

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Андрій ЗАГОРУЛЬКО  
(підпис)  
\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності 131 Прикладна механіка, освітньо-професійної програми «Комп'ютерна механіка», на тему: **«Сучасні комп'ютерні технології при розробці та виготовленні деталей центрифуги для поділу суспензії».**

Здобувача групи КМ.м-31 ТОВСТОГАНА Максима Геннадійовича.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Максим ТОВСТОГАН  
(підпис)

Керівник: доцент, к.т.н., доцент Євген САВЧЕНКО \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

**Кваліфікаційна робота магістра:** 106 с., 35 рис., 17 табл., 20 джерел.

**Мета роботи:** підтвердження ефективності використання сучасних комп'ютерних технологій при розробці та виготовленні деталей центрифуги для поділу суспензії.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес виготовлення деталей центрифуги для поділу суспензії.

**Предмет дослідження** – застосування верстатів з ЧПК в техпроцесі виготовлення деталей центрифуги для поділу суспензії та використання програмного комплексу ANSYS для розрахунків деталей на міцність.

**Методи дослідження** – технологічна підготовка виробництва, програмування техпроцесу обробки деталей на верстатах з ЧПК, використання програмного комплексу ANSYS, економічний аналіз.

Розроблено сучасний технологічний процес з прогресивними методами обробки на верстаті з ЧПК з застосуванням спеціальних ріжучих та вимірювальних інструментів. Також змінений спосіб отримання заготовки. Запропоновано отримання заготовки на горизонтально-кувальній машині (ГКМ). Це дозволило зменшити собівартість заготовки і дає можливість отримувати заготовку максимально наближену за своїми розмірами до розмірів деталі. Базовий технологічний процес був змінений таким чином, що токарно-гвинторізна операція (обробка за два установи) замінюється на дві токарні на верстаті з ЧПК і фрезерно-центрувальну, де обробка ведеться за один установ, а також токарна на більш старому верстаті з ЧПК замінюється на дві токарні на новому верстаті з ЧПК. Всі нововведення які були введені в технологічний процес виготовлення деталі «Диск направляючий» спрямовані на зниження собівартості деталі та підвищення конкурентоспроможності виробу в цілому. Показано можливості використання програмного комплексу ANSYS для розрахунків на міцність. Отримані результати підтвержені економічними розрахунками, що дозволяє зробити висновок про економічну ефективність розробленого технологічного процесу.

ЦЕНТРИФУГА, РОТОР, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТИ З ЧПК,  
ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ANSYS, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ПОДІЛУ СУСПЕНЗІЇ	8
1.1 Короткий опис центрифуги	8
1.2 Опис обраної для обробки деталі «Диск направляючий»	10
1.3 Характеристика типу виробництва	16
1.4 Вибір і технічне обґрунтування методу виготовлення заготовки	17
1.5 Розрахунок припусків аналітичним методом	22
1.6 Розробка маршрутного техпроцесу	26
1.7 Розробка операційного технологічного процесу	47
2 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	54
2.1 Розрахунок річного приведенного обсягу деталей та норм штучнокалькуляційного часу і розцінок	56
2.2 Розрахунок кількості верстатів та коефіцієнта їх використання	59
2.3 Розрахунок чисельності персоналу дільниці	60
2.4 Організація постачання робочих місць на дільниці матеріалами, інструментом	64
2.5 Організація наладки обладнання з ЧПК по керуючій програмі	67
2.6 Обґрунтування прийнятих методів розробки керуючих програм в технологічному процесі, що проектується	69
3 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ НА МІЦНІСТЬ	74
3.1 Загальні відомості про продукт	74
3.2 Реалізація MCE в пакеті ANSYS	75
3.3 Інтерфейс програмного комплексу WORKBENCH	77
3.4 Графічний інтерфейс програмного продукту	85

3.5 Інструменти для редагування ескізу	90
3.6 Генерація скінченно-елементної моделі, дискретизація її скінченноелементною сіткою	91
4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	96
4.1 Розрахунок економічної ефективності запропонованого технологічного процесу	96
4.2 Техніко-економічні показники діляниці	103
ВИСНОВКИ	104
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	105

## ВСТУП

У сучасному машинобудуванні особливу роль відводять створенню і впровадженню нової техніки в усіх галузях, прискоренню науково-технічного прогресу країни. З переходом України на ринкові відносини різко зросла потреба народного господарства в якісній надійній конкурентоспроможній продукції, виготовленої машинобудуванням та іншими галузями промисловості. Для отримання якісної, конкурентоспроможної продукції на підприємстві впроваджуються передові технології і високопродуктивне прогресивне обладнання.

