{Число робочих місць } M = \sum S_n = 24.$$

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції:

$$K_{3,o} = \frac{O}{M} = \frac{67}{24} = 2,8 \quad (3.5)$$

Так як, $1 < K_{3,o} = 2,8 < 10$, то остаточно тип виробництва приймаємо багатосерійне, а форму організації виробництва на лінії обробки валів - змінно-потокową.

3.2 Визначення чисельності основних виробничих робітників

Чисельність основних виробничих робітників-верстатників (операторів) визначають за трудомісткістю механічних робіт.

У великосерійному виробництві чисельність робітників-верстатників визначають шляхом аналізу структури штучного часу і побудови циклограм багатOVERSTATногообслуговування.

БагатOVERSTATне обслуговування може бути застосоване в тому випадку, якщо основне (машинно-автоматне) час на операцію більше суми допоміжного часу на інших операціях і часу, що використовується на переходи оператора від верстата до верстата, тобто:

$$t_{o_{\max}} \geq \sum t_{\epsilon} + \sum t_{\text{пер}} \quad (3.6)$$

Кількість верстатів, яку може обслужити один оператор, розраховуємо за формулою:

$$m_s = \frac{t_{o_{\max}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{пер}}} \quad (3.7)$$

де $t_{o_{\max}}$ - максимальне основний час на верстатах, намічених до об'єднання в зону обслуговування,

$t_{\text{раб}}$ - час обслуговування робочим оператором верстата,

$t_{\text{пер}} = 0,15 \text{ хв.}$ - час на перехід від верстата до верстата.

Так, для групи токарних верстатів (група I) максимальне основний час буде на операції 020 (№3) і так само 28 хвилин. тоді:

$$m_s = \frac{t_{o_{\max}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{пер}}} = \frac{28,0}{4,8 + 0,15} = 5,66 \text{ станков}$$

Тобто, один оператор може обслужити п'ять верстатів і у нього ще буде вільний час. Такими верстатами можуть бути верстати по виконанню операцій 015, 025, 030, 035 і 105.

Число операторів в зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

$$R_I = \frac{S_I}{m_{S_I}} = \frac{7}{5} = 1,4 \text{ оператора} \quad (3.8)$$

Таким чином, для обслуговування зони I необхідно два оператора.

Верстатомісткість I зони обслуговування визначається як сума верстатомісткостей операцій, що виконуються в зоні:

$$\begin{aligned} t_{\text{ум} I} &= t_{\text{ум} 2} + t_{\text{ум} 3} + t_{\text{ум} 4} + t_{\text{ум} 5} + t_{\text{ум} 6} + t_{\text{ум} 18} = \\ &= 10,0 + 32,8 + 4,57 + 2,42 + 8,2 + 4,72 = 62,71 \text{ хв.} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Трудомісткість зони визначаємо за формулою:

$$t_I = \frac{f_{\text{см}} \cdot R}{q_{\text{см}}} = \frac{492 \cdot 2}{15} = 65,6 \text{ хв.} \quad (3.9)$$

де $f_{\text{см}}$ = тривалість робочої зміни 492мін,

$$q_{cm} = \frac{f_{cm}}{t_{um-k}} = \frac{492}{32,9} = 15um - \text{змінна норма вироблення.}$$

Визначаємо коефіцієнт багатостатного обслуговування:

$$K_{M_I} = \frac{t_{um_I}}{t_I} = \frac{62,71}{65,6} = 0,96 \quad (3.10)$$

Трудомісткість операцій в зоні обслуговування:

$$t_i = \frac{t_I}{t_{paб2} + t_{paб3} + t_{paб4} + t_{paб5} + t_{paб6} + t_{paб18}} \cdot t_{paбi} \quad (3.11)$$

нехай $\frac{t_I}{t_{paб2} + t_{paб3} + t_{paб4} + t_{paб5} + t_{paб6} + t_{paб18}} = 5,8 = k$, Тоді:

$$t_2 = k \cdot t_{paб2} = 5,8 \cdot 1,24 = 7,2хв.$$

$$t_3 = k \cdot t_{paб3} = 5,8 \cdot 4,8 = 28,0хв.$$

$$t_4 = k \cdot t_{paб4} = 5,8 \cdot 1,27 = 7,4хв.$$

$$t_5 = k \cdot t_{paб5} = 5,8 \cdot 1,24 = 7,2хв.$$

$$t_6 = k \cdot t_{paб6} = 5,8 \cdot 1,4 = 8,18хв.$$

$$t_{18} = k \cdot t_{paб18} = 5,8 \cdot 1,27 = 7,4хв.$$

Аналогічно розраховуємо інші зони обслуговування.

Всі вихідні і розрахункові дані заносимо в таблицю 3.2.

Таким чином, для обслуговування 24 верстатів необхідно 13 робочих операторів. Внаслідок чого трудомісткість на лінії складе

$$t_{\Sigma} = \frac{492 \cdot 13}{15} = 426хв.$$

3.3 Планування технологічного обладнання і робочих місць на ділянці механічної обробки. Визначення площі виробничої дільниці

Готуємо вихідні дані для планування потокової лінії у вигляді таблиці 3.3.

Орієнтовно підраховуємо довжину ділянки. Якщо верстати розташовувати в дві лінії, то отримаємо:

$$\frac{5500 + 3700 \cdot 7 + 1600 \cdot 2 + 8500 + 2665 + 4000 \cdot 5 + 3600 \cdot 5 + 4000 \cdot 2 + 2400 + 4500 \cdot 2 + 3000 \cdot 2 + 800 \cdot 24}{2} = 58180 + 4000 \cdot 3 = 70,2 \text{ м}$$

Як бачимо, довжина лінії знаходиться в межах 48-72 метра, тому розміщувати технологічне обладнання і транспорт будемо за схемою дворядної потокової лінії.

Вибираємо сітку колон 24x12 метрів.

Конвеєр обробки валів має довжину $a = 70,2 \text{ м}$ і ширину $b = 14 \text{ м}$.

Виробнича площа лінії:

$$F = a \cdot b = 70,2 \cdot 14 = 983 \text{ м}^2 \quad (3.12)$$

Питома площа:

$$\gamma = \frac{F}{S_{\Sigma}} = \frac{983}{25} = 39 \text{ м}^2 \quad (3.13)$$

Таблиця 3.2 - Вихідні дані і результати розрахунку чисельності основних виробничих робітників

Номер операції, і		норми часу		кількість верстатів		Коефіцієнт завантаження Кз	Норма обслуговування тS	Номер зони обслуговування, γ	Число операт. в зоні, Rγ	Станкоємкістька зони тшт	Трудоємкістька зони, тγ	Трудоємкість операції, ti	Коеф. многості обслуг. Ктγ
		основний час, to	робочий час, хв	Sp	Sn								
1	010	1,8	0,6	0,24	1	0,24	2,4	V	1			2,45	
2	015	8,74	1,24	0,96	1	0,96	5,66	I	1	62,71	65,6	7,2	0,96
3	020	28	4,8	1,84	2	0,92						28	
4	025	3,3	1,27	0,88	1	0,88						7,4	
5	030	1,18	1,24	0,82	1	0,82						7,2	
6	035	6,8	1,4	0,96	1	0,96						8,18	
7	040	7,5	2,6	0,76	1	0,76		II	1			6,8	
8	045	0,94	1,9	0,84	1	0,84			1			2,87	
9	050	0,4	0,96	0,57	1	0,57		IV	1			1,42	
10	055	3	2,9	0,99	2	0,495		II	2			5,83	
11	060	5,7	7,7	1,59	2	0,795	1		2			27	
12	070	1,13	0,47	0,75	1	0,75	3,93	III	2	21,46	12,0	0,658	1,79
13	075	4,1	1,76	1,44	2	0,72						2,46	
14	080	6,0	1,55	1,39	2	0,695						2,17	
15	085	2,23	0,6	0,70	1	0,7						0,84	
16	090	4,9	2,2	0,94	1	0,94						3,1	
17	095	3,1	2,0	0,99	1	0,99		I	1			2,8	
18	105	3,3	1,27	0,99	1	0,99						7,4	
19	110	-	-	-	-	-							
20	115	-	-	-	-	-							
21	120	-	-	-	-	-							
22	125	-	-	-	-	-							
всього:					25					84,17	77,6	$\overline{K_{my}} = 1,1$	

Таблиця 3.3 - Вихідні дані для визначення кількості робочих місць і планування виробничої лінії

Номер операції		Найменування обладнання	Модель	Габаритні розміри, мм	Кількість, шт	зона обслуговування	Кількість операторів, чол
1	010	Фрезерон-центровальная	MP-71M	5500x1500	1	V	1
2	015	Токарська	16A20БФ3	3700x2260	1	I	1
3	020	Токарська	16A20БФ3	3700x2260	2	I	
4	025	Токарська	16A20БФ3	3700x2260	1	I	
5	030	Токарська	16A20БФ3	3700x2260	1	I	
6	035	Токарська	16A20БФ3	3700x2260	1	I	
7	040	фрезерна	6Т80	1600x1900	1	II	1
8	045	фрезерна	6Т80	1600x1900	1	II	1
9	050	протяжна	7540	8500x2000	1	IV	1
10	055	сверлильная	2A554	2665x1030	2	II	2
11	060	Фрезерно-сверлильная	МА-655ПН	4000x3760	2	II	2
12	070	шліфувальна	3У12АФ1	3600x2260	1	III	2
13	075	шліфувальна	3У12АФ2	3600x2260	2	III	
14	080	шліфувальна	3У12АФ3	3600x2260	2	III	
15	085	шліфувальна	3У12АФ4	3600x2260	1	III	
16	090	шліфувальна	3В130Ф4	4000x3200	1	III	
17	095	шліфувальна	3В130Ф4	4000x3200	1	III	1
18	105	Токарська	16A20БФ3	3700x2260	1	I	
-	-	Зубофрезерний	5Е32П	2400x1420	1	II	1

3.4 Наближене проектування механічного цеху

Проектування механічних цехів нового виробництва не завжди можна вести на основі детально розробленого технологічного процесу.

При проектуванні цехів з точно не встановленою номенклатурою виготовлених виробів, коли допустимо наближене визначення кількості технологічного обладнання і його структурного складу, використовують наближені засоби розрахунку виробничої програми цеху.

Одним із засобів наближеного проектування цехів є засіб проектування по техніко-економічним показникам, які встановлені з практики передових заводів або взятих з раніше виконаних проектів. Верстатомісткість і трудомісткість виготовлення 1 тонни виробів певного виду, вартість виготовлення 1 тонни комплексу деталей і т.д.

Отже, в цеху буде оброблятися чотири групи деталей.

I - група валів турбін (детальний розрахунок ділянки наведено в п. 3.1-3.3, тому в укрупненому розрахунку цеху ми його не розраховуємо).

II - група коротких валів, верстатомісткість ділянки $T_{ix-k} = 90000$ станко-годин, коефіцієнт завантаження обладнання $K_z = 0,8$, коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування $K_m = 1,2$, питома площа на один верстат $\gamma = 25 \text{ м}^2$.

III - група задніх валів, верстатомісткість ділянки $T_{ix-k} = 110000$ станко-годин, коефіцієнт завантаження обладнання $K_z = 0,85$, коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування $K_m = 1,25$, питома площа на один верстат $\gamma = 30 \text{ м}^2$.

IV - група довгих валів, верстатомісткість ділянки $T_{ix-k} = 80000$ станко-годин, коефіцієнт завантаження обладнання $K_z = 0,82$, коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування $K_m = 1,15$, питома площа на один верстат $\gamma = 35 \text{ м}^2$.

Розрахуємо необхідну кількість обладнання на ділянках II і III:

$$S = \frac{T_{ix-k}}{F_g \cdot m \cdot K_z} \quad (3.15)$$

де $F_g \cdot m = 4000 \text{ ч}$ - фонд часу роботи верстата за рік.

$$S_{II} = \frac{T_{ix-k_{II}}}{F_g \cdot m \cdot K_{z_{II}}} = \frac{90000}{4000 \cdot 0,8} = 28,2 = 29 \text{ верстатів},$$

$$S_{III} = \frac{T_{ix-k_{III}}}{F_g \cdot m \cdot K_{z_{III}}} = \frac{110000}{4000 \cdot 0,85} = 32,4 = 33 \text{ верстата},$$

$$S_{IV} = \frac{T_{ix-k_{IV}}}{F_g \cdot m \cdot K_{z_{IV}}} = \frac{80000}{4000 \cdot 0,82} = 24,4 = 25 \text{ верстатів}.$$

Чисельність робітників-верстатників розраховуємо за такою формулою:

$$R = \frac{T_{ш-\kappa}}{F_{\partial} \cdot K_{\mathcal{M}}} \quad (3.16)$$

де F_{∂} = річний фонд роботи робітників 1860ч.

$$R_{II} = \frac{T_{ш-\kappa_{II}}}{F_{\partial} \cdot K_{\mathcal{M}_{II}}} = \frac{90000}{1860 \cdot 1,2} = 40,3 = 41 \text{людо} ,$$

$$R_{III} = \frac{T_{ш-\kappa_{III}}}{F_{\partial} \cdot K_{\mathcal{M}_{III}}} = \frac{110000}{1860 \cdot 1,25} = 47,3 = 48 \text{людо} ,$$

$$R_{IV} = \frac{T_{ш-\kappa_{IV}}}{F_{\partial} \cdot K_{\mathcal{M}_{IV}}} = \frac{80000}{1860 \cdot 1,15} = 37,4 = 38 \text{людо} .$$

Виробничу площу ділянок визначаємо за формулою:

$$F = \gamma \cdot S \quad (3.17)$$

$$F_{II} = \gamma_{II} \cdot S_{II} = 42 \cdot 25 = 1050 \text{м}^2 ,$$

$$F_{III} = \gamma_{III} \cdot S_{III} = 33 \cdot 30 = 990 \text{м}^2 ,$$

$$F_{IV} = \gamma_{IV} \cdot S_{IV} = 25 \cdot 35 = 875 \text{м}^2 .$$

Таким чином, виробнича площа цеху дорівнює:

$$F_{II} = F_I + F_{II} + F_{III} + F_{IV} = 983 + 1050 + 990 + 875 = 3898 \text{м}^2 \quad (3.18)$$

Розміри виробничої будівлі:

ширина цеху $b = 72 \text{м}$

$$\text{довжина цеху } a = \frac{F_{II}}{b} = \frac{3898}{72} = 54 \text{м} .$$

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення виробничої програми цеху

Номенклатура деталей складових виробничої програми проектного цеху визначається на основі завдання на дипломний проект. Вона включає деталі докладної технології і деталі, на які не розробляється технологія.

Трудомісткість річної виробничої програми визначається на основі норм часу обробки деталей докладної технології, встановлених в розробленому техпроцесі, і інших деталей, прийнятих за даними підприємства.

Таблиця 4.1 - Виробнича програма цеху

деталі	Штучний час на деталь, година	Річна виробнича програма цеху	
		в натуральному вираженні, шт	по трудомісткості, нормо-годину
деталь 1	2,1	10000	21000
деталь 2	2,8	9000	25200
деталь 3	2,4	8000	19200
деталь 4	2,2	7500	16500
деталь 5	4,1	5000	20500
деталь 6	2,6	8500	22500
деталь 7	2,2	11000	24700
деталь 8	3,7	6000	22300
деталь 9	3,3	8000	26200
деталь 10	5,0	5000	25000
деталь 11	2,9	10000	28800
деталь 12	3,7	7000	25700
деталь 13	4,1	6000	24500
деталь 14	3,1	9000	28000
деталь 15	4,9	6500	31800
всього			361900

4.2 Вартість основних фондів цеху

Вартість основних фондів визначається окремо за такими групами:

Група 1

будинки

Група 2

Виробничий і господарський інвентар

Інструмент і пристосування

Група 3

Виробниче обладнання

Підйомно-транспортне обладнання

енергетичне обладнання

Група 4

Інформаційні системи

Електронно-обчислювальні та інші машини для електронної обробки інформації

4.2.1 Розрахунок вартості виробничого обладнання

Вартість виробничого обладнання (основного і допоміжного) визначається на основі розрахунків кількості необхідного обладнання на ділянці за технологією і в цілому за цехом, а також цін на обладнання.

$$S_{об} = \frac{\sum T_{ш-к}}{F_{см} \cdot K_{з.о}} = \frac{361900}{4000 \cdot 0,82} = 111шт \quad (4.1)$$

де $F_{см} = 4000ч$ - річний фонд роботи обладнання,

$K_{з.о} = 0,82$ - коефіцієнт завантаження устаткування.

Результати розрахунків кількості обладнання на ділянці докладної технології наводиться в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок кількості технологічного обладнання

устаткування	Тип (Модель)	Кількість обладнання, <i>шт</i>	вартість, <i>грн</i>		Потужність електродвигунів, <i>кВт</i>	
			одиниця устаткування	загальна	одиниця устаткування	загальна
1	МР-71М	1	50 000	50 000	12	12
2	16А20БФ3	7	110 000	770 000	11	77
3	6Т80	2	10 000	20 000	3	6
4	7540	1	70 000	70 000	40	40
5	2А554	2	5 000	10 000	5,5	11
6	МА-655ПН	2	120 000	240 000	15	30
7	3У12АФ1	6	90 000	540 000	4	24
8	3В130Ф4	2	100 000	200 000	6	12
9	5Е32П	1	20 000	20 000	5	5
всього		24	575 000	1 920 000	101,5	217
Всього по цеху		111		8 880 000		1 004

На основі даних таблиці 4.2 визначається середня вартість одиниці обладнання, яка використовується при розрахунку загальної вартості виробничого обладнання цеху. Результати розрахунку заносяться в таблицю 4.3.

Аналогічно розраховують середню потужність електродвигунів одиниці обладнання в цілому по цеху.

Первісну вартість обладнання визначають множенням загальної його вартості, визначеної за прайс-листами, на коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат, що дорівнює 1,15.

Тоді вартість виробничого обладнання:

$$C_o = 8\,880\,000 \cdot 1,15 = 10\,212\,000 \text{ грн.}$$

4.2.2 Розрахунок вартості інших груп основних фондів

Вартість будівлі, основних, допоміжних і обслуговуючих підрозділів, які входять в нього розраховують виходячи з вартості 1м² будівлі. Загальний обсяг цеху підраховують згідно його планування.

Виробнича площа цеху: $F_{пр} = 5184\text{м}^2$. Вартість 1м² виробничої площі - 220 грн.