У зв'язку з гнучким використанням та створенням виробничих комплексів механічної обробки різанням особливого значення набувають верстати з ЧПК. Застосування верстатів з ЧПК, заміна універсального обладнання має особливості і створює певні переваги:

- продуктивність верстата підвищується в 1,5-5 разів у порівнянні з аналогічними верстатами, але з ручним керуванням;
- поєднується гнучкість універсального обладнання з точністю і продуктивністю верстата-автомата, що дозволяє вирішувати питання комплексної автоматизації одиничного і серійного виробництва;
- якісно переозброюється машинобудування на базі сучасної електроніки і обчислювальної техніки;
- знижується потреба у кваліфікованих робітничих кадрах, а підготовка виробництва переноситься в сферу інженерної праці;
- скорочується час пригоночних робіт у процесі складання, так як деталі, виготовлені в одній програмі, є взаємозамінними;
- скорочуються терміни підготовки і переходу на виготовлення нових деталей, завдяки централізованому запису програм і простішій універсальній технологічній оснастці;
- знижується тривалість циклу виготовлення деталей і зменшується запас незавершеного виробництва.

Також новий технологічний процес повинен бути більш прогресивним, ніж старий, і забезпечувати виконання всіх вимог креслення і технічних умов, підвищення продуктивності праці і якості виробу, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію технологічний процес повинен відповідати вимогам техніки безпеки і промислової санітарії, викладеним в системі стандартів безпеки праці. Також розробці нового технологічного процесу в центрі уваги повинні бути питання екології.

**Мета даної роботи:** підтвердження ефективності використання сучасних комп'ютерних технологій при розробці та виготовленні деталей центрифуги для поділу суспензії.

**Основні задачі** для досягнення поставленої мети:

- виконати аналіз технологічного процесу виготовлення основних деталей центрифуги для поділу суспензії та розробити сучасний технологічний процес з прогресивними методами обробки на верстаті з ЧПК;
- показати можливості використання сучасного програмного комплексу ANSYS для розрахунків деталей на міцність;
- виконати економічні розрахунки для підтвердження економічної ефективності розробленого технологічного процесу

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ПОДІЛУ СУСПЕНЗІЇ

## 1.1 Короткий опис центрифуги

### 1.1.1 Основні характеристики центрифуги

Центрифуги типу ОГШ-50 - осаджувальні горизонтальні зі шнековим вивантаженням осаду. Вони призначені для поділу суспензії високої та середньої дисперсності з твердої фазою, яка не містить абразивних домішок і концентрацією Т:Ж в межах 1: 4х1: 10, при температурі до 80°C, а також для зневоднення осадів стічних вод.

Технічні характеристики центрифуги ОГШ-502К-12:

Діаметр ротора внутрішній (найбільший), мм - 500

Довжина циліндричної частини ротора, мм - 377

Відношення робочої довжини ротора до внутрішнього максимального діаметра - 1,86

Частота обертання ротора максимальна, с (об/хв) - 50 Гц (3000 об/хв)

Фактор поділу (при макс. допустимій частоті обертання ротора) - 2515

Індекс продуктивності, м, не менше - 2811

Радіус зливу (змінний), мм - 180;187,5;200

Матеріал ротора - Сталь 12Х18Н10Т

Двигун приводу центрифуги:

- тип - АИМР180М4У2,5;

- потужність, кВт – 30;

- частота обертання, об/хв – 1500.

Двигун маслостанції:

- тип - В63А4;

- потужність, кВт - 0,25;

- частота обертання, об/хв - 1500.

Габаритні розміри центрифуги, мм не більше:

- довжина – 2505;
- ширина – 1965;
- висота – 1020.

Маса центрифуги, кг не більше - 2800

### 1.1.2 Будова і робота центрифуги

Основним вузлом центрифуги є ротор циліндричної форми, розташований горизонтально. Обертання ротора здійснюється від електродвигуна за допомогою клинопасової передачі.

Всередині ротора співвісно розташований шнек, призначений для транспортування осажденої твердої фази до вивантажувальних вікон ротора.

Ротор обертає шнек через планетарний редуктор. Шнек обертається в ту ж сторону, що і ротор, але з меншою швидкістю. Різниця в швидкості обертання шнека і ротора необхідна для примусового переміщення осаду уздовж внутрішньої поверхні ротора.

Через ліві цапфи ротора і шнека проходить живильна труба, що подає суспензію у внутрішню порожнину шнека, що утворює собою камеру. З камери суспензія через вікна в обечайці шнека надходить в ротор.

Під дією відцентрових сил в суспензії відбувається відділення твердої фази від рідкої. Тверда фаза осідає на стінки ротора і транспортується шнеком у напрямку до кінчної частини ротора. В кінці шляху руху осаду до вивантажувальних вікон, в зоні зневоднення, відбувається віджимання вологи з осаду.

Відцентровими силами тверда фаза викидається через розвантажувальні вікна ротора в приймальний відсік осаду кожуха центрифуги.

Освітлена рідка фаза (фугат) рухається до великого діаметру ротора і через зливні вікна викидається в приймальний відсік кожуха центрифуги.



Процес відділення твердої фази від рідкої, вивантаження осаду і злив фугата відбуваються безперервно.

Центрифуга (див. Рис. 1.1) складається з наступних основних вузлів: ротора, шнека, редуктора, корінних опор ротора, живильника, опори і кришки кожуха, механізму блокування, станини з віброізоляцією, муфти та приводу.

Центрифуга комплектується спеціальним інструментом і пристосуваннями, необхідними в процесі монтажу, експлуатації та ремонту, а також запасними частинами.

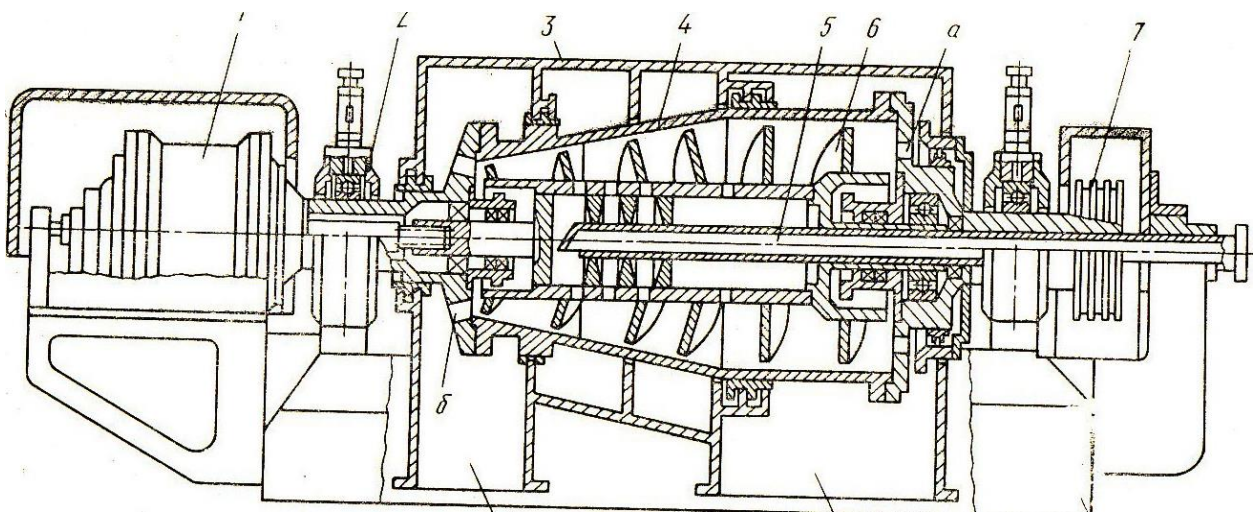


Рисунок 1.1 - Центрифуга типу ОГШ-50

## 1.2 Опис обраної для обробки деталі – «Диск направляючий»

### 1.2.1 Призначення деталі

Дана деталь відноситься до деталей типу кришки. Головна вимога, що пред'являється до подібних деталей, полягає в досягненні концентричності зовнішніх і внутрішніх поверхонь і перпендикулярності торців до осі центрального отвору. Досягнення концентричності може бути забезпечено різними способами механічної обробки заготовки, а це, в свою чергу, позначається на виборі чорнових баз механічної обробки і на розподілі припусків при проектуванні заготовки.

Деталь «Диск направляючий» входить в складальну одиницю «Ротор».