Допоміжна площа цеху: $F_{в} = 1944\text{м}^2$. Вартість 1м² допоміжної площі - 310грн.

Тоді вартість будівлі цеху: $СЦ = 5184 \cdot 220 + 1\,944 \cdot 310 = 1\,743\,120$ грн.

Вартість підйомно-транспортного устаткування визначається за даними підприємства. Тип і кількість підйомно-транспортного обладнання обирають в залежності від виробничої структури і розміру проектного цеху, а також характеру продукції, що випускається. Так як в цеху виробляються деталі з максимальною вагою заготовки 40кг, то доцільно для їх підйому використовувати кран-балки. Ціна однієї кран-балки - 30 000грн. Оскільки в цеху три прольоту, то кількості кран-балок - три. Транспортування деталей між операціями і в інші цехи здійснюється електрокарами. Кількість електрокар - 10шт. Ціна однієї електрокари - 6 000грн.

Тоді вартість підйомно-транспортного обладнання:

$$C_{п-т} = 30\,000 \cdot 3 + 6\,000 \cdot 10 = 150\,000 \text{ грн.}$$

Електронно-обчислювальних машин - 40шт. Вартість однієї електронно-обчислювальної машини - 1 000грн. Тоді вартість електронно-обчислювальної машини: $С_{ЕВМ} = 40 \cdot 2\,000 = 80\,000$ грн.

Вартість дорогого інструменту становить 1% від вартості виробничого обладнання: $С_{інстр} = 0,01 \cdot 10\,212\,000 = 102\,120$ грн.

Вартість виробничого і господарського інвентарю приймають рівною 2% первісної вартості будівель: $С_{інв} = 0,02 \cdot 1\,743\,120 = 34\,862$ грн.

Норма амортизації у відсотках, згідно із законодавством України.

Таблиця 4.3 - Основні фонди цеху

Група основних фондів	Первісна вартість, тис. грн	Структура, %	Норма амортизації, %	Річні амортизаційні відрахування, грн
Група 1	1 743,120	14,15	8	139 449,6
Група 2	136,982	1,2	40	54 792,8
Група 3	10 362,0	84	24	2 486 880
Група 4	80,0	0,65	60	48 000
всього	12 322,102	100	-	2 729 122,4

4.3 Персонал. Розрахунок чисельності робітників

При розрахунку чисельності працюючих необхідно враховувати найбільш раціональне використання трудових ресурсів, правильне співвідношення категорій персоналу, максимально можливе вивільнення працівників для використання їх на інших ділянках виробництва.

При недостатньому завантаженні робочих передбачити можливість виконання ними робіт за суміжними професіями.

Чисельність промислово-виробничого персоналу цеху розраховується підсумовуванням чисельності робітників-відрядників, робітників-почасовиків, інженерно-технічних працівників, фахівців, службовців.

Чисельність основних виробничих робітників, які перебувають на відрядній оплаті праці, визначається діленням трудомісткості річної виробничої програми на планований ефективний фонд часу робітника. При цьому враховують коефіцієнти виконання норм виробітку і багатостанкового обслуговування.

$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_{\text{ум}_i}}{F_{\text{эф}} \cdot K_{\text{в.н.}} \cdot K_{\text{м.о.}}} \quad (4.2)$$

де $R_{\text{ср}}$ - середньооблікова кількість основних робітників-відрядників, чол;

n - кількість найменувань деталей, шт;

N_i - кількість деталей кожного найменування, шт;

t_{um_i} - штучно-калькуляційний час на обробку деталі, час;

$F_{эф}$ - ефективний фонд часу робочого, $F_{эф} = 1860$ час;

$K_{в.н.}$ - середній коефіцієнт виконання норм виробітку, становить 1,05;

$K_{м.о.}$ - коефіцієнт багатостанкового обслуговування в цеху становить 1,2.

$$R_{сд} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_{um_i}}{F_{эф} \cdot K_{в.н.} \cdot K_{м.о.}} = \frac{361900}{1860 \cdot 1,05 \cdot 1,2} = 140 \text{ люд}$$

Чисельність допоміжних робітників, зайнятих на нормованих роботах, визначається так само, як і чисельність основних виробничих робітників, тобто в залежності від планованого обсягу робіт і ефективного фонду часу одного робітника

Чисельність допоміжних робітників, зайнятих на почасових роботах, по кожній професії визначається:

- по робочих місцях (комірники, кранівники та ін.),
- за нормами обслуговування (наладчики, чергові слюсарі та ін.).

Укрупнена чисельність допоміжних робітників і їх розподіл за професіями та кваліфікацією можуть бути, зроблені за аналогією з базовим підприємством.

Чисельність інженерно-технічних працівників, фахівців, службовців розраховується за типовими структурами управління.

Результати визначення чисельності промислово-виробничого персоналу наводяться в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Чисельність промислово-виробничого персоналу цеху

Категорії промислово-виробничого персоналу	чисельність, <i>чол</i>	Відсоток від загальної кількості працюючих	Відсоток від кількості основних виробничих робітників
Основні виробничі робітники	140	57,9	100
допоміжні робітники	35	14,5	25
Разом робочих:	175	72,3	-
Інженерно-технічні працівники	17	7,0	12,1
службовці	10	4,1	7,1
фахівці	40	16,5	28,6
Всього по цеху	242	100	-

4.4 Організація і управління виробництвом

У цьому розділі на основі діючих стандартів і інших документів, що регламентують роботу підприємства, а також результатів, отриманих раніше, необхідно:

- проаналізувати рівень організації управління виробництвом на підприємстві;
- розробити виробничу структуру цеху;
- розробити організаційну структуру управління цехом.

4.4.1 Виробнича структура цеху

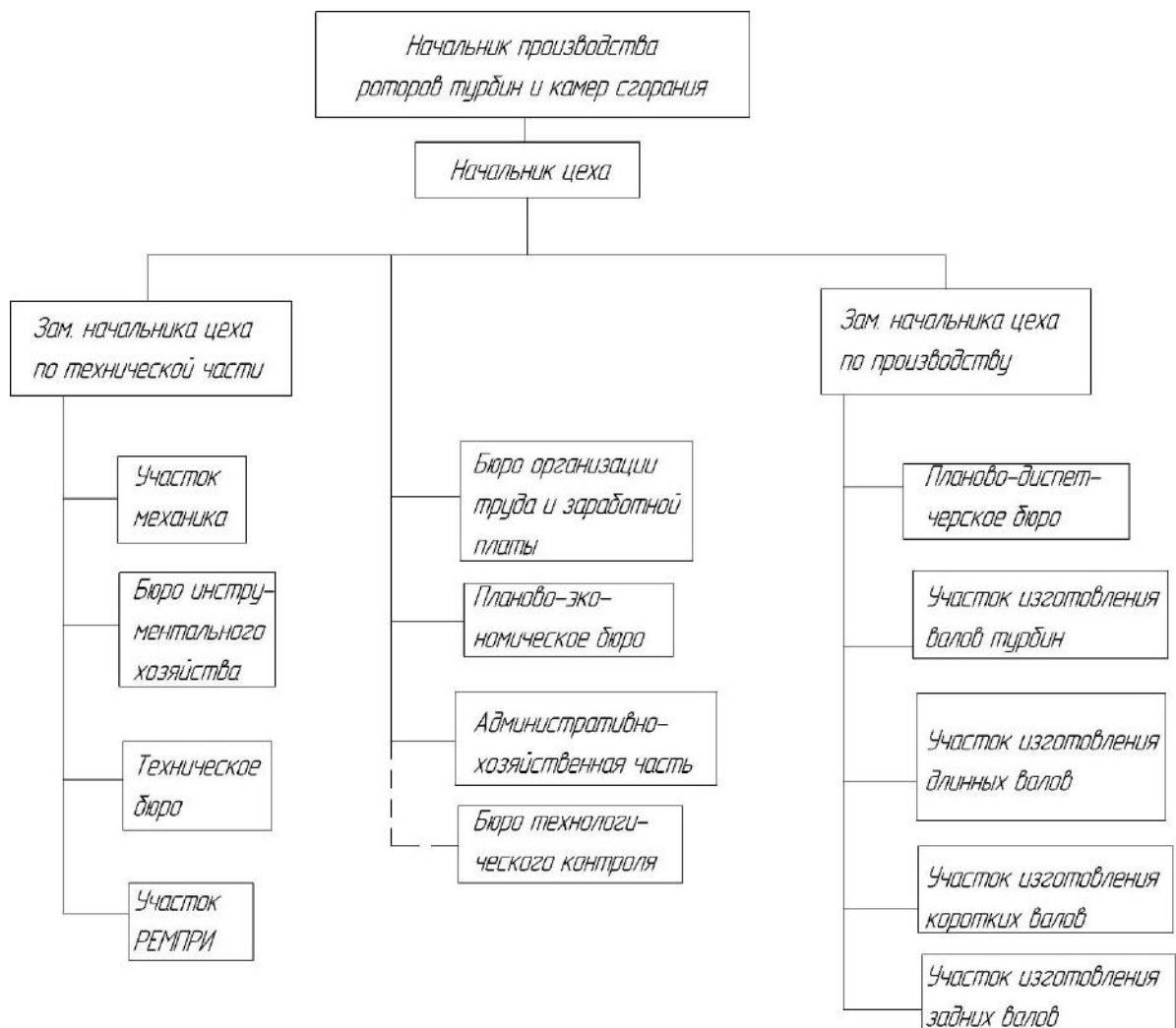
Виробнича структура цеху визначається складом основних, допоміжних і обслуговуючих підрозділів, що входять до нього.

Вона будуватиметься за технологічним, предметним або змішаним принципом.

Для цехів великосерійного виробництва зі стійкою номенклатурою характерна організація предметно-замкнутих ділянок. Предметний принцип побудови виробничої структури полягає в тому, що ділянки цеху виконують різноманітні операції над однорідними групами деталей - в нашому випадку групи валів турбін, довгих валів, коротких валів, задніх валів.

4.4.2 Організаційна структура управління цехом

Організаційна структура управління цехом розробляється з урахуванням його виробничої структури. Встановлюється склад ланок управління (начальник цеху і його заступники, технічна служба, служби механіка, інструментальна, планово-економічна і т.д.).



Малюнок 4.1 - Схема організаційної структури механічного цеху тонкостінних валів двигунів AI-20 і AI-24

Цехи є самостійними структурними виробничо - господарськими підрозділами. Начальник цеху здійснює безпосереднє керівництво виробничою діяльністю ділянок по виконанню плану і контролює роботу всіх служб цеху.

Цехи виконують відповідні виробничі завдання, не мають свого фінансового рахунку і не є юридичною особою.

Завдання. Забезпечення випуску готової продукції та напівфабрикатів з графіками, затвердженими директором з виробництва. Систематичне діагностування діяльності цеху по напрямках забезпеченості ресурсами: технічними, технологічними, кадровими, просторовими, організаційно - управлінськими, інформаційними та фінансовими.

Начальник цеху в своїй роботі керується наказами, постановами, розпорядженнями, чинним законодавством, нормативними і керівними матеріалами, що стосуються діяльності цеху, підприємства. Він здійснює безпосереднє керівництво виробничою діяльністю ділянок по виконанню запланованих обсягів робіт і контролює роботу всіх служб цеху.

Виробничо-диспетчерський відділ є самостійним структурним підрозділом підприємства і підпорядковується безпосередньо директору з виробництва. Відділу функціонально підкоряються диспетчера цехів основного виробництва.

Завдання. Організація ритмічної роботи цехів і підприємства в цілому. Мобілізація резервів зростання виробництва, поліпшення використання основних і оборотних коштів, всебічне підвищення продуктивності праці. Складання збалансованих планів виробництва, поточних і перспективних на основі аналізу отриманих замовлень, наявності матеріалів, людських і енергетичних ресурсів, ступеня важливості замовлень.

Бюро інструментального господарства забезпечує підприємство інструментом і технологічним оснащенням при найменших витратах на їх придбання, виготовлення, експлуатацію, ремонт і зберігання. Визначає потреби підрозділів підприємства в інструменті і оснащенні, розробляє проекти перспективних і річних планів інструментального забезпечення виробництва, становить заявки на придбання інструменту та оснастки, ремонту та відновлення. Здійснює контроль за дотриманням підрозділами підприємства норм витрат інструменту і оснастки, встановлює причини їх перевитрат. Організовує облік наявності, надходження і витрачання інструменту і оснастки,

виявлення понаднормативних запасів, вживає заходів щодо списання зношеного інструменту.

Планово-економічне бюро здійснює організацію та вдосконалення економічної діяльності цеху, спрямовану на підвищення продуктивності праці, ефективності та рентабельності виробництва, якості продукції, що випускається, зниження її собівартості, досягнення найбільших результатів при найменших витратах матеріальних, трудових і фінансових ресурсів. Здійснює комплексний економічний аналіз і контроль виробничо-господарської діяльності цеху і його підрозділів. Забезпечує подання за термінами і формами статистичної звітності по всіх техніко-економічних показниках роботи цеху.

Майстри діляниць здійснюють безпосереднє керівництво виробничою діяльністю ділянки ввіреного йому. Забезпечують виконання ділянкою планових завдань за обсягом виробництва в номенклатурі.

4.5 Вартість основних матеріалів

Витрати на основні матеріали визначаються за нормами витрат і цінами. Результати розрахунків заносять в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Вартість основних матеріалів

деталь	матеріал	Витрата на деталь, кг	Оптова ціна матеріалу, грн / т	Вартість матеріалів на деталь, грн	Відходи на деталь, кг	Ціна відходів, грн / кг	Вартість відходів на деталь, грн	Вартість матеріалів на деталь за вирахуванням відходів, грн	Вартість матеріалів за вирахуванням відходів на програму, тис.грн
деталь 1	40ХНМА	21,8	7000	152,6	15,95	0,08	1,276	151,324	1 513,24
деталь 2	ЕІ-961	14,8	25000	370	10,9	0,30	3,27	366,73	3 300,57
деталь 3	40ХНМА	23,4	7000	163,8	17,1	0,08	1,368	162,432	1 299,456
деталь 4	ЕП-609	8,7	25000	217,5	5,8	0,30	1,74	215,76	1 618,2
деталь 5	40ХФА	13,9	7000	97,3	10,2	0,08	0,816	96,484	482,42
деталь 6	сталь45	18,2	1600	29,12	12,4	0,03	0,372	28,748	244,358
деталь 7	ХН77ТЮР	6,7	23000	154,1	3,8	0,25	0,95	153,15	1 684,65
деталь 8	ЕП-609	21,5	25000	537,5	11,7	0,30	3,51	533,99	3 203,94
деталь 9	40ХФА	16,4	7000	114,8	5,2	0,08	0,416	114,384	915,072
деталь 10	ЕІ-961	12,3	25000	307,5	6,6	0,30	1,98	305,52	1 527,6
деталь 11	ЕП-609	10,8	25000	270	5,9	0,30	1,77	268,23	2 682,3
деталь 12	ХН77ТЮР	19,7	23000	453,1	11,0	0,25	2,75	450,35	3 152,45
деталь 13	сталь45	5,2	1600	8,32	1,5	0,03	0,045	8,275	49,65
деталь 14	40ХФА	9,5	7000	66,5	3,9	0,08	0,312	66,188	595,692
деталь 15	40ХНМА	17,6	7000	123,2	9,4	0,08	0,752	122,448	795,912
всього				3 065,34			21,327	3 044,01	23 065,51

4.6 Заробітна плата

Фонд заробітної плати розраховують за категоріями промислово-виробничого персоналу цеху. При цьому необхідно забезпечити найбільш доцільне співвідношення заробітної плати окремих категорій працівників відповідно до кількості і якості їх праці та ефективного використання загального фонду заробітної плати.

4.6.1 Розрахунок заробітної плати робітників цеху

Тарифний фонд заробітної плати робітників-відрядників Z_{cd} визначають виходячи з трудомісткості річної виробничої програми цеху в нормо-ч (табл.4.1) і середньої годинної тарифної ставки відрядника:

$$C_{cp.cd} = 3,74 \cdot 3 + 1,72 \cdot 5 + 4,7 \cdot 5 + 2,06 \cdot 6 = 2,9 \text{ грн/ч}$$

$$Z_{cd} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot t_{um_i} \cdot C_{cp.cd} = 361900 \cdot 2,9 = 1049510 \text{ грн} \quad (4.3)$$

Тарифний фонд заробітної плати робітників-почасовиків $Z_{нов}$ визначають виходячи з чисельності $R_{нов}$, Середньогодинної тарифної ставки $C_{cp.нов}$ і ефективного фонду часу $F_{эф.раб}$.

$$Z_{нов} = R_{нов} \cdot C_{cp.нов} \cdot F_{эф.раб} = 35 \cdot 2,4 \cdot 1860 = 156240 \text{ грн} \quad (4.4)$$

4.6.2 Розрахунок розцінок за операціями на деталь вал турбіни компресора

Тарифний фонд заробітної плати на основну деталь $Z = N_i \cdot P_i$.

Основна заробітна плата за одну деталь - розцінка - визначається за формулою:

$$P_i = \sum_{i=1}^m C_i \cdot t_{um-\kappa_i} \quad (4.5)$$

де P_i - розцінка на деталь, грн;

m - кількість операцій в техпроцесі, од .;

C_i - годинна тарифна ставка робітника i -го розряду, грн / год;

$t_{um-\kappa_i}$ - штучно-калькуляційний час на i -ту операцію, ч.

Результати розрахунку заносимо в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 - Розрахунок розцінок за операціями

деталь	операція	норма часу	розряд робіт	Тарифна ставка	Розцінка за 1 шт
деталь 1	№1 - 010	2,46	3	3,74	0,15
	№2 - 015	10,08	3	1,72	0,29
	№3 - 020	32,9	3	1,72	0,94
	№4 - 025	4,72	3	1,72	0,14
	№5 - 030	2,58	3	1,72	0,07
	№6 - 035	8,48	3	1,72	0,24
	№7 - 040	6,8	5	4,7	0,53
	№8 - 045	2,87	5	4,7	0,22
	№9 - 050	1,42	5	4,7	0,11
	№10 - 055	5,83	5	4,7	0,46
	№11 - 060	13,5	3	3,74	0,84
	№12 - 070	1,78	3	2,06	0,06
	№13 - 075	5,98	3	2,06	0,21
	№14 - 080	7,61	3	2,06	0,26
	№15 - 085	2,97	3	2,06	0,1
	№16 - 090	7,28	3	2,06	0,25
	№17 - 095	5,3	3	2,06	0,18
	№18 - 100	6,85	5	4,7	0,54
	№19 - 105	4,7	3	3,74	0,29
всього		126мін = 2,1ч			5,9

Фонд заробітної плати фахівців, службовців планують виходячи з штатного розкладу. Премії керівникам, фахівцям, службовцям, виплачуються в розмірі 25% від окладу за штатним розкладом. Фонд заробітної плати зводять в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 - Фонд заробітної плати інженерно-технічних працівників, службовців, фахівців.

Категорії промислово-виробничого персоналу	Чисельність, чол	Премії, грн	Річний фонд заробітної плати, грн	Середньомісячна заробітна плата одного робітника, грн
Інженерно-технічні працівники	17	: 25 500	127 500	625
фахівці	40	48 000	240 000	500
службовці	10	10 500	: 25 500	437,5
всього:	67	84 000	420 00	527

Фонд річної заробітної плати всіх категорій промислово-виробничого персоналу цеху зводять в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 - Фонд заробітної плати промислово-виробничого персоналу цеху

Категорії промислово-виробничого персоналу	Чисельність, чол	Тарифний фонд, грн	Премії, грн	Доплати і додаткова заробітна плата, грн	Річний фонд заробітної плати, грн	Середньомісяч на заробітна плата одного робітника, грн
Основні виробничі робітники	140	1 049 510	262 377	52 475	1 364 362	812
допоміжні робітники	35	156 240	39 060	7 812	203 112	484
Інженерно-технічні робітники	17	102 000	: 25 500	5 100	132 600	650
фахівці	40	192 000	48 000	9 600	249 600	520
службовці	10	42 000	10 500	2 100	54 600	455
всього:	242	1 349 750	385 437	77 087	1 812 274	624

4.7 Собівартість продукції

В цьому розділі розраховуються всі витрати виробництва, що припадають на одиницю продукції і на виконання виробничої програми в цілому.

4.7.1 Витрати на утримання і експлуатацію устаткування

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування $C_{об}$ складаються у вигляді кошторису і включають в себе статті витрат в цеху, які визначаються роботою обладнання (проектованим складом обладнання та транспортних засобів, нормами витрати енергії, допоміжних матеріалів, амортизаційних відрахувань, нормативами обслуговування і ремонту устаткування і транспортних засобів і т.д.).

4.7.2 Кошторис витрат по утриманню та експлуатації обладнання

Розрахунок статей проводиться таким чином.

Стаття 1: «Експлуатація обладнання».

Витрати на силову енергію:

$$E = M \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{CP} \cdot K_{ЗМ} \cdot ЦЕ = 217 \cdot 4000 \cdot 0,84 \cdot 0,8 \cdot 0,21 = 122 \quad (4.6)$$

492,16грн

де М = потужність двигунів верстатів 217 кВт,

Φ_{ef} = річний фонд часу роботи обладнання 4000ч,

K_{CP} = середній коефіцієнт завантаження устаткування за часом 0,84,

$K_{ЗМ}$ = коефіцієнт завантаження по потужності 0,8,

$ЦЕ$ = ціна одного кВтг енергії 0,21 грн.

Витрати на стиснене повітря:

$$Y = Ц_v \cdot q \cdot n \cdot \Phi_{ef} \cdot D_o \cdot K_{CP} = 0,0264 \cdot 3 \cdot 75 \cdot 4000 \cdot 0,8 \cdot 0,84 = 15540,9 \text{гр} \quad (4.7)$$

$Ц_v$ = ціна одного кубометра стисненого повітря 0,0264 грн,

q = витрата стисненого повітря на один верстат в годину 3 м³ / год,

n = число верстатів з пневмoeлементами 75 шт,

K = коефіцієнт витоку повітря 0,8.

Витрати на воду для виробничих цілей:

$$YI = Ц_v \cdot (Q1 + Q2) = 0,37 \cdot (223,78 + 1,2) = 83,24 \text{грн} \quad (4.8)$$

де $Ц_v = 0,37$ грн / м³ - ціна одного кубометра води ,;

$Q1$ - вода на приготування охолоджуючих рідин, м³;

$$Q_1 = \frac{q_{в1} \cdot S \cdot \Phi_{cf} \cdot K_{cp}}{1000} = \frac{0,6 \cdot 111 \cdot 4000 \cdot 0,84}{1000} = 223,78 \text{м}^3 \quad (4.9)$$

де $Q_{в1} = 0,6$ л / год витрата води на один верстат,

S = кількість верстатів 111 шт

Q_2 - вода на промивку деталей в банках, м³

$$Q_2 = \frac{q_{в2} \cdot \Phi_{эф}}{1000} = \frac{0,3 \cdot 4000}{1000} = 1,2 \text{ м}^3 \quad (4.10)$$

де, $q_{в2} = 0,3$ л / год - витрата води на промивку.

Витрати на допоміжні матеріали визначаються укрупнено в розмірі 2% від вартості матеріалу.

$$U_2 = 0,02 \cdot 23\,065,51 = 461,3 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну плату:

$$З / П = ФРФ \cdot Д_о = 203\,112 \cdot 0,375 = 76\,167 \text{ грн} \quad (4.11)$$

де ФРФ - річний фонд заробітної плати допоміжних працівників,

$Д_о$ = нарахування на заробітну плату, встановлену законодавством України 0,375.

Стаття 2: «Знос малоцінних інструментів і обладнання».

Суму витрат по цій статті укрупнено можна визначити: для обладнання в розмірі 4% від його балансової вартості, а для пристроїв 5% їх вартості.

$$U_o = 0,04 \cdot 10\,362\,000 = 414\,480 \text{ грн, } U_{np} = 0,05 \cdot 136\,982 = 6\,849,1 \text{ грн.}$$

Стаття 3: «Амортизація обладнання, транспортних засобів, інструменту та виробничого інвентарю».

Сума витрат за цією статтею визначено раніше в п. 4.2.2 та становить:

$$Q = 2\,486\,880 + 102\,120 + 17\,431 = 2\,606\,431 \text{ грн.}$$

Стаття 4: «Поточний ремонт обладнання і транспортних засобів».

Укрупнено суму витрат по цій статті можна визначити в розмірі 1,5-2% від балансової вартості обладнання.

$$y_p = 0,015 \cdot 10\,362\,000 = 155\,430 \text{ грн.}$$

Стаття 5: «Інші витрати».

Укрупнено суму витрат по цій статті можна визначити в розмірі 1% від суми витрат за статтями 1-4.

$$U_{\text{проч}} = 0,01 \cdot 3\,397\,935 = 33\,979 \text{ грн.}$$

Витрати по утриманню та експлуатації обладнання на собівартість одиниці виробу визначають пропорційно тарифної заробітної плати основних робочих за формулою:

$$\%PЭ = \frac{\sum PЭ}{\sum З_{сд}} \cdot 100\% = \frac{3431914}{1049510} \cdot 100\% = 327\% \quad (4.12)$$

де PE - сума витрат на утримання та експлуатацію устаткування (таблиця 4.7),

$З_{сд}$ - річний фонд заробітної плати основних робітників.

Розмір витрат з утримання та експлуатації обладнання, що припадають на одиницю виробу визначається за формулою:

$$P_o = \frac{\%PЭ}{100\%} \cdot P_1 = \frac{327}{100} \cdot 5,9 = 19,3 \text{ грн} \quad (4.13)$$

де P_1 = розцінка на деталь 5,9грн.

Таблиця 4.7 - Кошторис витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Стаття витрат	Сума, грн
1. Експлуатація обладнання (Крім витрат на поточний ремонт)	214 748
2. Знос малоцінних і швидкозношуваних інструментів і пристосувань	421 329
3. Амортизація устаткування і транспортних засобів	2 606 431

4. Поточний ремонт обладнання і транспортних засобів	155 430
5. Інші витрати	33 979
Разом	3 431 914

4.7.3 Виробничі витрати

Виробничі витрати C_{np} включають в себе витрати з обслуговування цеху та управління ім.

Розрахунок статей витрат проводиться таким чином (таблиця 4.8).

Стаття 1: «Утримання апарату управління цеху».

Сума витрат за цією статтею визначається за формулою:

$$З / П = \Phi_{eng} \cdot Дo = 132\,600 \cdot 0,375 = 89\,725 \text{ грн} \quad (4.14)$$

де Φ_{eng} - річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) інженерно-технічних працівників,

K = нарахування на заробітну плату, встановлену законодавством України 0,375.

Стаття 2: «Зміст будівель, споруд, інвентарю».

Сума витрат за цією статтею включає в себе:

Витрати на енергію для освітлення:

$$\mathcal{E}_o = S \cdot W \cdot ЦЕ \cdot \Phi_{осв} = 7\,128 \cdot 0,015 \cdot 0,21 \cdot 2100 = 97\,151,72 \text{ грн} \quad (4.15)$$

де S = площа цеху 7 128 м²,

W = потужність, необхідна для освітлення 1 м² площі ділянки 15 Вт,

$ЦЕ$ = 0,21 грн - ціна 1 кВт / год енергії,

$\Phi_{осв}$ = фонд часу роботи освітлювальної системи 2100 год.

Витрати на воду для побутових потреб визначаються з розрахунку 5 літрів на одну людину в зміну для пиття, 40 літрів на одну людину в зміну для душових і 10 літрів на одну людину в зміну для вмивання.

$$Q_v = (0,005 + 0,040 + 0,010) \cdot 175 \cdot 232 \cdot 0,98 = 2\,188 \text{ грн.}$$

Витрати на пар для опалення

$$Q_{nm} = \frac{q_m \cdot H \cdot V}{i \cdot 1000} \cdot C_n = \frac{20 \cdot 4320 \cdot 534600}{540 \cdot 1000} \cdot 0,0956 = 8177,2 \text{ грн} \quad (4.16)$$

де $q_m = 20 \text{ ккал / ч}$ - теплові втрати на 1 м³ будівлі ;

$H =$ число годин опалення 4320 год,

$V =$ обсяг будівлі 534 600 м³,

$i =$ теплота випаровування 540 ккал / кг,

$C_n =$ ціна одного кілограма пара 0,0956 грн.

Витрати на допоміжні матеріали укрупнено визначаються в розмірі 3% від первісної вартості будівлі.

$$Q_{vm} = 0,03 \cdot 1\,743\,120 = 52\,293,6 \text{ грн.}$$

Стаття 3: «Амортизація будівель, споруд, господарського інвентарю та комп'ютерного обладнання».

Сума витрат за цією статтею визначається підсумовуванням амортизаційних відрахувань, визначених у розділі 4.2.2, таблиця 4.3 і становить:

$$Q = 139\,449,6 + 17\,431 + 48\,000 = 704\,881 \text{ грн.}$$

Стаття 4: «Поточний ремонт будівель, споруд, інвентарю».

Укрупнено суму витрат по цій статті можна визначити в розмірі 2% від балансової вартості будівлі та інвентарю.

$$Q_{pm} = 0,02 \cdot 1\,743\,120 = 34\,862,4 \text{ грн.}$$

Стаття 5: «Витрати на дослід, дослідження, раціоналізацію і винаходи».

Сума витрат за цією статтею визначається в розмірі 200грн на одного працівника ІТП в місяць.

$$Q_{исл} = 200 \cdot 41 \cdot 12 = 98\,400 \text{ грн.}$$

Стаття 6: «Охорона праці».

Сума витрат за цією статтею визначається в розмірі 1% від річного фонду заробітної плати працівників.

$$Q_{от} = 0,01 \cdot 1\,812\,274 = 18\,123 \text{ грн.}$$

Стаття 7: «Знос малоцінного інвентарю».

Укрупнені суму витрат по цій статті визначають в розмірі 2% від балансової вартості інвентарю.

$$Q_{инв} = 0,02 \cdot 34\,862 = 697,24 \text{ грн.}$$

Стаття 8: «Інші витрати».

Укрупнене суму витрат по цій статті можна визначити в розмірі 1% від суми витрат за статтями 1-7.

$$Q_{пр} = 0,01 \cdot 516\,299 = 5\,163 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.8 - Кошторис виробничих витрат

Стаття витрат	Сума, грн
1. Утримання апарату управління цехом	89 725
2. Утримання будинків, споруд, інвентарю	159 810
3. Амортизація будівель, споруд, інвентарю	704 881
4. Поточний ремонт будівель, споруд, інвентарю	34 862,4
5. Випробування, дослід, дослідження, раціоналізація і винахідництво	98 400
6. Охорона праці	18 123
7. Знос малоцінного і швидко інвентарю	697,24
8. Інші витрати	5 163
всього	1 111 662

4.7.4 Калькуляція собівартості продукції

Калькуляція собівартості продукції складається за таблицею 4.9.

Таблиця 4.9 - Калькуляція собівартості продукції

Стаття витрат	Всього по цеху, грн	деталь	
		на одиницю, грн	на програму, грн
Основні матеріали	23 065 510	151,324	1 513 240
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	1 049 510	5,9	59 000
Додаткова заробітна плата і премії основних виробничих робітників	314 852	2,6	26 000
Нарахування на заробітну плату	511 636	4,25	42 500
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	3 431 914	19,3	193 000
Виробничі витрати	1 111 662	6,5	29 000
собівартість	29 485 084	189,87	1 898 700

Основні матеріали, що припадають на одну деталь, наведені в таблиці 4.5 "Вартість матеріалів на деталь за вирахуванням відходів".

Додаткова заробітна плата визначається у відсотках від основної зарплати. Відсоток додаткової заробітної плати визначається з співвідношення доплат і додаткової заробітної плати основних виробничих робітників до їх тарифного фонду заробітної плати і становить 5%. Премії нараховуються в розмірі 50% від основної заробітної плати.

Нарахування на заробітну плату визначають в розмірі 37,54% від суми розцінки, доплат, додаткової заробітної плати та премій, що припадають на одну деталь. Однойменні витрати на річну програму розраховують аналогічно.

Виробничі витрати на деталь PP_{∂} визначають за формулою:

$$PP_{\partial} = \frac{\%PP}{100\%} \cdot P_i = \frac{110\%}{100\%} \cdot 5,9 = 6,5 \text{ грн} \quad (4.17)$$

де $\%PP$ - відсоток виробничих витрат:

$$\%PP = \frac{C_{np}}{Z_{co}} \cdot 100\% = \frac{1111662}{1049510} \cdot 100\% = 110\% \quad (4.18)$$

Таким чином, собівартість розроблюваної деталі становить 189,87 грн, тоді як собівартість деталі базового цеху - 427,4 грн. При проектуванні нового цеху, було досягнуто зниження витрат на утримання і експлуатацію устаткування з 380% до 327%, що істотно відбилося на собівартості деталі. Також вдалося забезпечити цех новим виробничим і технологічним обладнанням та інвентарем, що дозволило знизити розряд основних виробничих працівників і, відповідно, розцінку на деталь. Раніше розцінка на розроблювану деталь становила 15,51 грн, а тепер - 5,9 грн. Отже, завдяки перерахованим вище показникам вдалося знизити собівартість деталі в 2,2 рази.

4.8 Техніко-економічні показники роботи цеху

За результатами виконаних розрахунків заповнюємо таблицю 4.11.

Техніко-економічні показники поділяють на абсолютні і відносні. Абсолютні характеризують виробничу потужність проектного цеху, відносні - ефективність використання ресурсів.

Таблиця 4.11 - Техніко-економічні показники проектного цеху

показники	одиниця	показники	
		проектowanego цеху	базового цеху
I. Абсолютні			
Річний випуск продукції:			
а) в натуральному вираженні	шт	10 000	1 000
б) за трудомісткістю	нормо- год	361 900	277 680
в) за собівартістю	грн	29 485 084	10 001 880
Вартість основних виробничих фондів цеху	грн	12 322 102	5 752 259
В тому числі устаткування і цінний інструмент	грн	10 464 120	600 621
Площа цеху	м2	7 128	10 840
У тому числі виробнича	м2	1 944	8 230

кількість обладнання	<i>шт</i>	142	354
У тому числі виробничого обладнання	<i>шт</i>	111	310
Чисельність промислово-виробничого персоналу	<i>чол</i>	242	360
У тому числі основних виробничих робітників	<i>чол</i>	140	295
II. відносні			
Вироблення на одного основного виробничого робітника:			
нормо-годин на чол.	<i>нормо-год / чол</i>	2 585	79,3
в грошовому вираженні за виробничою собівартістю	<i>грн / чол</i>	210 608	33 905
Вироблення на одного працюючого:			
нормо-годин на чол.	<i>нормо-год / чол</i>	1 495	65,0
в грошовому вираженні за виробничою собівартістю	<i>грн / чол</i>	121 839	27 783
фондовіддача	<i>грн / грн</i>	2,4	1,7
Випуск продукції на 1 м2 виробничої площі	<i>грн / м2</i>	15 167,2	1 215
Трудомісткість виготовлення одиниці продукції	<i>нормо-год</i>	2,1	3,9
Коефіцієнт завантаження обладнання		0,82	0,58
фондоозброєність	<i>грн / чол</i>	50 918	15 978
Коефіцієнт використання металу		0,27	0,15
Собівартість одиниці продукції:	<i>грн</i>	189,87	427,4

З таблиці 4.11 видно, що основні техніко-економічні показники проектного цеху трохи вище базових показників. Так, наприклад, річний випуск продукції збільшився в 10 разів, а собівартість продукції зменшилася в 1,7 рази при зменшенні виробничої площі цеху в 4,2 рази, чисельності основних виробничих робітників у 2,1 рази і кількості металорізального обладнання в 2,5 рази. Така продуктивність була досягнута завдяки застосуванню новітнього виробничого обладнання та передових технологій обробки металів, а також грамотної організації роботи персоналу.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час технологічного процесу оптимізації конструкції тонкостінних валів ГДТ за допомогою систему ANSYS методом кінцевих елементів ймовірними є наступні потенційні небезпеки:

1. Механічні травми внаслідок організаційних причин:

а) нераціонального планування та організації робочого місця; внаслідок застосування меблів, що не відповідають ергономічним вимогам людини;

б) захащення заготовками і деталями робочого місця при незбалансованості технологічного процесу та роботи обладнання;

в) травми та пошкодження шкіряного покриву при розвантаженні і завантаженні заготовок та деталей;

д) падіння заготовок та деталей, що були недостатньо надійно закріплені на верстаті, може привести до травмування фахівців.

2. Можливість ураження електричним струмом внаслідок несправності електрообладнання, незнання, або порушення правил електробезпеки, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

3. Під час токарної обробки деталей можливе травмування очей частками пилю або стружкою, що відлітає в процесі обробки матеріалів, при порушенні технологічного процесу.