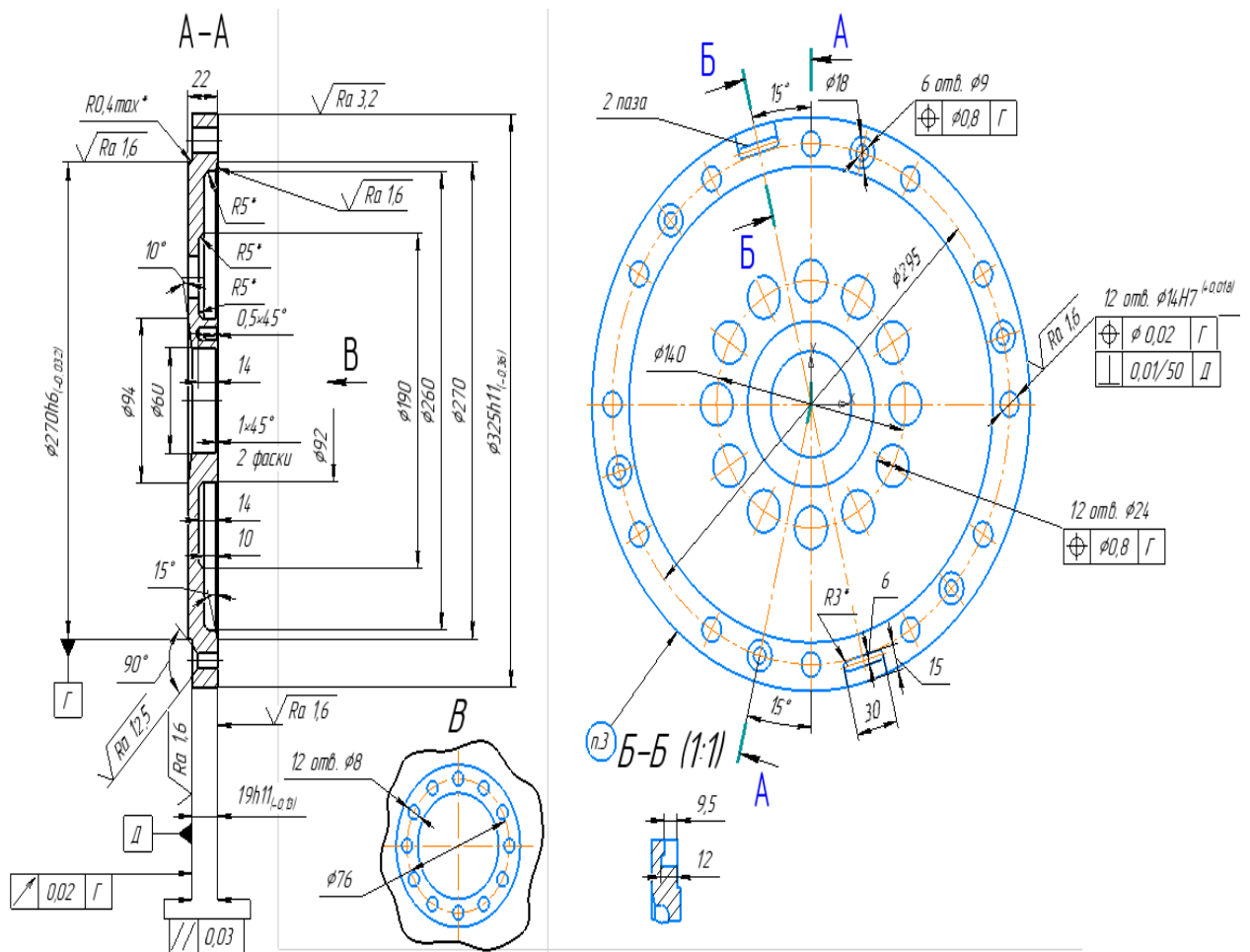


Рисунок 1.2 – Оброблювані поверхні деталі «Диск направляючий»

Деталь встановлюється на ротор поверхнею  $d270$ , впирається в торець 19 і з'єднується з ним за допомогою болтів через 12 отворів  $d14$ . З правого боку деталі встановлюється стакан, який кріпиться за диском за допомогою гвинтів через 6 отворів  $d9$  мм. Отвори  $d24$  мм і  $d8$  мм призначені безпосередньо для перемикання напрямків вивантаження продукту переробки. Вузол в зборі вставляється в корпус, до якого кріпиться засувками, для яких на деталі виконані 2 паза. Решта поверхонь є вільними, тобто в процесі роботи не контактують з іншими деталями.

### 1.2.2 Аналіз деталі на технологічність

Показники технологічності діляться на якісні та кількісні. До якісних показників відносяться наступні:

- матеріал деталі;
- базування і закріплення;
- простановка розмірів;
- допуски форми і розташування;
- взаємозамінність;
- нетехнологічні конструктивні елементи;

До кількісних показників технологічності відносяться:

- коефіцієнт використання заготовки і матеріалу;
- коефіцієнт точності;
- коефіцієнт шорсткості;
- собівартість;
- коефіцієнт уніфікації.

Технологічною вважається та конструкція, обробка якої можлива з максимальною продуктивністю праці і мінімальною собівартістю.

### 1.2.3 Якісна оцінка технологічності конструкції

Матеріал деталі - конструкційна сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Замінник - сталі: 45х, 38ХА, 40ХН, 40ХС, 40ХФ, 40ХР. Призначення сталі - осі, вали, вал-шестерні, плунжери, штоки, колінчаті і кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рейки, зубчасті вінці, болти, півосі, втулки та інші покращувані деталі підвищеної міцності.

Хімічний склад сталі - див. таблицю 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 40Х по ГОСТ 1050-88, у відсотках

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Ni</i>	<i>N</i>	<i>Cu</i>
<i>0,36-0,44</i>	<i>0,17-0,37</i>	<i>0,50,8</i>	<i>0,8-1,1</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,30</i>	<i>0,008</i>	<i>0,30</i>

Механічні властивості сталі - див. таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 40Х для поковок по ГОСТ 8479-70

Режим термообробки			Розріз, мм					КСИ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ
Операція	t, °C	Охолоджуюча середо		Н/мм <sup>2</sup>		%			
			не менше						
Нормалізація	850-870	Повітря	До 100	345	590	18	45	59	174-217
			100-300	315	570	14	35	34	167-207
Відпуск	560-650	Повітря	300-500	275	530	15	32	29	156-197
			500-800	245	470	15	30	34	143-179
Гарт	840-860	Вода,	До 100	490	655	16	45	59	212-248
		масла,	100-300	490	655	13	40	54	218-248
Відпуск	550-650	Вода, піч	300-500	395	15	13	35	49	187-229
		Повітря	500-800	315	570	11	30	29	167-207

Технологічні властивості сталі 40Х:

- температура кування, °C: початку 1250, кінця 800;
- зварюваність - важко зварювана;
- способи зварювання - РД, РАД, і КТ, необхідний підігрів і подальша термообробка;
- флокеночутливість – чутлива;
- схильність до відпускнуї крихкості - схильна.

Якщо розглянути конструкцію деталі в її геометричній формі в цілому, то вона технологічна, тому що деталь є тілом обертання. Обробка поверхонь деталі проста. Є зручні поверхні для базування і закріплення на верстаті.

Базування деталі можна здійснити практично на всіх поверхнях, тобто ця деталь технологічно доцільна для базування. Як пристосування для закріплення заготовки використовується трикулачний самоцентруючий патрон.

Як чорнових баз у заготовок, що обробляються по всіх поверхнях, слід приймати поверхні з найменшими припусками. Чистові бази слід вибирати таким чином, щоб чистові установчі бази були конструкторськими.

Робоче креслення має технологічну простановку розмірів, тому що розміри проставлено без повторень, доступні для контролю, що не затінюють креслення і задовольняють вимогам ГОСТ.

Допуски форми та розташування поверхонь вказані згідно ГОСТ. Всі допуски проставлені щодо однієї загальної бази - осі циліндричної поверхні 270h6, також присутній допуск перпендикулярності.

Нетехнологічними елементами даної деталі є:

- розташування отворів і пазів під кутом 15°;
- наявність скосів 15° і 10° і галтелей.

#### 1.2.4 Кількісна оцінка технологічності конструкції

Коефіцієнти використання заготовки і матеріалу для базового і пропонованого технологічних процесів визначаються в пункті 4.

Для розрахунку коефіцієнта шорсткості і коефіцієнта точності необхідно скласти таблицю, в якій буде вказано характеристики (параметр шорсткості і квалітет точності) поверхонь деталі. Після складання таблиці за формулами визначаються коефіцієнти шорсткості і точності.

Коефіцієнти шорсткості визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{A_{\text{ср}}} < 0,32, \quad (1.1)$$

де  $A_{\text{ср}}$  - середнє арифметичне значення шорсткості, за даними табл. 1.3:

$$A_{\text{ср}} = 477,1/83 = 5,75 \text{ мкм.}$$

$$K = 0,17 < 0,32,$$

Так як коефіцієнт шорсткості вийшов менше, ніж 0,32, то значить, що за даним критерієм деталь технологічна.

Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{B_{\text{ср}}} > 0,32, \quad (1.2)$$

де  $B$  - середнє арифметичне значення квалітету точності, за даними табл. 1.3:

$$B = 1058/83 = 12,74.$$

$$K = 1 - 1/B = 0,92 > 0,8,$$

Так як коефіцієнт точності вийшов більше, ніж 0,8, то значить, що за даним критерієм деталь технологічна.

Таблиця 1.3. Зведена таблиця для визначення коефіцієнтів точності і шорсткості деталі:

<i>Найменування поверхні</i>	<i>кількість поверхонь</i>	<i>Параметр шорсткості Ra, мкм</i>	<i>Квалітет точності</i>
<i>Звнішні:</i>			
<i>φ270</i>	<i>1</i>	<i>1,6</i>	<i>6</i>
<i>φ325</i>	<i>1</i>	<i>3,2</i>	<i>11</i>
<i>φ92</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>Внутрішні:</i>			
<i>φ260</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>φ60</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>Лінійні:</i>			
<i>торець φ270/φ94</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>торець φ325/φ270</i>	<i>2</i>	<i>1,6</i>	<i>11</i>
<i>торець φ92/φ60</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>торець l22</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>торець l19</i>	<i>1</i>	<i>1,6</i>	<i>11</i>
<i>Інші:</i>			
<i>конус 90°</i>	<i>6</i>	<i>12,5</i>	<i>14</i>
<i>скіс 10°</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>скіс 15°</i>	<i>1</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>залтель R5</i>	<i>3</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>залтель R0,4</i>	<i>1</i>	<i>1,6</i>	<i>14</i>
<i>паз b30</i>	<i>2</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>паз b6</i>	<i>2</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>отвір φ8</i>	<i>12</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>отвір φ24</i>	<i>12</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>отвір φ9</i>	<i>6</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>отвір φ14</i>	<i>12</i>	<i>1,6</i>	<i>7</i>
<i>фаска 1×45°</i>	<i>2</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>фаска 0,5×45°</i>	<i>12</i>	<i>6,3</i>	<i>14</i>
<i>Всього:</i>	<i>83</i>	<i>477,1</i>	<i>1058</i>

З аналізу деталі на технологічність, можна зробити висновок, що вона технологічна, хоча і має деякі нетехнологічні елементи, але їх можна отримати за допомогою верстатів з ЧПК і спеціального різального інструменту.

### 1.3 Характеристика типу виробництва

Тип виробництва і відповідна йому форма організації робіт визначає характер технологічного процесу і його побудову.

Виходячи з річної програми випуску = 1500 шт. і маси деталі 8,1 кг визначається тип виробництва, в якому виготовляється деталь - середньосерійне - по [4] с.24, таблиця 3.1.

Середньосерійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються або ремонтуються, періодично повторюваними партіями і порівняно великим об'ємом випуску і є основним типом сучасного машинобудівного виробництва. Підприємствами цього типу випускається в даний час 75-80% всієї продукції машинобудування України. За технологічним та виробничим характеристикам середньосерійне виробництво займає проміжне місце між одиничним і масовим виробництвом.

У середньосерійному типі виробництва використовуються універсальні і спеціалізовані, частково спеціальні верстати, які розташовуються в послідовності технологічного процесу для однієї або декількох деталей, що вимагають однакового порядку обробки, в тій же послідовності утворюється і рух деталей.