4. Можливе попадання змащувально-охолоджувальної рідини в очі в процесі виконання робіт при відсутності захисних пристроїв (екранів) і роботі без захисних окулярів або щитків.

5. Нервово-психічні навантаження внаслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру.

6. При систематичному недотриманні режиму праці і відпочинку та довготривалому статистичному навантаженні, при виконанні робіт у вимушеній

(нераціональній) позі, ймовірні захворювання периферичної нервової системи: неврити, радикуліти.

7. Постійний вплив на органи дихання, шкіряні покрови та слизові оболонки токсичних та дратуючих речовин, що присутні у складі змащувально-охолоджуючої рідини, може призвести до алергічних реакцій у працюючих.

8. Недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору.

9. Підвищений рівень шуму, що супроводжує роботу значної кількості верстатів, приводє до роздратованості, збільшенню помилок, в окремих випадках - до погіршення слуху.

10. Можливість загорянь внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може призвести до пожеж.

11. Неправильні дії персоналу під час НС внаслідок відсутності управління та паніки, що може призвести до травм та летальних наслідків.

5.2 Заходи з забезпечення техніки безпеки

Щоб уникнути механічних та електричних травм під час роботи на верстатах та іншому обладнанні передбачені заходи по проведенню навчання, перевірки знань з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [1].

Згідно Наказу міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій» до роботи допускаються особи, що пройшли медичний огляд та не мають протипоказань до цієї роботи.

Для забезпечення безпеки при проведенні дослідів та оптимізації технологічного процесу використовується обладнання, що відповідає ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. «Оборудование производственное. Общие требования безопасности». Органи керування верстатом відповідають вимогам ГОСТ 12.2.064-81. ССБТ. «Органы управления производственным оборудованием. Общие эргономические требования». Робітники повинні дотримуватися правил безпеки при роботі згідно НПА ОП 0.00-1.68-13 «Правила охорони праці під час холодного оброблення металів». Відповідальність за дотримання справного стану і безпечну експлуатацію металорізального верстату покладається на керівника підрозділу, за яким закріплений верстат.

Для уникнення можливих травм при контакті з рухомими частинами обладнання передбачені захисні огорожі згідно ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные» [4].

При проектуванні та експлуатації технологічного обладнання передбачено застосування пристроїв, які виключають ймовірність контакту людини з небезпечною зоною, або знижують небезпеку контакту (засоби захисту робітників).

Для уникнення травм внаслідок руйнування інструменту необхідно працювати тільки з огороженим інструментом. При проведенні розрахунків на міцність огорож, необхідно враховувати ймовірність вильоту та удару об огорожу заготовок і ріжучого інструменту.

Перед початком роботи потрібно перевірити справність обладнання, гальмівних пристроїв на холостому ході, а також перевірити на справність та наявність дефектів ріжучий інструмент та засоби для закріплення деталей для уникнення ймовірності їх вильоту внаслідок недостатнього закріплення. Не допускати при роботі різних змін режимів різання для того, щоб уникнути можливості руйнування інструменту або порушення закріплення деталі.

Для захисту від можливих порізів, опіків та травм, пов'язаних з вильотом стружки необхідно надати робітнику засоби індивідуального захисту

(спеціальний одяг, спеціальне взуття, засоби захисту рук, очей) згідно НПАОП 0.00-4.01-08 «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» [5].

Засоби колективного захисту повинні бути передбачені згідно ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация».

Мінімальна відстань від проходу до фронтальної частини верстата повинна становити 1 м, до бокової та тильної сторони 0,5 м. Ширина проходів складає 1,4 -2.5 м, зона робітника приймається рівною 0,8 м, ширина проїзду – 4.5м.

Розташування обладнання з точки зору безпеки та ергономіки відповідає вимогам ГОСТ ДСТУ 7234:2011 «Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки» [6].

Робітники повинні утримувати робоче місце в чистоті, не захаращувати його деталями, металевими відходами, сміттям. Під час роботи не вживати алкогольні напої, дотримуватися вимог санітарних норм та правил особистої гігієни.

Для здійснення безпечної, безаварійної та високопродуктивної роботи електроустановок необхідно правильно організовувати їх експлуатацію для уникнення можливості помилок зі сторони обслуговуючого персоналу.

Для усунення ймовірності ураження електричним струмом в лабораторії с електрообладнанням, що здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ-2014» [7], електрообладнання на ділянці характеризується як електроустановки до 1000 В, передбачаються організаційні та технічні заходи. До організаційних відносять проведення навчання правилам електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [1]. До технічних заходів відноситься захисне заземлення, що передбачається згідно ГОСТ 12.1.030-81 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление,

зануление» [8], величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Дія електричного струму на організм людини має декілька особливостей:

- несподіваність ураження, яка пов'язана із відсутністю у людини органів чуття (рецепторів), за допомогою яких можна виявити напругу на відстані;
- можливість дистанційної дії, що проявляється в ураженні людини через електричну дугу, або крокову напругу;
- рефлекторна дія через центральну нервову систему, яка призводить до порушення роботи серця і легенів.

Електричний струм, проходячи через організм людини спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дію.

Термічна дія струму полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи із неї, що викликає опіки, обвуглювання тканин та їх розриви парою. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору його проходженню та часу проходження.

Електролітична дія струму проявляється в електролізі крові та плазми, що призводить до зміни їхніх фізико-хімічних та біохімічних властивостей.

Біологічна дія струму проявляється у подразненні і збудженні тканин організму. Збудження тканин внаслідок прямої (контактної) дії струму може проявлятися у вигляді мимовільного, непередбачуваного скорочення м'язів. Непряма дія струму (рефлекторна) відбувається через центральну нервову систему, до якої надходять імпульси від збуджених під дією електричного струму рецепторів. Центральна нервова система опрацьовує інформацію і надсилає відповідні імпульси до систем організму щодо нормалізації процесів життєдіяльності у відповідних тканинах та органах. Якщо кількість імпульсів, що надходить від збуджених рецепторів занадто велика настає перевантаження інформацією центральної нервової системи внаслідок чого вона може видавати недоцільну команду, що може призвести до серйозних порушень діяльності серця та легенів, навіть якщо ці органи і не знаходяться на шляху проходження струму [9].

Ураження електричним струмом поділяються на місцеві – електричні травми та загальні – електричні удари.

Електричні травми – це місцеві ураження, серед яких розрізняють: електричні опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, електрофтальмія, механічні пошкодження.

Електричний опік в залежності від умов виникнення може бути контактним і дуговим. Контактні струмові опіки мають місце в електроустановках напругою до 1000 В, вони виникають в місцях контакту людини із струмоведучими неізовльованими елементами електроустановок. В місцях контакту виділяється значна кількість тепла за рахунок великої густини струму та підвищеного опору, який створює шкіра людини. Тяжкість ураження за таких умов залежить від величини струму, часу його дії та опору людини. Дугові опіки мають місце в установках, напругою більше 1000 В і, як правило, більш тяжкі (III або IV ступеня). В електроустановках напругою 6...10 кВ дугові опіки є результатом випадкових коротких замикань при виконанні робіт в електроустановках. Електрична дуга виникає між елементами електроустановки, тому струм через тіло людини в даному випадку не проходить і небезпека обумовлюється тепловою дією струму.

Електричні знаки – це різко окреслені плями сірого або блідо-жовтого кольору на поверхні тіла людини в місці контакту з струмоведучими елементами. Зазвичай знаки мають круглу, овальну форму або форму струмоведучого елемента, до якого доторкнулась людина, розмірами до 10 мм з поглибленням у центрі, а іноді – форму мікроблискавки. Особливого болювого відчуття електричні знаки не спричиняють і з часом безслідно зникають.

Металізація шкіри – проникнення у верхні шари шкіри дрібних часток металу, який розплавився під дією електричної дуги. На ураженій ділянці тіла при цьому відчувається біль від опіку за рахунок тепла, занесеного в шкіру металом, і напруження шкіри від присутності в ній часток металу. В більшості випадків одночасно із металізацією шкіри мають місце дугові опіки.

Електрофтальмія – запалення поверхневих слизових оболонок очей в результаті дії ультрафіолетових променів, які утворюються електричною дугою. Електрофтальмія розвивається через 2 – 6 годин після опромінення і проявляється у формі почервоніння і запалення шкіри та слизових оболонок повік, слъозоточінні, гнійних виділеннях, світлоболях і світлобоязні. Тривалість захворювання 3...5 днів.

Механічні ушкодження спричиняються непередбачуваним судомним скороченням м'язів у результаті подразнювальної дії струму. В результаті таких судомних скорочень м'язів можливі розриви сухожиль, шкіри, кровоносних судин, нервових клітин, вивихи суглобів, переломи кісток.

Загальні електричні травми або електричні удари – це порушення діяльності життєво важливих органів або всього організму людини як наслідок збудження живих клітин організму електричним струмом, яке супроводжується судомним скороченням м'язів. При цьому зовнішні місцеві ушкодження можуть бути відсутні. В залежності від наслідків ураження розрізняють 4 групи електричних ударів.

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів, що забезпечують захист людей від небезпечної і шкідливої дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, статичної електрики. Вимоги електробезпеки викладено в ГОСТ 12.1.019-79 «ССБП. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту»

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом [10].

Недоступність розташування струмопровідних частин досягається розміщенням їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують у всіх випадках, якщо напруга перевищує:

- 65 В – в приміщеннях без підвищеної небезпеки;
- 42 В – в приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- 12 В – в приміщеннях особливо небезпечних.

Застосування малих напруг – дуже ефективний захист від ураження електричним струмом. Для живлення кіл управління технологічним обладнанням, встановленим в особливо небезпечних приміщеннях і приміщеннях з підвищеною небезпекою; кіл управління пересувного устаткування і для живлення ручного інструменту використовують напругу не вище 42 В. На шафах і пультах управління обладнанням розміщують штепсельні розетки з напругою не вище 12.

Захисне заземлення – свідоме електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустаткування. Вимоги до захисного заземлення викладено в ГОСТ 12.1.030-81 «ССБП. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення». Дотик до незахищеного корпусу, який виявився під напругою, рівнозначний однофазному ввімкненню людини в електричну мережу. Мета заземлення – понизити до безпечної величини напругу відносно землі на металевих частинах електроустаткування, які випадково виявилися під напругою, і цим усунути небезпеку ураження людей електричним струмом. В установках напругою до 1000 В опір захисного заземлення в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом (з потужністю джерела струму 100 кВА і менше опір заземлення допускається не більше 10 Ом). Оскільки опір заземлення значно менший за опір тіла людини (1000 Ом), то у випадку її дотику до пошкодженого електроустаткування найбільший за величиною струм пройде через заземлюючий пристрій. Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювачів – металевих провідників, які з'єднані з землею, і заземлюючих

провідників, які з'єднують заземлювані частини електроустаткування з заземлювачами. Заземлювачі бувають штучні та природні.

Занулення – свідоме електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмонепровідних частин, які можуть виявитися під напругою. Занулення повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.030-81. У електричних мережах розрізняють нульовий захисний (N3) і нульовий робочий (NP) провідники. Нульовий захисний провідник служить для з'єднання занулюваних частин устаткування з глухо заземленою нейтраллю джерела струму; нульовий робочий провідник – для підключення до основної мережі напругою 380 В освітлювальних приладів, машин і електроапаратів, які працюють за фазової напруги (220 В). Мета занулення – перетворити витік струму на корпус в однофазне коротке замикання між фазовим і нульовим заземленням, коли пошкоджене устаткування автоматично вимикається від мережі, яка його живить. Для захисту від струмів короткого замикання можуть використовуватися плавкі запобіжники чи автоматичні вимикачі з часом спрацьовування відповідно 5,7 і 1,2 с.

Захисне вимкнення – швидкодійний захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження струмом. Така небезпека може виникнути у випадку:

- замикання фази на корпус електроустаткування,
- пониження опору ізоляції фаз відносно землі,
- появи в мережі більш високої напруги,
- торкання людини до струмопровідних частин.

У цих випадках у мережі змінюються деякі електричні параметри (напруга, струм, опір), що може бути імпульсом, який викликає спрацьовування захисту – відключення пристрою.

Блокування застосовується в електроустановках напругою вище 220 В, в яких часто ведуться роботи на струмоведучих частинах, що огорожуються. Блокування забезпечує зняття напруги із струмоведучої частини і електроустановки під час проникнення до них без зняття напруги.

Часто використовується звукова та світлова сигналізація, надписи, плакати та інші засоби інформації, що попереджують про небезпеку

За призначенням електрозахисні засоби поділяються на ізолюючі (діелектричні рукавиці, боти, калоші, килимки, ізольовані підставки, інструмент з ізолюючими ручками, ізолюючі штанги, кліщі тощо), огорожувальні (переносні огороження, заземлення тощо) та запобіжні (пояси, захисні окуляри, каски, спеціальні рукавиці) Засоби індивідуального електрозахисту є захисні костюми, взуття і рукавиці [9].

5.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249.

Метеорологічні умови (температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення) відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [11] і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [12]. На механічній дільниці роботи виконуються стоячи, належать до категорії П₆ – робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 18-20°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Неправильне проектування або несправність систем опалення та вентиляції в приміщенні може призвести до негативних впливів на здоров'я

працівників у вигляді простудних захворювань, перегрівань, проблем із дихальними шляхами тощо. Для запобігання запиленості та загазованості приміщення пилом і парами речовин, що утворюються при випаровуванні змащувально-охолоджувальної рідини та мастил передбачена система вентиляції, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования» [13]. При розрахунках та виборі системи вентиляції враховується повітрообмін (процес заміни відпрацьованого і забрудненого повітря у виробничому приміщенні свіжим за допомогою природної і (або) механічної вентиляції). Величина обміну повітря, м/год, – один з головних показників, необхідних для проектування будь-якої з систем вентиляції виробничого приміщення. Обмін повітря розраховуватись так, щоб концентрація шкідливих речовин (пари, гази, волога, пил або аерозолі та ін.) в приміщенні під час роботи вентиляції не перевищувала допустимих рівнів чи гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК деяких шкідливих речовин встановлюються згідно ГОСТ 12.1.005- 88 і ДСН 3.3.5.042 — 99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Рівень шуму в робочих кімнатах та лабораторіях не повинен перевищувати 65 дБ згідно вимог ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», а на механічній дільниці - 80дБ. При організації робочого місця необхідно приймати всі необхідні заходи для зменшення шуму, який впливає на людину на робочих місцях до значень, котрі не перевищують допустимі. Це досягається за рахунок розробки, застосування засобів і методів колективного та індивідуального захисту, використання сучасної техніки з більш меншим виділенням шуму а також це повинно враховуватись при проектуванні підприємств, будівель та споруд різного призначення [14].

Оцінку впливу рівня вібрацій проводиться за ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної

вібрації на людину». Необхідно дотримуватися санітарних норм при роботі з наявністю вібрацій згідно ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій». При роботі, яка супроводжується вібраціями необхідно робити перерву через кожні 10-15 хвилин роботи. Потрібно зменшувати вібрації за рахунок застосувань конструктивних і технологічних методів, застосовувати засоби віброізоляції та вібропоглинання, своєчасно проводити плановий та попереджувальний ремонт обладнання. Потрібно застосовувати заходи лікувально-профілактичного характеру: професійні та профілактичні огляди, вітамінізація, лікувальні гімнастика та масаж рук. Для профілактичного лікування та відпочинку працюючих повинні бути організовані профілакторії та кабінети і кімнати, де проводять масаж рук у струмені теплого повітря або сухий обігрів та мікромасаж на спеціальному обладнанні [9].

При проведенні робіт за металорізальним обладнанням необхідно застосовувати систему комбінованого освітлення. Освітленість при роботі за верстатом в зоні обробки повинна бути не менше 2 000 лк, що досягається за рахунок місцевого освітлення, яке передбачається конструкцією обладнання. Вимоги природного та штучного освітлення в приміщеннях повинні виконуватись згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» [15]. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк, якщо ці значення неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення. Штучне освітлення – освітлення будинків, приміщень, споруд та створення зовнішнього освітлення за допомогою спеціальних електроосвітлювальних установок – світильників. Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення. Правильно спроектоване та виконане освітлення забезпечує можливість нормальної діяльності, зберігає зір людини, стан його центральної нервової системи. В значній мірі від умов освітленості залежить безпека та продуктивність праці. На механічній дільниці рівень загального освітлення

становить 200 люкс. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C ;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Розрахуємо систему загального рівномірного штучного освітлення в приміщенні, де поводяться дослідження та виконуються роботи на ПК.

Приймаємо розміри приміщення довжина $A = 6\text{м}$, ширина $B = 4\text{м}$, висота $H = 4\text{ м}$, висота робочої поверхні складає $h = 0,7\text{м}$.

Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» освітлення в кабінеті масажу нормуються як $E_n = 200\text{ Лк}$.

Розряд зорової роботи – III г.

Коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення (від: стелі – ρ_c ; стін – $\rho_{ст}$; підлоги – $\rho_{п}$) у світлому приміщенні $\rho_c=70\%$; $\rho_{ст}=50\%$; $\rho_{п}=30\%$;

Обираємо світильник типу ЛВП (IP=54 – ступінь захисту світильника, $[L/h] = 1,3$ – числове значення коефіцієнта світильника).

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. Приймаємо $k_z = 1,4$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), для люмінесцентних ламп низького тиску, як правило дорівнює $z = 1,1$.

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * [L/h]} = \frac{4}{(4 - 0,7) * 1,3} = 0,93 \approx 1$$

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p},$$

де B – ширина приміщення, N_p – кількість рядів

$$L_{\max} = \frac{4}{1} = 4 \text{ м}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}$$

$$h = \frac{4}{1,3} = 3,07 \text{ м}$$

Знайдемо висоту звисання світильника від стелі

$$h_3 = H - h_p - h$$

де H – висота приміщення, h_p – висота робочої поверхні, h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

$$h_3 = 4 - 0,7 - 3,07 = 0,23 \text{ м}$$

Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}$$

де A – довжина приміщення, $м$;

B – ширина приміщення, $м$;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, $м$

$$i = \frac{6 \cdot 4}{3,07 \cdot (6 + 4)} = \frac{24}{30,7} = 0,78$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$) та індексу приміщення. В нашому випадку $\eta = 0,38$.