Виробництво йде партіями, причому деталі кожної партії можуть дещо відрізнитися одна від одної розмірами або конструкцією, допускають обробку на одному і тому ж обладнанні. Виробничий процес ведеться таким чином, що після виконання обробки заготовок на одній операції проводиться обробка цієї ж партії на наступній операції.

При середньосерійному типі виробництва широко використовуються верстати з ЧПК, обробні центри, а так само знаходять застосування гнучкі

автоматичні системи верстатів з ЧПК. Переналагодження верстатів, пристосувань і інструментів, а також перебудова виробничого процесу при переході на обробку інших різновидів подібних деталей забезпечуються попередньою технологічною підготовкою.

Середня кваліфікація робітників при середньосерійному типі виробництва вище, ніж в масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, і налагоджують використовуються робітники-оператори невисокої кваліфікації, що працюють на налаштованих верстатах.

Технологічна документація та технічне нормування докладно розробляються для найбільш складних і відповідальним заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації та дослідно-статистичного нормування найпростіших заготовок.

#### **1.4 Вибір і технічне обґрунтування методу виготовлення заготовки**

Основні способи виробництва заготовок - лиття, обробка тиском, зварювання. Спосіб отримання тієї чи іншої заготовки залежить від службового призначення деталі і вимог, висунутих до неї, від її конфігурації і розмірів, виду конструкційного матеріалу, типу виробництва та інших чинників [5] с. 21.

Одну і ту ж деталь можна виготовити з заготовок, отриманих різними способами. Одним з основоположних принципів вибору заготовки є орієнтація на такий спосіб виготовлення, який забезпечить їй максимальне наближення до готової деталі. В цьому випадку істотно скорочується витрата матеріалу, обсяг механічної обробки і виробничий цикл виготовлення деталі. Однак при цьому в заготівельному виробництві збільшуються витрати на технологічне обладнання та оснащення, їх ремонт та обслуговування. Тому при виборі способу отримання заготовки слід проводити техніко-економічний аналіз двох етапів виробництва - заготівельного і механообробного.



Вибір оптимального способу виробництва заготовок здійснюють шляхом зіставлення техніко-економічних показників розглянутих технологічних варіантів. Завдання полягає в тому, щоб визначити, який з порівнюваних варіантів економічно більш доцільний.

#### 1.4.1 Базовий метод отримання заготовки

Заводський метод отримання заготовки – поковка, кована на молотах.

Для виготовлення деталі типу «Диск направляючий» приймається тип поковки - диск з [6] с.3, таблиця 1. Для перевірки правильності вибору необхідно перевірити виконання співвідношення розмірів:  $H \leq 0,5D$

Підставляючи дані з креслення, отримуємо:  $22 < 162,5$ . Співвідношення розмірів вірно, отже, тип поковки обраний правильно.

Припуски і бокові відхилення на розміри деталі призначаються по [6] с.13, таблиця 7:

- на зовнішній діаметр 325 мм припуск і граничне відхилення -  $13 \pm 4$  мм;
- на висоту 22 мм припуск і граничне відхилення -  $9 \pm 3$  мм.

Остаточно розміри поковки визначаються за формулою:

$$P_i = (P_i +) \pm /2, \quad (1.3)$$

де  $P$  - і-й розмір заготовки, мм;

$P$  - і-й розмір деталі, мм;

- припуск на відповідний розмір деталі мм;
- граничні відхилення на відповідний розмір деталі, мм.

Використовуючи формулу (1.3) і визначаємо остаточні розміри поковки:

$$D = (325 + 13) \pm 4 = 338 \pm 4 \text{ мм};$$

$$H = (22 + 9) \pm 3 = 31 \pm 3 \text{ мм}.$$

Маса заготовки визначається за формулою:

$$m_3 = \rho \cdot V, \quad (1.4)$$

де  $\rho$  - щільність сталі,  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>;

$V$  - об'єм заготовки, м<sup>3</sup>.

Об'єм заготовки визначається як сума об'ємів геометричних тіл, що складають деталь:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H^1, \quad (1.5)$$

$$V = \cdot 0,031 = 0,00278 \text{ м}^3.$$

Тоді маса заготовки дорівнює:

$$m = 7850 \cdot 0,00278 = 21,82 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання заготовки визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{m_d}{m_{п.ор.}} \quad (1.6)$$

де  $m_d$  - маса деталі,  $m=8,1$  кг.

$$K = 0,37 .$$

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою:

$$K_M = \frac{m_d}{m_{п.ор.} + m} \quad (1.7)$$

де  $m$  - маса відходів виробництва заготовки, для поковок кованих  $m = 3\%m_d$ ,  $m=0,44$  кг.

$$K = 0,36.$$

#### 1.4.2 Пропонований метод отримання заготовки

Залежно від матеріалу деталі, типу виробництва, розмірів і конфігурації деталі по [7] с.138, таблиця 21, пропонований метод отримання заготовки: поковка штампована на кривошипному гарячештамповочному пресі (КГШП) виконана в закритих штампах.

Для визначення припусків табличним способом проводяться такі розрахунки по [8]:

Клас точності поковки - Т2 (с.28, таблиця 19, додаток 1).

Група сталі - М2 (с.8, таблиця 1).

Коефіцієнт для визначення орієнтовної маси поковки  $K=1,4$  (с.31, таблиця 20, додаток 3).

Орієнтовна (розрахункова) маса поковки визначається за формулою  $m = m \cdot K$ .

$$m = 8,1 \cdot 1,4 = 11,3 \text{ кг.}$$

Для визначення ступеня складності необхідно визначити відношення маси  $G$  поковки до маси  $G$  геометричної фігури.

Маса геометричної фігури (циліндра) визначається за формулою:

$$G_{\phi} = \rho \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H, \quad (1.8)$$

де  $D$  - діаметр циліндра (найбільший діаметр деталі),  $D=0,325$  м;

$H$  - висота циліндра (довжина деталі),  $H=0,022$  м.

$$G = 7850 \cdot 0,325 \cdot 0,022 = 14,3 \text{ кг.}$$

Тоді відношення фігур  $G/G=11,3/14,3=0,79$ .

Ступінь складності - С1 (с.29, додаток 2).

Вихідний індекс - 10 (с.10, таблиця 2).

Конфігурація поверхні роз'єму штампа - П (плоска) (с.8, таблиця 1).

Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметр шорсткості, який необхідно досягти після механічної обробки, визначаються основні припуски на механічну обробку (с.12, таблиця 3), допуски і допустимі відхилення лінійних розмірів (с.17, таблиця 8) та допустимі припуски (с.20, таблиці 9,10,11,12,13).

Основні припуски на розміри (на сторону), мм:

1,8 - діаметр 325 мм і шорсткість поверхні  $Ra=1,6$  мкм;

1,8 - діаметр 260 мм і шорсткість поверхні  $Ra=6,3$  мкм;

1,5 - діаметр 92 мм і шорсткість поверхні  $Ra=6,3$  мкм;

1,5 - діаметр 60 мм і шорсткість поверхні  $Ra=6,3$  мкм;

1,4 - довжина 22 мм і шорсткість поверхні  $Ra=1,6$  мкм;

1,4 - довжина 10 мм і шорсткість поверхні  $Ra=6,3$  мкм.

Додаткові припуски, що враховують:

- зміщення по поверхні роз'єму штампа - 0,3 мм (с.14, таблиця 4);
- зігнутість, відхилення від площинності і прямолінійності - 0,4 мм (с.14, таблиця 5).

Розміри поковки,  $325+(1,8+0,3+0,4) \cdot 2= 330$  мм:

- діаметр  $325+(1,8+0,3+0,4) \cdot 2= 330$  мм;
- діаметр  $260-(1,8+0,3+0,4) \cdot 2= 255$  мм;
- діаметр  $92+(1,5+0,3+0,4) \cdot 2= 96,4$  мм приймається 97 мм;
- діаметр  $60-(1,5+0,3+0,4) \cdot 2= 55,6$  мм приймається 55 мм;
- довжина  $22+(1,1+0,3+0,4) \cdot 2= 26,2$  мм приймається 26 мм;
- довжина  $10+2,0-1,4-0,3-0,4 = 9,9$  мм приймається 10 мм.

Допустима висота торцевої задирки, що утворилася по контуру пуансона при штампуванні в закритих штампах - 8 мм (с.22, таблиця 11).

Допустиме відхилення по зігнутості, від площинності і прямолінійності - 0,8 мм (с.23, таблиця 13).

Допустиме відхилення від концентричності пробитого отвору щодо зовнішнього контуру поковки - 10 мм (с.23, таблиця 12). Допустиме відхилення від концентричності пробитого отвору відповідає початку пробивки (з боку входу пуансона в поковки). В кінці пробивки (з боку виходу пуансона) це відхилення може бути збільшено на 25%.

Результати розрахунків припусків і допусків з граничними відхиленнями розмірів зведені в таблицю 1.4.

Коефіцієнт використання заготовки визначається за формулою (1.6):

$$K = 0,72.$$

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою (1.7) (для штамповок на КГШП  $m = 10\% \cdot m = 10\% \cdot 11,3 = 1,13$  кг):

$$K = 0,65.$$

Вигідніше використовувати заготовку, штамповану на кривошипно-гарячештампочному пресі (КГШП), виконану в закритих штампах, ніж ковани на молотах, тому що коефіцієнти використання заготовки і матеріалу в першому випадку вище, ніж ті ж коефіцієнти в другому випадку.

Таблиця 1.4 - Зведена таблиця для визначення розмірів заготовки в міліметрах

<i>Розмір деталі</i>	<i>Основний припуск на сторону</i>	<i>Додатковий припуск на сторону</i>	<i>Розрахунковий розмір заготовки</i>	<i>Допуск та граничні відхилення</i>	<i>Прийнятий розмір заготовки</i>
$\phi 325$	18	0,3; 0,4	330	$2,5^{+1,6}_{-0,9}$	$330^{+1,6}_{-0,9}$
$\phi 260$	18	0,3; 0,4	255	$2,5^{+0,9}_{-1,6}$	$255^{+0,9}_{-1,6}$
$\phi 92$	15	0,3; 0,4	96,4	$1,6^{+1,1}_{-0,5}$	$97^{+1,1}_{-0,5}$
$\phi 60$	15	0,3; 0,4	55,6	$1,6^{+0,5}_{-1,1}$	$55^{+0,5}_{-1,1}$
22	14	0,3; 0,4	26,2	$1,4^{+0,9}_{-0,5}$	$26^{+0,9}_{-0,5}$
10	20; 14	0,3; 0,4	9,9	$1,4^{+0,5}_{-0,9}$	$10^{+0,5}_{-0,9}$