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta},$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, *лм*;

E_n – нормоване значення освітленості, *лк*;

S – площа освітлюваної поверхні, *м²*;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,38} = \frac{7392}{0,38} = 19452 \text{ лм}$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = AB/L_{\max}^2$$

$$N^* = \frac{6 \cdot 4}{16} = 1,5 \approx 2 \text{ шт}$$

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\Sigma}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\Sigma}}, \text{ лм}$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, *лм*;

N_{Σ} – загальна кількість ламп у приміщенні, *шт*;

$$N_{\Sigma} = N^* \cdot n$$

n – кількість ламп у світильнику (в ЛВП світильнику знаходиться 2 лампи)

$$N_{\Sigma} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт.}$$

Тоді,
$$\Phi_{\Sigma} = \frac{19452}{4} = 4863 \text{ лм}$$

Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи Φ_{Σ} і знайти коефіцієнт m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи Φ_{Σ}^* та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи Φ_{Σ}):

Обираємо лампу ЛБ 65, $\Phi_{\Sigma} = 4800 \text{ лм}$

$$m = \frac{\Phi_{\Sigma}^*}{\Phi_{\Sigma}}$$

$$m = \frac{4863}{4800} = 1,01$$

Визначаємо оптимальну (фактичну) кількість світильників у приміщенні:

$$N = N * m$$

$$N = 2 * 1,01 = 2 \text{ шт.}$$

Фактична кількість ламп у приміщенні:

$$N_{\text{фл}} = N_{\text{ф}} \cdot n$$

$$N_{\text{фл}} = 2 * 2 \text{ шт.}$$

Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_l N_{\text{фл}} \eta}{Sk_z}, \text{ лк}$$

$$E_p = \frac{4800 * 4 * 0,38}{6 * 4 * 1,4 * 1,1} = \frac{7296}{36,96} = 197,4 \text{ лк}$$

Тобто виконується умова $E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_n, \text{ лк}$

Розрахуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{фл}} \cdot P_l, \text{ Вт}$$

де P_l – потужність вибраної стандартної лампи.

$$P_{\Sigma} = 4 * 65 = 260 \text{ Вт}$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежі представляють собою велику загрозу життю та здоров'ю працівників та можуть призвести до величезних матеріальних збитків. Питання забезпечення пожежної безпеки будівель і споруд має велике значення та регламентується спеціальними державними постановами і рішеннями. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту згідно НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Ці

правила встановлюють загальні вимоги з пожежної безпеки до будівель, обладнання, майна.

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», механічна дільниця належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали [16].

Згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні дослідницької лабораторії, обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класу – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В), на дільниці також можливі пожежі класу А [17].

Причинами пожежі можуть бути: несправність електрообладнання (коротке замикання, перевантаження); тривале перевантаження двигунів, приводів; порушення ізоляції, потрапляння іскор або стружки з високою температурою на легкозаймисті матеріали або спецодяг.

Оскільки механічна дільниця та приміщення дослідницької лабораторії, належать до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості [18].

У разі виникнення пожежі у приміщенні для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується у адміністративних приміщеннях та становить 75 метрів у цеху.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дільниці, дослідницької лабораторії, конструкторського бюро,

тощо) встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика. Пожежна сигналізація використовується для виклику пожежних команд при виникненні пожеж. До основних елементів пожежної сигналізації належать: повідомлювачі (сигнал тривоги про пожежу), які встановлюються поза або всередині споруди; приймальні апарати або установки для приймання і фіксації сигналів від повідомлювачів; повітряні або кабельні лінії, які з'єднують повідомлювачів з пожежною службою (найчастіше це телефонний зв'язок за номером 01).

Система пожежної сигналізації повинна швидко виявляти місце виникнення пожежі; надійно передавати сигнал про пожежу на приймально-контрольний прилад, а також до пункту прийому сигналів про пожежу; перетворювати сигнал про пожежу у форму, зручну для сприймання персоналом захищаного об'єкта; залишатися нечутливою до впливу зовнішніх факторів, що відмінні від факторів пожежі; швидко виявляти та передавати сповіщення про несправності, що перешкоджають нормальному функціонуванню системи.

Для даної категорії приміщення і класу пожежі рекомендується оснащувати приміщення порошковими вогнегасниками місткістю 5л в кількості 2 шт згідно «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників», затверджені наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстровані в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677. В порошкових вогнегасниках джерелом гасіння є сухий порошок. Призначаються для гасіння твердих, рідких та газоподібних речовин, а також для матеріалів, які тліють. Рекомендуються для гасіння електроустановок з напругою до 1000 В. Зберігати потрібно у вертикальному стані в легкодоступному місці, захищеному від прямих сонячних променів і далеко від нагрівальних приладів.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Заходи щодо захисту робітників і службовців промислового об'єкта та непрацюючого населення у випадку аварії на радіаційно-небезпечному об'єкті.

При аваріях на АЕС, на підприємствах атомної промисловості з викидом у зовнішнє середовище радіоактивних продуктів може бути радіоактивне зараження за межами території станції. Це призведе до опромінення населення і забруднення навколишнього середовища вище допустимого рівня, встановленого для нормальної роботи АЕС. При цьому на службовців впливає гама-опромінення. При отриманні сигналу про аварію на АЕС робоча зміна ховається у сховищах, а населення — у захисних спорудах. При цьому одягаються засоби індивідуального захисту, береться запас їжі, води, предметів першої необхідності. Якщо обставини змушують людей ховатись у квартирах або у виробничих приміщеннях, то потрібно провести герметизацію: прикрити тканиною вікна, у будинках з пічним опаленням перекрити труби. Слід пам'ятати, що дози опромінення значно менші під час перебування людей у різних будинках і спорудах. На зараженій місцевості потрібно поводитись дуже обережно: використовувати засоби індивідуального захисту, не ходити без потреби по вулиці. При виході зі сховища необхідно вдягати засоби індивідуального захисту органів дихання й шкіри. Режим поведінки людей на місцевості, зараженій радіонуклідами, їх трудова діяльність, час перебування у сховищах, укриття та інші питання вирішують органи самоврядування на підставі даних штабів ЦО. З населенням проводиться медична профілактика шляхом прийому протирадіаційних препаратів до і після опромінення.

У зв'язку з тим, що територія в радіусі 30 км підлягає тривалому радіоактивному зараженню, основним засобом захисту є евакуація. В першу чергу евакуюються діти дошкільного віку. В цьому разі збірні евакопункти не створюються, а евакуація проводиться безпосередньо від будинків. Евакуація проводиться на автомашинах і пішки у два етапи. На першому етапі людей підвозять транспортом до контрольно-перевірочного пункту і висаджують там. На

другому етапі евакуйовані проходять дозиметричний контроль, медичний огляд, при необхідності санітарну обробку і чистим транспортом розвозяться по пунктах розселення. Основним шляхом проникнення радіоактивних речовин в організм є органи дихання, травлення, шкіра. При проведенні ліквідації використовують протигази, респіратори, костюми Л-1. Одягати і знімати їх дозволяється тільки у спеціально відведених місцях. Після закінчення робіт необхідно пройти дозиметричний контроль для визначення ступеня ураження засобів індивідуального захисту, шкіри, потім пройти санітарну обробку. На ураженій території заборонено їсти, пити, лежати і сидіти на землі.

У даний час на основі світового і вітчизняного досвіду розроблено систему захисту людини від пошкоджуючих дій ядерного впливу. Ця система передбачає використання передусім природних факторів, котрі супроводжують повсякденне життя кожної людини і визначає 12 правил захисту медицини. Ось деякі з них:

- генозахисне харчування (воно врятувало генофонд японців від наслідків Хіросіми і Нагасакі);
- очищення організму від радіонуклідів, хімічних і біологічних генотоксикантів;
- методи стимуляції захисних сил організму, біотехнологія генозахисної дії продуктів бджолярства;
- навчання методів корекції психіки (аутотренінг, медитація).

Для попередження чи зменшення впливу на організм радіоактивних речовин необхідно:

- максимально обмежити перебування на відкритій території, гіри виході з приміщення використовувати підручні засоби індивідуального захисту (респіратор, пов'язка, плащ, гумові чоботи);
- під час перебування на відкритій території' не роздягатися, не сідати на землю, не курити;
- перед тим, як увійти в приміщення, взуття помити водою або витерти вологою ганчіркою, одяг почистити вологою щіткою;

- суворо дотримуватись правил особистої гігієни;
- в усіх приміщеннях, підготовлених для перебування людей, щоденно проводити вологе прибирання, бажано з використанням миючих засобів;
- приймати їжу тільки у закритих приміщеннях, ретельно мити руки з милом перед вживанням їжі і полоскати рот 0,5-процентним розчином питної соди;
- воду вживати тільки з перевірених джерел, а продукти харчування — придбані через торговельну мережу;
- сільськогосподарські продукти індивідуальних господарств, особливо молоко, зелень, овочі та фрукти, вживати в їжу тільки за рекомендацією органів охорони здоров'я;
- не купатися у відкритих водоймах до перевірки ступеня їх радіоактивного забруднення;
- не збирати у лісі ягоди, гриби і квіти [19].

ВИСНОВКИ

Необхідність вирішення питань безпеки зумовлює формування цілісної системи знань з проблем охорони праці, необхідних для прийняття за будь-яких умов обґрунтованих рішень щодо безпеки на рівні людини, колективу, підприємства, галузі, регіону й суспільства в цілому. У сфері виробничої діяльності рівень виробничого травматизму залишається високим, що є наслідком дії ряду чинників.

До них можна віднести недоліки в організації праці, порушення трудової і технологічної дисципліни, недостатню навченість персоналу, відсутність нагляду й контролю за безпечним виконанням робіт і дотриманням норм законодавчої бази.

6 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТОНКОСТІННИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ AI-20, AI-24 НА ПРИКЛАДІ ДВИГУНА ТУРБИНИ КОМПРЕСОРА ДВИГУНА AI-24 ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ANSYS МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

6.1 Статична міцність елементів роторів і корпусів газотурбінних двигунів

Як відомо, ротори і корпуси газотурбінних двигунів складаються з великого числа елементів, певним чином з'єднаних між собою. Окремі елементи роторів і корпусів і їх з'єднання відчувають силові і теплові дії високої інтенсивності, що роблять негативний вплив на міцність матеріалів. Найбільш навантаженими є вали турбін, шліцьові і штифтові з'єднання, стягнуті елементи роторів і оболонки корпусів.

Метою даної роботи є визначення напружено-деформованого стану вала, виявлення найбільш навантажених елементів, які мають концентратори напружень, і розробка рекомендацій щодо підвищення несучої здатності валу.

Вал турбіни сприймає всі види навантажень, що діють на ротор двигуна. Ці навантаження можна розділити на внутрішні, створювані елементами ротора в процесі роботи двигуна, і зовнішні, які виникають при еволюціях повітряного судна в польоті. Внутрішніми навантаженнями є, наприклад, відцентрові сили інерції нерівноважених мас ротора, сила його тяжкості. Зовнішні навантаження, що передаються на ротор від елементів конструкції повітряного судна при його еволюціях, призводять до появи сил інерції (осьових і поперечних) і гіроскопічних моментів.

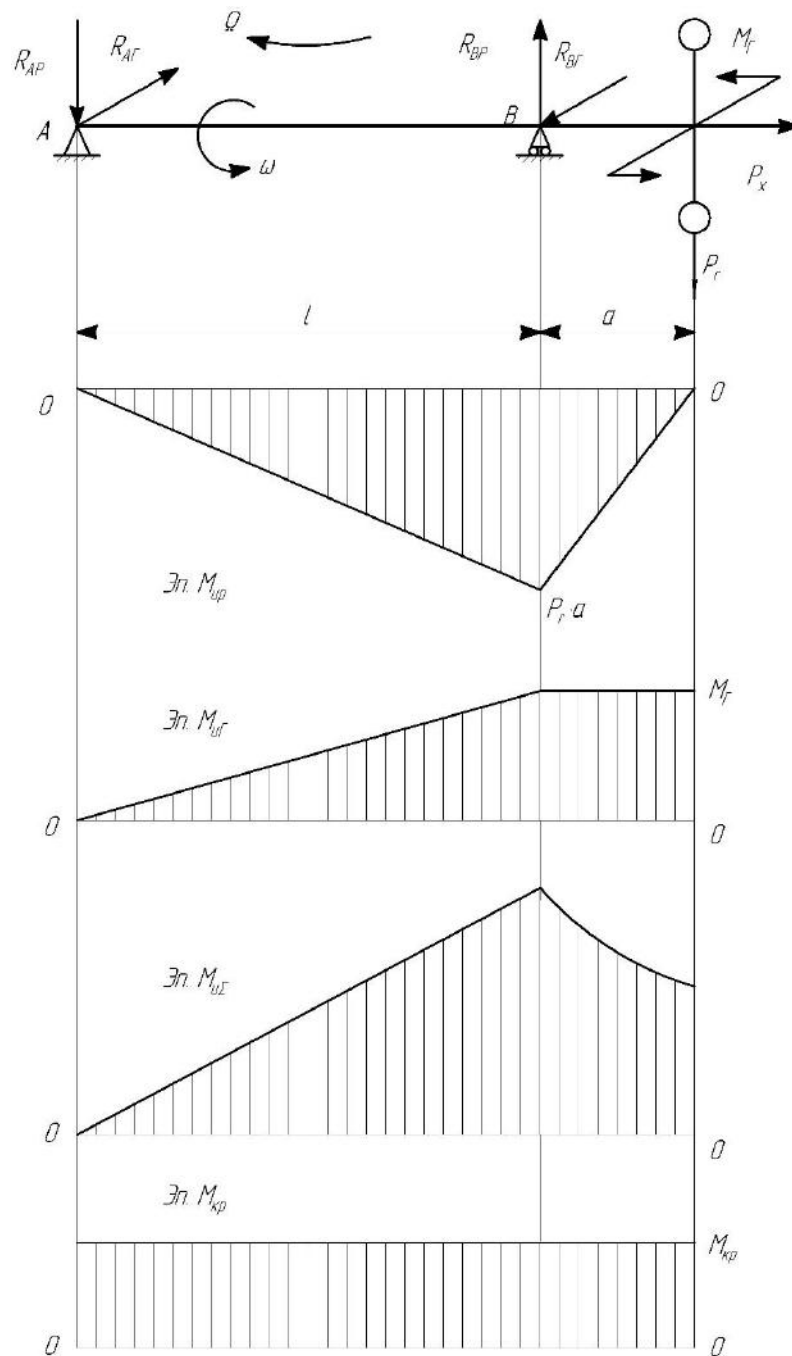
6.2 Визначення діючих навантажень

Величини навантажень в розрахункових перетинах і напружений стан вала істотно залежать від його розрахункової схеми.

Розрахункові схеми валів складають відповідно до типу конструкції роторів турбіни і компресора, числом дисків і їх розташуванням щодо опор.

Розрахункова схема вала турбіни компресора двигуна АІ-24 наведена на малюнку 6.1.

Малюнок 6.1 - Розрахункова схема консольного закріплення вала турбіни



При побудові розрахункової схеми масу ротора вважають зосередженої в центрах мас диска або всього ротора. Вал приймають невагомим. Роликові

підшипники приймають у вигляді шарнірно-рухомих опор (опора В на мал. 6.1), а вузол з'єднання вала турбіни з валом компресора вважають шарнірно-нерухомими опорами (опора А на мал. 6.1).

Всі види навантажень, що діють на вал турбіни, можна звести у напрямку їх дії до окружних, поперечним і осьовим силам, які викликають кручення, вигин і розтягнення вала і формують в ньому складний напружений стан.

Крутний момент створюють окружні газодинамічні сили, що передаються на вал від робочих лопаток турбіни. Величину крутного моменту можна знайти за співвідношенням:

$$M_{кр} = \frac{N_T}{\omega} = \frac{1913600}{1570} = 1218 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (6.1)$$

де $N_T = 1913600 \text{ Вт}$ - потужність турбіни,

ω - кутова швидкість обертання ротора:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 15000}{30} = 1570 \text{ рад/с} \quad (6.2)$$

де n = частота обертання ротора 15000 об / хв.

Осьова сила, що передається на вал від одного робочого колеса турбіни, з достатньою точністю може бути обчислена за формулою:

$$\begin{aligned} P_x = \pi \cdot D_{cp} \cdot h_l \cdot (p_1 - p_2) + G_r \cdot (C_{1a} - C_{2a}) \pm P_{xj} = 3,14 \cdot 0,2475 \times \\ \times 0,0792 \cdot (866907,86 - 781590,005) + 31,04 \cdot (150 - 130) \pm \\ \pm 21139,57 = 27011 \text{ Н} \end{aligned} \quad (6.3)$$

де $D_{cp} = 0,2475 \text{ м}$ - середній діаметр проточної частини робочого колеса,

$h_l = 0,0792 \text{ м}$ - висота робочих лопаток,

$p_1 = 866907,86 \text{ Па}$ - тиск газу перед робітниками лопатками,

$p_2 = 781590,005 \text{ Па}$ - тиск газу за робочими лопатками,

$G_r = 31,04 \text{ кг} / \text{с}$ - витрата газу через турбіну,

$C_{1a} = 150 \text{ м} / \text{с}$ - осьові швидкості газу на вході в робоче колесо,

$C_{2a} = 130 \text{ м} / \text{с}$ - осьові швидкості газу на виході з робочого колеса,

P_{xj} - осьова сила інерції мас ротора, що виникає при розбігу і гальмуванні літака (позитивний напрямок для цієї сили збігається з напрямком потоку газу).

Величину сили P_{xj} зручно визначати як добуток сили тяжіння (ваги) ротора P_m і коефіцієнта експлуатаційної перевантаження K_j : $P_{xj} = P_m \cdot K_j$, де коефіцієнт K_j , для розбігу літака можна приймати рівним 2, а для гальмування - 3. Сила тяжіння ротора може бути визначена по відомим співвідношенням: $P_m = m_r \cdot g$, Де m_r - маса ротора; g - прискорення сили тяжіння ($g = 9,81 \text{ м} / \text{с}^2$). Маса ротора m_r , в свою чергу, визначається як: $m_r = P_{\text{лоп}}^m + P_{\text{дис}}^m = 2,6 + 1074,85 = 1077,45 \text{ Н}$, де $P_{\text{лоп}}^m = 2,6 \text{ Н}$ - маса лопаток турбіни, $P_{\text{дис}}^m = 1074,85 \text{ Н}$ - маса дисків турбіни.

Тоді $P_m = 1077,45 \cdot 9,81 = 10569,78 \text{ Н}$, а $P_{xj} = 10569,78 \cdot 2 = 21139,57 \text{ Н}$.

Як розрахунковий режим при визначенні осьової сили доцільно приймати злітний режим при розгоні літака, коли сила P_{xj} позитивна.

Епюри осьових сил для розрахункових схем роторів, наведених на мал. 6.1, будуть такими ж, як і епюри крутних моментів.

Поперечна сила, що прикладається до зосереджених мас ротора, дорівнює сумі сил:

$$P_r = P_m + P_{rn} + P_{rj} \quad (6.4)$$

де P_m - сила тяжіння ротора; P_{rn} - радіальна сила інерції невіднованих мас ротора (обертається радіальне навантаження); P_{rj} - відцентрова сила інерції, що виникає при криволінійних еволюціях повітряного судна у вертикальній площині (при еволюціях в горизонтальній площині цю силу необхідно підсумовувати з іншими геометрично, по співвідношенню $P_r = \sqrt{(P_m + P_{rn})^2 + P_{rj}^2}$. Величину сили P_{rj} можна визначити через коефіцієнт експлуатаційного

перевантаження K_j , який для розрахункового режиму виходу літака з крутого планування слід приймати рівним $K_j = 3 \dots 4$.

$$P_{rj} = P_m \cdot K_j = 10569,78 \cdot 3,5 = 36994,25 \quad (6.5)$$

Неврівноваженість ротора характеризують величиною статичного дисбалансу ($m_\delta \cdot r$), що представляє собою твір незбалансованої маси і радіусу її розташування. Для сучасних роторів ($m_\delta \cdot r$) = 10 ... 50 г·см. При відомій величині ($m_\delta \cdot r$) радіальну силу інерції неуврівноважених мас ротора визначають по співвідношенню:

$$P_{rn} = (m_\delta \cdot r) \cdot \omega^2 \cdot 10^{-5} = 25 \cdot 1570^2 \cdot 10^{-5} = 616,23H \quad (6.6)$$

$$\text{тоді } P_r = P_m + P_{rn} + P_{rj} = 10569,78 + 616,23 + 36994,25 = 48180,26H .$$

Згинальний момент M_{up} (див. мал. 6.1) від сили Pr , можна знайти методами опору матеріалів, визначивши зусилля реакції в опорах ротора даної розрахункової схеми. Зокрема зусилля реакції в опорах від дії сили Pr рівні:

$$R_{AP} = \frac{P_r \cdot a}{l} = \frac{48180,26 \cdot 0,07}{0,37} = 9115,18H \quad (6.7)$$

$$R_{BP} = P_r \cdot \frac{1+a}{l} = 48180,26 \cdot \frac{1+0,07}{0,37} = 139332,09H \quad (6.8)$$

Максимальний згинальний момент виникає на опорі В і має значення

$$M_{up}^{\max} = P_r \cdot a = 48180,26 \cdot 0,07 = 3372,62H \cdot m \quad (6.9)$$

Гіроскопічний момент створюють радіальні коріолісові сили інерції мас ротора, що виникають під дією зовнішніх сил при криволінійних еволюціях повітряного судна. Величина гіроскопічного моменту M_Γ пропорційна масовому полярному моменту інерції ротора J_p , кутової швидкості його обертання ω і кутової швидкості повороту повітряного судна при еволюціях Ω :

$$M_{\Gamma} = J_p \cdot \omega \cdot \Omega \quad (6.10)$$

Момент M_{Γ} діє в суміщеній площині векторів $\vec{\omega}$ і $\vec{\Omega}$ в напрямку повороту першого вектора до другого по найкоротшому шляху.

Масовий полярний момент інерції ротора J_p є мірою його інертності в обертальному русі і визначається відомими співвідношеннями

$$J_p = \int_{V_p} r^2 dm = \int_{V_p} \rho r^2 dV, \text{ Де } V_p - \text{об'єм, який займає конструкцією ротора. У}$$

приблизних розрахунках масовий полярний момент інерції ротора можна оцінити за емпіричною формулою:

$$J_p = k_p z D_n^4 \cdot 10^{-7} = 0,95 \cdot 3 \cdot 50,9 \cdot 10^{-7} = 1,91 \text{ см}^4 \quad (6.11)$$

де k_p - емпіричний коефіцієнт (для турбіни $k_p = 0,95 \dots 1,05$),

z = число ступенів турбіни 3;

D_n = зовнішній діаметр ротора 50,9 см.

Необхідну для розрахунку гіроскопического моменту кутову швидкість еволюції повітряного судна Ω визначають за формулою:

$$\Omega = \frac{g K_j}{V_n} = \frac{9,81 \cdot 3,5}{111,11} = 0,31 \text{ с}^{-1} \quad (6.12)$$

де K_j - коефіцієнт експлуатаційного перевантаження при еволюції, який для розрахункового режиму виходу літака з крутого планування слід приймати рівним $K_j = 3 \dots 4$,

V_n = швидкість польоту 111,11 м / с;

g = прискорення вільного падіння 9,81 м / с².

Для побудови епюри згинальних моментів M_{uz} від гіроскопічного моменту M_z необхідні зусилля реакції в опорах. Вони визначаються наступним чином:

$$R_{AG} = R_{BG} = \frac{M_G}{l} = \frac{928,11}{0,37} = 2508,41H \quad (6.13)$$

Сумарний згинальний момент. У режимі виходу літака з крутого планування гіроскопічний момент діє в горизонтальній площині, а момент від поперечної сили - у вертикальній. Тому сумарний згинальний момент в будь-якому перетині вала необхідно визначати за правилом векторного підсумовування:

$$M_{u\Sigma} = \sqrt{M_{up}^2 + M_G^2} = \sqrt{3372,62^2 + 928,11^2} = 3497,99H \quad (6.14)$$

6.3 Визначення напружено-деформованого стану вала методом кінцевих елементів

Проведення розрахунків на міцність, що враховують все різноманіття поведінки реальних конструкцій стає все більш актуальним.

Тенденції розвитку сучасного газотурбінного двигунобудування, які визначають за вимогами економічності, характеризуються ростом питомих параметрів двигуна, зменшенням маси конструкції, збільшенням навантажень, що діють на вузли та основні деталі.

Широко використані одномірні моделі валів в даний час вже не можуть задовольнити вимогам великої точності розрахунків. Один із шляхів вирішення проблеми пов'язаний з розглядом більш точних математичних моделей об'ємного напружено-деформованого стану валів чисельними методами розрахунку, реалізованими в методі кінцевих елементів.

ANSYS - це універсальний так званий «важкий» кінцевоелементний пакет, призначений для вирішення в єдиному середовищі (і на одній і тій же кінцевоелементній моделі) завдань: міцності, теплофізики, електромагнетизму, гідрогазодинаміки, багатодисциплінарного пов'язаного аналізу, що об'єднує всі

чотири типи перерахованих вище задач, оптимізації на основі всіх наведених типів аналізу.

Аналітичні можливості програмного комплексу дозволяють вирішувати завдання статичної та динамічної міцності, використовуючи при цьому як лінійну, так і нелінійну постановки завдання. Нелінійні моделі можуть містити геометричну і фізичну нелінійність моделі.

Завдяки цьому система ANSYS дозволяє максимально наблизити результати розрахунку до реального стану розраховуємого тіла.

Система ANSYS володіє широким діапазоном можливостей за рішенням інженерних задач методом кінцевих елементів.

Метод кінцевих елементів є досить поширеним чисельним методом, використовуваним в даний час інженерами і вченими для вирішення завдань механіки твердого тіла, що деформується, термодинаміки, гідроаеродинаміки і ін. Метод набув широкого поширення в техніці в силу простоти і формалізації, а також зручності реалізації його на комп'ютерній платформі.

Метод кінцевих елементів - це спосіб моделювання впливу навантажень певної природи на конструкцію і визначення відгуку на дані впливу.

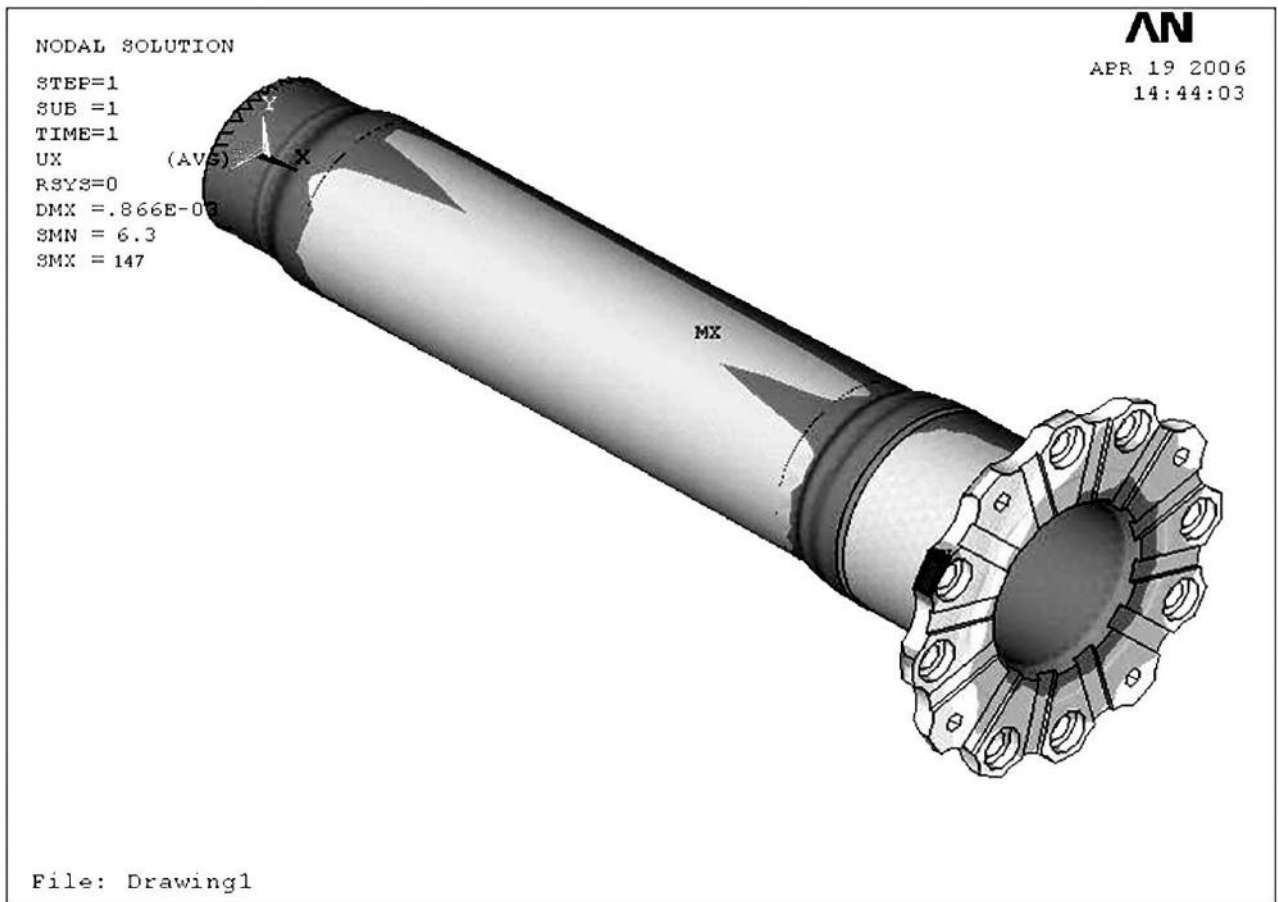
Суть методу полягає в апроксимації (заміні) реальної моделі, що має нескінченне число ступенів свободи і важко піддається математичному опису, дискретною (кінцевоелементною) моделлю, що має кінцеве число невідомих (ступенів свободи). Кінцевоелементна модель складається з окремих пов'язаних між собою за допомогою вузлів кінцевих елементів.

Кінцевий елемент (КЕ) - це елемент, габаритні розміри якого кінцеві (є нескінченно малою величиною). Кінцевий елемент складається з граничних ребер і граней в разі, якщо елемент має тривимірне формулювання. На граничних ребрах КЕ вводиться певна кількість граничних вузлів. Число вузлів теоретично нічим не обмежене і фактично залежить від людини, що створює даний КЕ. При цьому кожен граничний вузол кінцевого елемента має лише певну кількість ступенів свободи, яке залежить від рівномірності кінцевого елемента і прийнятої для нього розрахункової схеми.

Математичне моделювання об'ємного напружено-деформованого стану вала методом кінцевих елементів складалося з таких етапів:

1. Створення комп'ютерної тривимірної твердотільної моделі вала.
2. Розбиття моделі на умовні обсяги. Це робиться для того, щоб полегшити створення кінцевоелементної моделі і розрахунок вала, так як при недостатньо потужному комп'ютерному забезпеченні це може зайняти значний час.
3. Створення сітки кінцевих елементів. Циліндричну частину розбиваємо регулярної гексагональної сіткою, а решта - вільною тетрагональною сіткою.
4. Додаток навантажень і завдання граничних умов.
5. Отримання рішення.
6. Візуалізація результатів. Визначення напружено-деформованого стану вала від дії сумарних навантажень. Максимальне еквівалентне напруження - 140МПа - буде в місцях опор: шийки під підшипник і шліцьовій частину валу (див. мал. 6.2). Але концентрація напружень в шлицевом з'єднанні перевершує концентрацію напружень від посадки підшипника. Максимальна напруга в шліцах також поєднується з великим числом концентраторів (шліц), це призводить до того, що саме ця частина вала буде найбільш небезпечною.

Малюнок 6.2 - Відображення еквівалентних напружень



6.4 Визначення напружень аналітичним методом

Для перевірки достовірності результатів отриманих методом кінцевих елементів визначимо напругу аналітичним методом.

При розрахунку напружень обирають кілька розрахункових перетинів, вала, в яких можливе виникнення максимальних напружень в результаті дії великих навантажень або внаслідок малих величин геометричних характеристик перетинів (площ, моментів опору крученню і вигину). Як ми вже з'ясували, найбільш небезпечним є перетин шліцьової частини валу.

Зробимо розрахунок напруги в перетині шліців.

Напруження кручення визначають за формулою:

$$\begin{aligned}\tau_{kp} &= \frac{M_{kp}}{W_{kp}} = \frac{16M_{kp}D}{\pi d^4 - bz(D-d)(D+d^2)} = \\ &= \frac{16 \cdot 1218,85 \cdot 58,8}{3,14 \cdot 54^4 - 3,14 \cdot 28(58,8 - 54)(58,8 + 54)^2} = 53 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (6.15)$$

де W_{kp} - момент опору крученню,

d = внутрішній діаметр вала в розрахунковому перерізі 54мм;

D = зовнішній діаметр вала в розрахунковому перерізі 58,8мм;

b = ширина шліца 3,14мм;

z = кількість шліців 28.

Напруження згину обчислюють за співвідношенням:

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \frac{M_{kp}}{W_u} = \frac{32M_{up}D}{\pi d^4 - bz(D-d)(D+d^2)} = \\ &= \frac{32 \cdot 510 \cdot 58,8}{3,14 \cdot 54^4 - 3,14 \cdot 28(58,8 - 54)(58,8 + 54)^2} = 45 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (6.16)$$

де W_u - момент опору вигину.

Напруги розтягування (стиснення) вала в осьовому напрямку рівні:

$$\sigma_x = \frac{P_x}{F_v} = \frac{P_x}{\pi(D^2 - \frac{(D+d)^2}{4})} = \frac{27011,71}{3,14(58,8^2 - \frac{(58,8+54)^2}{4})} = 31 \text{ МПа}\quad (6.17)$$

де F_v - площа розрахункового перерізу вала.

Сумарні нормальні напруги, що діють уздовж осі вала, рівні

$\sigma_{x\Sigma} = \sigma_x + \sigma_u = 31 + 45 = 76 \text{ МПа}$. Так само, як і напруги вигину σ_u , Вони досягають свого максимального значення на зовнішній поверхні вала.

6.4.1 Оцінка міцності валів

У якості критерія складного напруженого стану валу використовують еквівалентне напруження, яке визначається по теорії найбільших дотичних напружень:

$$\sigma_9 = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_u)^2 + 4\tau_{кр}^2} = \sqrt{(31+45)^2 + 4 \cdot 53^2} = 130 \text{ МПа} \quad (6.18)$$

Напруга σ_9 еквівалентна за характером дії одноосьовому розтягуючому напруженню.

Статичну міцність вала оцінюють за величиною коефіцієнта запасу міцності

$$K_{0,2} = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_9} = \frac{850}{130} = 6,5 \quad (6.19)$$

де $\sigma_{0,2} = 850 \text{ МПа}$ - межа плинності матеріалу при розтягуванні.

Міцність валу за межею плинності можна вважати достатньою при $K_{0,2} = 1,5 \dots 2,0$. Ця умова не допускає виникнення в матеріалі вала пластичних деформацій, які могли б стати причиною порушення нормальної роботи ротора (зачіпання робочих лопаток за корпус при появі залишкового вигину вала, дисбалансу ротора і т. п.).

Умова міцності по напругам, що допускають зминання має вигляд:

$$\sigma_{см} = \frac{2M_{кр}}{z d_m h l \psi} = \frac{2 \cdot 1218850}{28 \cdot 56 \cdot 28 \cdot 2,9 \cdot 56,4 \cdot 0,6} = 15,8 \text{ МПа} \leq [\sigma_{см}] = 56 \text{ МПа} \quad (6.20)$$

де d_m = середній діаметр з'єднання 56,4мм;

z = число шліц 28;

h = висота поверхні контакту 2,9мм;

l = довжина поверхні контакту 56мм;

ψ = коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження, [14, с. 126] 0,6;

$[\sigma_{cm}] = 0,1\sigma_B = 0,1 \cdot 560 = 56 \text{ МПа}$ - гранично допустима напруга зминання.

З розрахунків різними методами бачимо, що похибка результатів складає $\pm 11\%$, що є допустимим значенням. Ця похибка обумовлена приблизністю аналітичного розрахунку. Цей метод не може врахувати всіх факторів, що впливають на вал. Одним з таких факторів, наприклад, є умова закріплення: при розрахунку аналітичним методом ми розглядаємо шліцеве з'єднання, закріплене в точці, а в системі ANSYS закріплення здійснюється по площині.

6.5 Розрахунок плоскої осесиметричної моделі вала

Шліцьовим з'єднанням властива висока концентрація напружень, обумовлена похибками виготовлення, зміщенням осей деталей, що входять в зачеплення, під навантаженням, закручуванням деталей. Лише в ідеально точному з'єднанні при впливі крутного моменту навантаження між зубами розподілено рівномірно. У реальних з'єднаннях є похибки в кутовому кроці зубів вала і втулки, а також радіальні зазори, які призводять до суттєвого нерівномірного розподілу навантаження в окружному напрямку і циклічному взаємному зсуву деталей в осьовому напрямку, зношування зубів і розвитку контактної корозії. Ці ефекти посилюються у зв'язку з концентрацією навантаження по довжині з'єднання, обумовленою різною крутильною піддатливістю деталей і характером підведення навантаження.

Збільшення несучої здатності валів можна здійснити двома методами: технологічним і конструкторським. Технологічний метод полягає в поліпшенні властивостей матеріалу шліців шляхом хіміко-термічної обробки, зміцнення поверхневого шару шліців і підвищенні точності виготовлення. Суть

конструкторського методу полягає в поліпшенні конструкції деталей в зоні шліцевого з'єднання.

Для того щоб визначити коефіцієнт концентрації навантаження в шліцах і рівномірність розподіл навантаження, необхідно провести більш детальний розрахунок вала, а також врахувати особливості закріплення в зачепленні шліц.

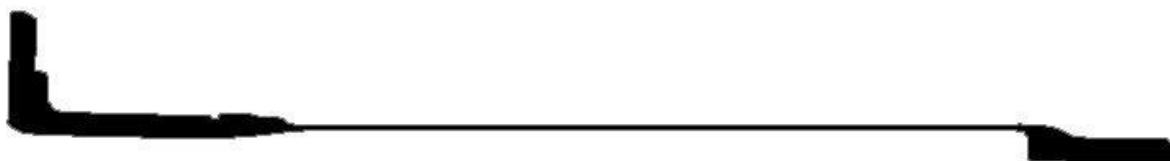
В системі ANSYS ці параметри можна визначити двома засобами: вирішуючи контактну задачу, враховуючи особливості контакту вала з сполучуваними деталями, і розрахунок плоскої моделі вала, яка буде враховувати особливість сполучення в шліцах.

Перший спосіб вимагає значних ресурсів комп'ютерної техніки і витрати великої кількості часу, тому вирішимо це завдання другим методом.

Метод розрахунку осесиметричної плоскої моделі полягає в тому, що розрахунок ведеться не за допомогою тривимірної моделі, а на основі плоского перетину вала (мал. 6.4). Параметри розрахунку задаються таким чином, що в процесі розрахунку система сприймає перетин, як цілий твердотільний вал, тобто розглядає його симетрично осі, при цьому час і ресурси значно скорочуються. Це досягається завдяки завданням осесиметричного кінцевого елемента PLANE 83.

Для того щоб мати можливість розгляду напруженого стану валу від різних навантажень окремо і від поєднання різних навантажень, завдання параметрів і розрахунок здійснюємо в пакетному режимі, тобто написання програми на мові програмування APDL (див. додаток Ж), тоді як розрахунок тривимірної моделі вівся за допомогою безпосереднього завдання параметрів з програмного інтерфейсу (за допомогою панелей інструментів).

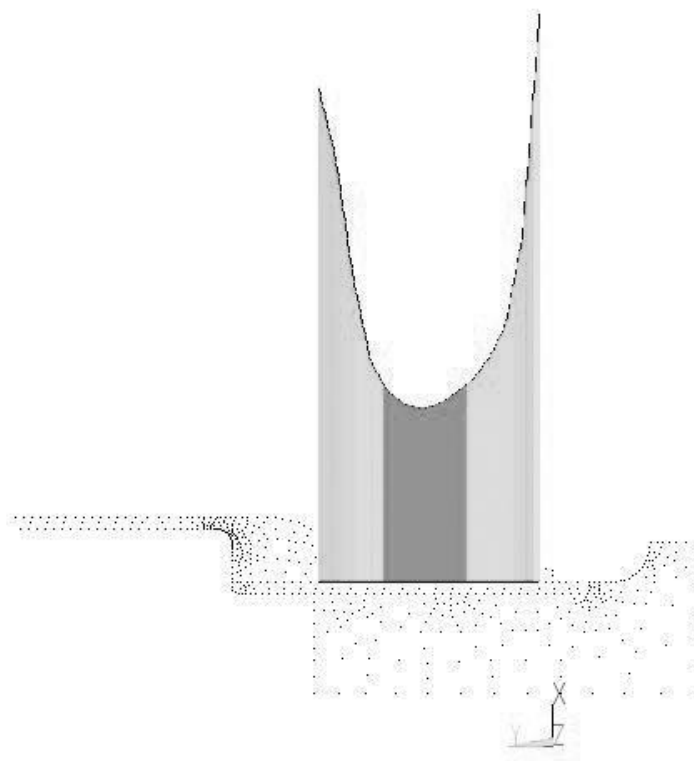
Малюнок 6.3 - Плоский перетин валу



Порядок розрахунку плоскою осесиметричної моделі аналогічний порядку розрахунку тривимірної моделі.

При розрахунку шліцьового з'єднання на кручення отримуємо наступний результат: напруги крутіння τ нерівномірно розподіляються по довжині з'єднання шліц. Максимальні значення напруги спостерігаються по краях з'єднання (мал. 6.6), що добре узгоджується з відомим положенням, викладеним в [14].

Малюнок 6.4 - Розподіл напруги крутіння



6.6 Уточнений розрахунок шліцевих з'єднань

Існує досить перспективний метод уточненого розрахунку шліцевих з'єднань по ДСТУ 21425-75 «З'єднання шліцеві прямобочніе. Методи розрахунку електричного навантаження на ». Цей розрахунок, на відміну від приблизного, враховує такі похибки, як нерівномірність розподілу навантаження між зубами, коефіцієнт концентрації навантаження і ін., Але цей стандарт поширюється тільки на шліцеві з'єднання з прямобічним профілем.

Для поширення даного розрахунку на евольвентні шліцеві з'єднання необхідно при розрахунку граничних умов врахувати евольвентний профіль коефіцієнтом $K_{эв}$. Значення цього коефіцієнта визначимо шляхом додатка одиничного навантаження на прямобічний і шліцевий профіль в системі ANSYS. Завдання вирішувалося в плоскій постановці.

Малюнок 6.5 - Схема прикладання одиничного навантаження на різні профілі шліц



Аналізуючи отримані напруги від одиничного навантаження, робимо висновок, що коефіцієнт концентація навантаження для на евольвентного профілю в 1,5 рази нижче, ніж для прямобочного. Отже, $K_{эв} = \frac{1}{1,5} = 0,67$.

6.6.1 Розрахунок з'єднання на зминання

Розрахунок на зминання проводиться для з'єднань із зміцненими робочими поверхнями (гарт, цементация) для початкового періоду підробітки.

$$\sigma = \frac{M_{кр}}{S_F \cdot l} \leq [\sigma]_{см} \quad (6.21)$$

де $[\sigma]_{см}$ - допустиме напруження зминання,

$M_{кр} = 1218,85 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1218850 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ - допустиме значення крутного моменту в сталому режимі роботи,

$l = 56 \text{ мм}$ - довжина шліцьового з'єднання,

S_F - питомий сумарний статичний момент площі робочих поверхонь з'єднання щодо осі валу:

$$S_F = 0,5 \cdot d_{cp} \cdot h \cdot z = 0,5 \cdot 56,4 \cdot 2,9 \cdot 28 = 2289,84 \text{ мм}^3 / \text{мм} \quad (6.22)$$

де $d_{cp} = \frac{D+d}{2} = \frac{58,8+54}{2} = 56,4 \text{ мм}$ - середній діаметр шліцьового з'єднання,

$D = 58,8 \text{ мм}$ - зовнішній діаметр шліцьового з'єднання, $d = 54 \text{ мм}$ - внутрішній діаметр з'єднання,

$h = \frac{D-d}{2} - f_b - f_c = \frac{58,8-54}{2} - 0,2 - 0,3 = 2,9 \text{ мм}$ - робоча висота зубів,

$f_b = 0,2 \text{ мм}$ - номінальна висота фаски на шліцах охоплює вала, $f_c = 0,3 \text{ мм}$ - номінальна висота фаски на шліцах охоплюваного вала,

$z = 28$ - число шліців.

$$\sigma = \frac{1218850}{2289,84 \cdot 56} = 9,5 \text{ МПа} \quad (6.23)$$

$$[\sigma]_{cm} = \frac{\sigma_T}{n \cdot K_{cm} \cdot K_D \cdot K_{\varepsilon\theta}} \quad (6.24)$$

де $\sigma_T = 930 \text{ МПа}$ - межа плинності матеріалу шліців,

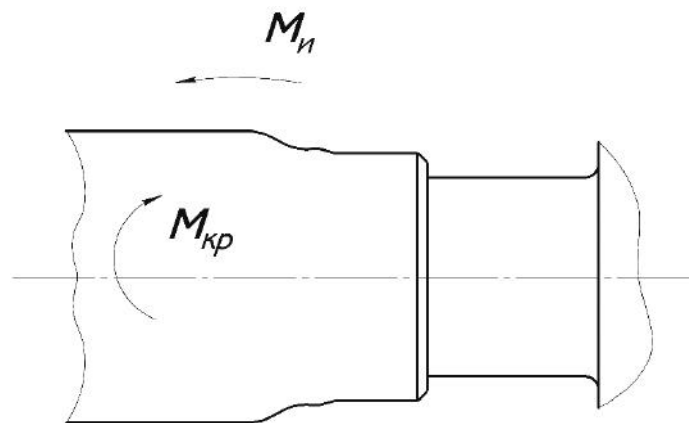
$K_{cm} = K_z \cdot K_{np} \cdot K_n = 1,85 \cdot 2,7 \cdot 1,2 = 6,0$ - загальний коефіцієнт концентрації навантаження при розрахунку на зминання,

де $K_z = 1,85$ - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між шліцями, визначається за [ДСТУ21425-75, додаток, табл.4] в залежності від

$$\psi = \frac{M_{up}}{M_{kp}} = \frac{510}{121885} = 0,42, \quad \text{Такий спосіб визначення коефіцієнта } \psi$$

обумовлений тим, що в нашому випадку на вал діють не окружна і радіальна сили, а крутний і згинальний моменти (див мал.6.6).

Малюнок 6.6 - Схема дії на вал крутного і згинального моментів



$K_{np} = 2,7$ - коефіцієнт поздовжньої концентрації навантаження по довжині з'єднання, при підводі і зняття крутного моменту з різних сторін фланця дорівнює більшому із значень K_{kp} и K_e .

$K_e = 2,0$ - коефіцієнт концентрації навантаження в зв'язку зі зміщенням навантаження від середньої площини фланця, [ДСТУ21425-75, додаток, мал. 1],

$K_{кр}$ - коефіцієнт концентрації навантаження від закручування вала, [ДСТУ21425-75, додаток, табл.3]. Цей коефіцієнт визначимо виходячи з розрахунку осесиметричної задачі методом кінцевих елементів при додатку всіх діючих на вал осесиметричних сил. Розподіл дотичних напружень уздовж шліців відбувається не рівномірно, а по параболі (див. мал. 6.7).

Коефіцієнт концентрації навантаження запропоновано визначати за формулою:

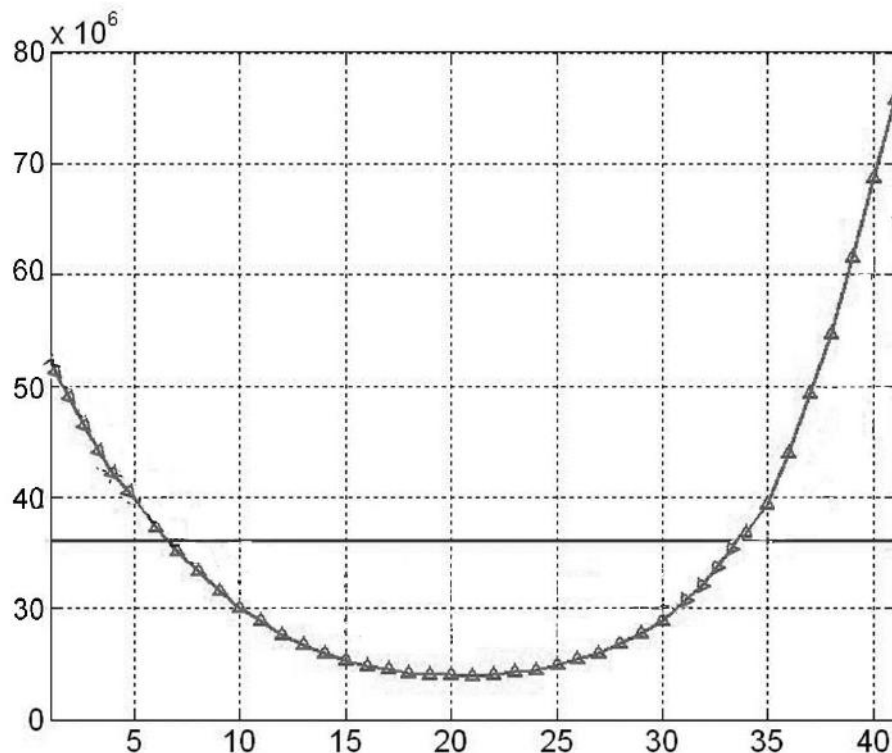
$$K_{кр} = \frac{\tau^{\max}}{\frac{1}{l} \int_0^l \tau dl} \quad (6.25)$$

де $\tau^{\max}=78\text{МПа}$ - максимальне напруження кручення,

$l = 40\text{мм}$ - довжина з'єднання,

Вирішивши рівняння 6.24, отримаємо $K_{кр} = 2,7$.

Малюнок 6.7 - Розподіл дотичних напружень уздовж шліцевого з'єднання



$K_n = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує концентрацію навантаження в зв'язку з похибками виготовлення, [ДСТУ21425-75, табл.3].

$$K_d = \frac{M_{кр}^{max}}{M_{кр}} = \frac{24538}{121885} = 2,0 \quad - \text{коефіцієнт динамічності навантаження,}$$

$M_{кр}^{max}$ - допустимий найбільший обертовий момент в пікових режимах роботи:

$$\begin{aligned} M_{кр}^{max} &= \frac{\sigma_T \cdot S_F \cdot l}{n \cdot K_{cm}} = \frac{930 \cdot 2289,84 \cdot 56}{5 \cdot 9,72} = 245381457 \text{ Н} \cdot \text{мм} = \\ &= 2453,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (6.26)$$

n - коефіцієнт запасу міцності, для машинобудування зазвичай приймають $n = 1,25-1,4$ (нижні значення для менш відповідальних з'єднань).

$$\text{Тоді, } [\sigma]_{cm} = \frac{930}{1,4 \cdot 6,0 \cdot 0,67 \cdot 2,0} = 82,6 \text{ МПа}.$$

В авіаційній промисловості значення коефіцієнта запасу міцності зазвичай трохи вище - $n = 3-5$.

$$\text{Тоді, } [\sigma]_{cm} = \frac{930}{5 \cdot 6 \cdot 0,67 \cdot 2,0} = 23 \text{ МПа}$$

Як бачимо і в тому, і в іншому випадку з'єднання задовольняє умові міцності на зминання: $\sigma = 9,5 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{cm} = 23 \text{ МПа}$, або $\sigma = 9,5 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{cm} = 82,6 \text{ МПа}$.

6.6.2 Розрахунок з'єднання на знос.

Розрахунок на знос проводиться для періоду після підробітки.

$$\sigma = \frac{M_{кр}}{S_F \cdot l} \leq [\sigma]_{изн} \quad (6.27)$$

де $[\sigma]_{изн}$ - допустиме напруження на знос.

$$[\sigma]_{изн} = \frac{[\sigma]_{усл}}{K_{изн} \cdot K_{долг} \cdot K_{эв} \cdot K_p} \quad (6.28)$$

де $[\sigma]_{усл} = 135 \text{ МПа}$ - допустимий умовний тиск при базовому числі циклів і постійному режимі роботи, [ДСТУ 21425-75, додаток, табл. 1],

$K_{изн} = K'_3 \cdot K_{np} = 1,5 \cdot 2,0 = 3,0$ - загальний коефіцієнт концентрації навантаження при розрахунку на знос, $K'_3 = 1,5$ - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між шліцами на знос і різне ковзання на робочих поверхнях при обертанні вала, визначається за [ДСТУ 21425-75, додаток, табл.4] в залежності від ψ ,

$K_{np} = 2,0$ - коефіцієнт поздовжньої концентрації навантаження по довжині з'єднання, при підводі і зняття крутного моменту з різних сторін фланця дорівнює більшому із значень $K_{кр}$ и K_e ; $K_{кр} = 1,0$ - коефіцієнт концентрації навантаження від закручування вала, [ДСТУ 21425-75, додаток, табл.3], $K_e = 2,0$ - коефіцієнт концентрації навантаження в зв'язку зі зміщенням навантаження від середньої площини фланця, [ДСТУ 21425-75, додаток, креслення 1].

$$K_{долг} = K_n \cdot K_u = 0,57 \cdot 3,5 = 1,995 \text{ - коефіцієнт довговічності,}$$

$K_n = 0,57$ - коефіцієнт змінності навантаження, [ДСТУ 21425-75, додаток, табл.5],

$K_u = 3,5$ - коефіцієнт числа циклів, визначається по [ДСТУ 21425-75, черт.4] в залежності від числа циклів $N = 60 \cdot t \cdot N_{вр} = 60 \cdot 5000 \cdot 15000 = 4,5 \cdot 10^9$, $t = 5000$ годин - час роботи двигуна, $N_{вр} = 15000 \text{ об / хв}$ - частота обертання вала.

$$K_p = K_c \cdot K_{oc} = 0,7 \cdot 1,0 = 0,7 \text{ - коефіцієнт умов роботи,}$$

$K_c = 0,7$ - коефіцієнт, що враховує умови мастила з'єднання, [ДСТУ 21425-75, табл.6],

$$K_{oc} = 1,0 \text{ - коефіцієнт що враховує осьовий зсув фланця щодо вала.}$$

$$\text{тоді, } [\sigma]_{\text{изн}} = \frac{135}{3,0 \cdot 1,995 \cdot 0,67 \cdot 0,7} = 48 \text{ МПа}.$$

$$\text{отже, } \sigma = 9,5 \text{ МПа} < [\sigma]_{\text{изн}} = 48 \text{ МПа}.$$

У разі, коли знос практично не допускається, повинен проводитися додатковий розрахунок, який враховує роботу без зносу при необмежено великій кількості циклів навантаження.

Умова роботи з'єднання без зносу при необмежено великому числі циклів навантаження:

$$\sigma \leq \frac{[\sigma]_{\text{б.и.}}}{K_{\text{изн}} \cdot K_{\text{эв}}} = \frac{10,8}{3,0 \cdot 0,67} = 5,3 \text{ МПа} \quad (6.29)$$

де $[\sigma]_{\text{б.и.}} = 0,3 \text{ HRC} = 0,3 \cdot 36 = 10,8 \text{ МПа}$ - для загартованих шліц.

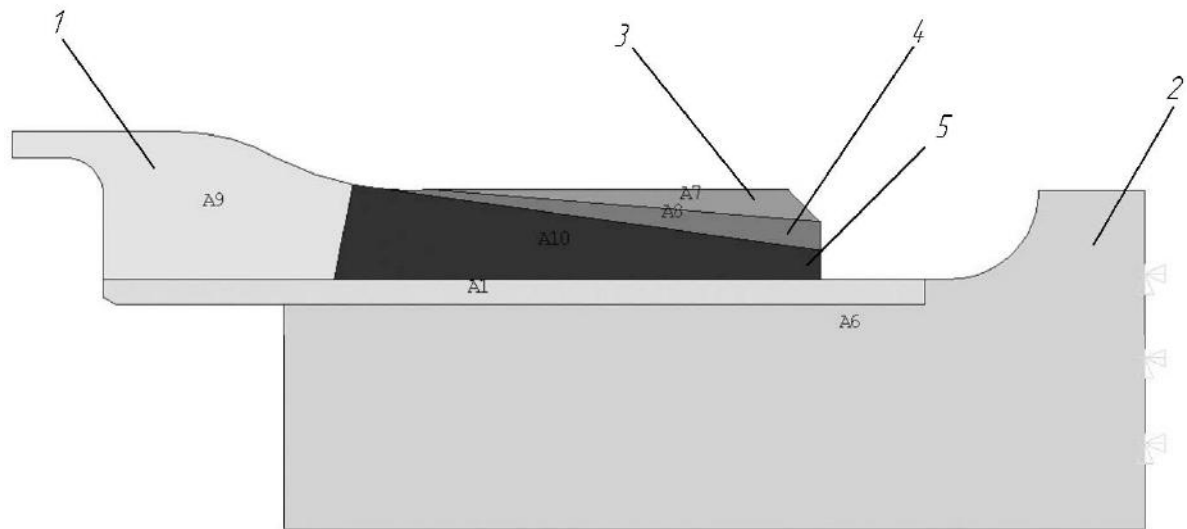
$$\text{отже, } \sigma = 9,5 \text{ МПа} > \frac{[\sigma]_{\text{б.и.}}}{K_{\text{изн}} \cdot K_{\text{эв}}} = 5,3 \text{ МПа}$$

Таким чином, з'єднання задовольняє умові міцності на зминання і умові міцності на знос. Умова роботи з'єднання без зносу при необмежено великому числі циклів не задовольняється.

Для того щоб зменшити концентрацію навантажень в шлицевому з'єднанні необхідно оптимізувати конструкцію шлицьової частини даного валу і валу, що з ним сполучується. Оптимізація конструкції полягає в тому, що необхідно забезпечити плавний перехід, замінивши циліндричний хвостовик вала конічним. Але скіс можливо зробити тільки на даному валу турбіни, так як сполучувальний вал по внутрішньому діаметру також має сполучення. Однак навіть одностороння оптимізація має сенс.

Параметри кутового скоса розраховуємо в системі ANSYS для визначення найбільш оптимальної його конструкції.

Малюнок 6.8 - схема конструкції вала з різними значеннями кутів скосу



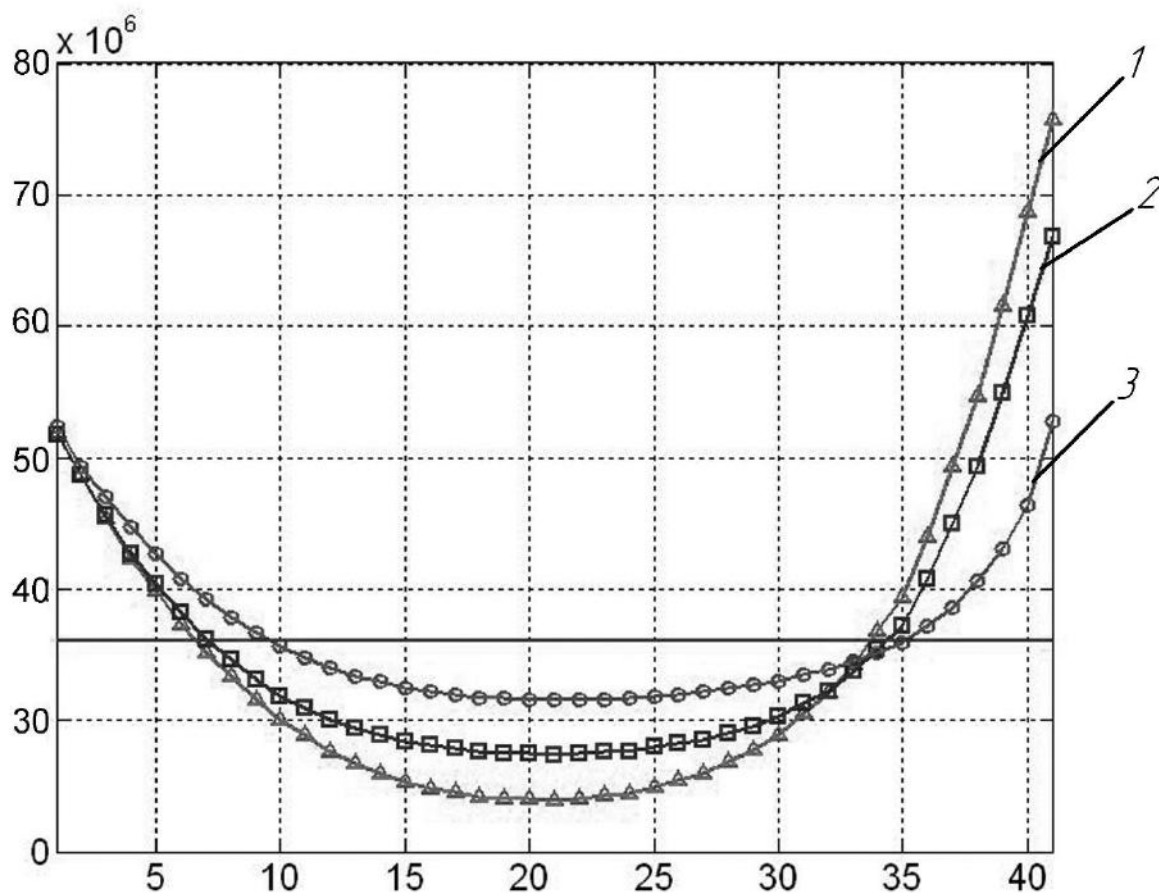
1 - вал, 2 - сполучувальна деталь, 3 - вихідна конструкція валу, 4 - конструкція з кутом скосу 4° , 5 - конструкція з кутом скосу 7° .

При розрахунку цих схем в системі ANSYS отримуємо зміну розподілу питомого навантаження від крутного моменту (мал. 6.8).

З малюнка 6.9 видно вплив збільшення кута на градієнт напружень. Оптимальною конструкцією вала приймаємо конструкцію при куті скосу 7° , з умови рівності дотичних напружень на початку з'єднання і дотичних напружень в кінці. Подальше збільшення кута є недоцільним, тому що призведе до неравнопрочності в одному з кінців з'єднання, а також призведе до критичного зменшення торця.

З урахуванням викладеного запропонована нова конструкція шліцьової частини валу. При новій конструкції шліцьової частини вала напруги знижуються в 1,6 рази.

Малюнок 6.9 - Графіки розподілу напруги крутіння в залежності від кута скосу



1 -ісходная конструкція вала, 2 -кут скоса 4° , 3 - кут скоса 7° .

6.7 Розробка рекомендацій по конструюванню вала турбіни компресора

Таким чином, було визначено напружено-деформований стан вала турбіни компресора методом кінцевих елементів в тривимірній постановці і рішенням осесиметричної задачі.

На основі методики уточненого розрахунку прямобічних шліцьових з'єднань запропонована інженерна методика розрахунку евольвентного з'єднання з довільною геометрією шліцьової частини вала, яка заснована на наступних положеннях:

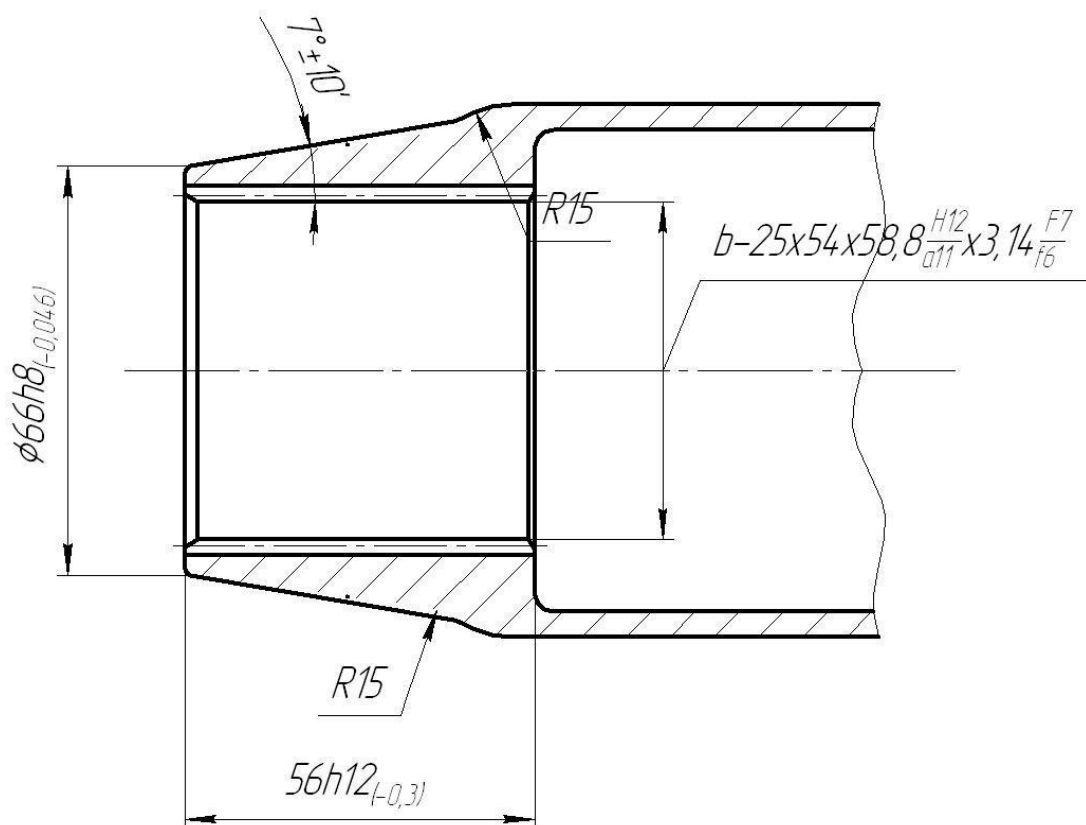
1. За основу прийнята методика ДСТУ21425-75 «З'єднання шліцеві прямобічні. Методи розрахунку електричного навантаження».

2. Перехід до евольвентного профілю врахував коефіцієнт $K_{эв}$, отриманий за результатами розрахунку перетину вала методом кінцевих елементів.

3. Концентрація навантаженні при передачі крутного моменту обчислюються методом кінцевих елементів, що дозволяє адекватно розраховувати нециліндричну навантажену частину шліцевого з'єднання.

4. Враховується згинальний момент, що передається з'єднанням, коригуванням коефіцієнта ψ .

Малюнок 6.10 - Креслення оптимізованої конструкції вала



На основі комплексного аналізу проведена оптимізація конструкції шліцьової частини валу.

Запропоновано конструкцію шліцьової частини валу, що володіє підвищеною несучою здатністю (мал. 6.10).

ВИСНОВОК

Згідно з завданням в даному дипломному проекті був розроблений механічний цех обробки тонкостінних валів двигунів AI-20 і AI-24.

Детально розроблений технологічний процес виготовлення валу турбіни компресора двигуна AI-24. Обрано і економічно обгрунтований метод отримання заготовки. Призначено припуски на заготовку. Режими різання і технічні норми часу призначені і визначені за рекомендаціями нормативних документів авіаційної промисловості. Розроблена розрахунково-технологічна карта для обробки вала на токарному верстаті.

Спроектвані верстатні пристосування дозволяють швидко і надійно закріплювати заготовку під час обробки, що важливо в умовах великосерійного виробництва.

Технологічний процес розроблений з урахуванням вимог охорони праці та стійкості до надзвичайних ситуацій.

В економічній частині дипломного проекту розраховані основні фонди і амортизаційні відрахування, заробітна плата основних і допоміжних робітників, проведений розрахунок цехових витрат і складений кошторис витрат з утримання та експлуатації обладнання. Для повного уявлення про виробничі засоби потужності цеху складена таблиця техніко-економічних показників.

У частині з охорони праці приведена повна характеристика ділянки механічної обробки вала з точки зору безпеки проведення робіт.

Виконано спеціальне завдання по оптимізації конструкції тонкостінних валів двигунів AI-20 і AI-24 на прикладі вала турбіни компресора двигуна AI-24 за допомогою системи ANSYS методом кінцевих елементів.

Складено альбом технологічної документації на виготовлення вала.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х т. / Под ред. А.Г.Косілової і Р.К.Мещерякова. - 4-е изд., Перераб. і доп. - М .: Машинобудування, 1985., мул.
2. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування и машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів» (7.100102) усіх форм навчання. / Склалось: Яценко В.К., Ціпак В.І. , Коренєвській Є.Я., Хорошков В.Д., Кононов В.В., Смирнов О.С., Сахно О.Г., Зінкевич К.В., Гончар Н.В., Рубель О.В., Пухальська Г .В., Олексієнко О.В., Каліуш В.І., Савчук Н.О. - Запоріжжя, ЗДТУ, 2000. 245с.
3. Богуслаєв В.О., Ціпак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів. - Запоріжжя, вид-во ВАТ «Мотор Січ» .- 2003 г. - 336 с.
4. Довідник нормувальника-машинобудівника. Том II - Технічне нормування верстатних робіт. / Под ред. Є.І. Стружестраха. Державне науково-технічне видавництво машинобудівної літератури, М., 1961, 892с.
5. Прогресивні ріжучі інструменти та режими різання металів: Довідник / В.І. Баранців, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдіна та ін .; За заг. ред. В.І.Баранчікова.- М .: Машинобудування, 1990.- 400с .: іл.
6. Металорізальні верстати (альбом загальних видів кінематичних схем і вузлів). Кучер А.М., Киватіцкій М.М., Покровський А.А. Вид-во «Машинобудування», 1972, стор. 308. Табл. 1. Іл. 143. Бібл. 40 назв.
7. Методичні вказівки до лабораторних робіт з технологічних методів виробництва заготовок для студентів спеціальностей: 8.090202 «Технологія машинобудування»; 8.090203 «Металорізальні верстати і системи»; 8.090101 «Прикладна Матеріалознавство» всех форм навчання / Укл. В.М. Плєскач. - Запоріжжя, ЗДТУ, 2001., 59 с.

8. Руденко П.О. та ін. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: Підручник, за ред. доц. В.М. Плескача. - Дніпропетровськ: Наука і освіта, 1999. - 254 с.

9. Ціпак В.І. Розрахунки технологічних Розмірів при проектуванні технологічних процесів механічної ОБРОБКИ. Методичні вказівки. Додаткі.- Запоріжжя: ЗДТУ, 1996.- 89с.

10. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсове проектування з технології машинобудування: [Учеб. посібник для машиностроит. спец. вузів] - 4-е изд., перераб. і доп. - Мн .: Виш. школа, 1983. - 265с., мул.

11. В.А. Богуслаєв, В.А. Ліховіцер, А.С.Смірнов. Верстатні пристосування. Видання 2-е. г. Запорожье, изд. ВАТ «Мотор Січ», 2004 р - 461 с.

12. Л.П. Лозицький, А.Н. Ветров, С.М. Дорошко та ін. Конструкція і міцність авіаційних газотурбінних двигунів. / За заг. ред. Л.П. Лозицького.- М .: «Повітряний транспорт», 1992.

13. Підвищення стійкості роботи об'єктів народного господарства у воєнний час / Под ред. Г.П. Демиденко. - К .: Вища шк. Головне вид-во, 1984.-232 с.

14. Іосілевич Г.Б. Деталі машин: Підручник для студентів машиностроит. спец. вузів. - М .: Машинобудування, 1988. - 368 с .: іл.

15. Обробка металів різанням: Довідник технолога / А.А. Панов, В.В.Анікін, Н.Г. Бойм і ін .; За заг. ред. А.А. Панова. - М .: Машинобудування. 1988.-736 с .: іл.

16. Шатин В.П., Шатин Ю.В. Довідник конструктора-інструментальника. М .: Машинобудування, 1975.-456 с .: іл.

17. Горошкин А.К. Пристосування для металорізальних верстатів: довідник.- 7-е изд., Перераб. і доп.- М .: Машинобудування, 1979.-303 с .: іл.

18. НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

19. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

- 20.НПАОП 0.00-1.68-13 «Правила охорони праці під час холодного оброблення металів».
- 21.ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные».
- 22.НПАОП 0.00-4.01-08 «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту».
- 23.ГОСТ ДСТУ 7234:2011 «Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки».
- 24.Правила улаштування електроустановок [Текст]: Нормативне виробничо-практичне видання : вид. 5-те, перероблене й доповнене : затв. М-вом енергетики та вугільної промисловості України 20.06.14 : введення в дію з 20.11.14. – Х. : Міненерговугілля України, 2014. – 793 с.
- 25.ГОСТ 12.1.030-81 (2001)' ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».
- 26.Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум [Текст] : навчальний посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007.
- 27.Березуцький В. В. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; за ред. проф. В. В. Березуцького. – Х.:Факт, 2005. – 327 с.
- 28.ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
- 29.ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- 30.ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».
- 31.ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

- 32.ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».
- 33.ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».
- 34.ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)».
- 35.ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».
- 36.Шоботов В. М. Цивільна оборона [Текст] : Навчальний посібник / В. М. Шоботов. - Вид. 2-ге, перероб. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.