### 1.5 Розрахунок припусків аналітичним методом

Величина припуску впливає на собівартість виготовлення деталі. При збільшеному припуску підвищуються витрати праці витрата матеріалу і інші виробничі витрати, а при зменшеному доводиться підвищувати точність заготовки, що також збільшує собівартість виготовлення деталі.

Для отримання деталей вищої якості необхідно при кожному технологічному переході механічної обробки заготовки передбачати виробничі похибки, що характеризують відхилення розмірів, геометричні відхилення форми поверхні, мікронерівності, відхилення розташування поверхонь. Всі ці відхилення повинні знаходитися в межах поля допуску на розмір поверхні заготовки.

Аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі виробничих похибок, що виникають при конкретних умовах обробки заготовки

Згідно завдання проводиться розрахунок припусків аналітичним методом для зовнішньої поверхні тіла обертання 325h11.

Маршрут обробки даної поверхні вибирається по [7] с.8, таблиця 4 і зводиться в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 - Маршрут обробки поверхні 325h11.

<i>Найменування операції (переходу)</i>	<i>Квалітет точності IT</i>	<i>Параметр шорхності Rq, мкм</i>
<i>Заготівельна</i>	<i>T2</i>	<i>50</i>
<i>Точіння чорнове</i>	<i>H14</i>	<i>50-6,3</i>
<i>Точіння чистове</i>	<i>h11</i>	<i>3,2</i>

Величина мінімального припуску при обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь (двосторонній припуск) визначається по формулі:

$$2Z_{\min i} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + \epsilon_{yi}^2}), \quad (1.9)$$

де  $Rz$  - висота мікронерівностей профілю на попередньому переході (операції), мкм;

$h$  - глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (операції) (зневуглецьована або відокремлений шар), мкм;

$p$  - сумарні значення просторових відхилень форми на попередньому переході (операції), мкм;

$\epsilon$  - похибка установки заготовки на виконуваному переході (операції), мкм.

Висота мікронерівностей  $Rz$  та глибина дефектного шару  $h$  вибираються по таблицям [7]:

- для заготовки (с.186, таблиця 12):  $Rz=200$  мкм;  $h=250$  мкм;
- для точіння чорнового (с.188, таблиця 25):  $Rz=50$  мкм;  $h=50$  мкм.

Сумарне значення просторових відхилень форми заготовки при обробці в патроні отворів визначається по формулі:

$$P_{3DZ} = \sqrt{p_{cm}^2 + p_{eck}^2}, \quad (1.10)$$

де  $p_1$  - допустима похибка поковки по зміщенню осей фігур, по [9] с.169, таблиця 6:  $p=1300$  мкм;

$p_2$  - допустима похибка поковки по ексцентричності отворів, по [9] с.169, таблиця 6:  $p=1000$  мкм.

$$p = 1300 + 1000 = 1640 \text{ мкм.}$$

Величина остаточного сумарного значення просторових відхилень форми заготовки після виконання переходу (операції) визначається по формулі:

$$P_i = P_{3DZ} \cdot K_y, \quad (1.11)$$

де  $K$  - коефіцієнт уточнення.

Коефіцієнт уточнення вибирається по [7] с.190, таблиця 29:

- для точіння чорнового:  $K=0,05$ .

Тоді сумарні значення просторових відхилень форми по переходам дорівнюють:

$$p = 1640 \cdot 0,05 = 82 \text{ мкм.}$$

Необхідне положення заготовки в робочій зоні верстата досягається в процесі її установки. Процес установки включає базування і закріплення. Відхилення в положенні заготовки, що виникає при базуванні, називається похибкою базування  $\epsilon$ , а при закріпленні - похибкою закріплення.

Похибка установки визначається за формулою:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_\delta^2 + \epsilon_3^2}, \quad (1.12)$$

При укрупнених розрахунках точності обробки похибку  $\epsilon$  можна визначити за таблицями ([4] с.138, табл.5):

- для точіння чорнового  $\epsilon = 150$  мкм;

- для точіння чистового  $\epsilon = 120$  мкм.

Елементи припуски заносяться в таблицю 1.6.

Підставивши вибрані ( $R_z$ ,  $\epsilon$ ,  $h$ ) та розраховані ( $p$ ) значення в формулу (1.10), визначаються мінімальні припуски на відповідних переходах.

$$2Z = 2 \cdot (200+250+ 1640+150) = 4194 \text{ мкм;}$$

$$2Z = 2 \cdot (50+50+ 82+120) = 490 \text{ мкм.}$$

Допуск заготовки  $b$ , визначений в п.4, дорівнює  $b=2,5$  мм ( $e_s=1,6$  мкм;  $e_i=-0,9$  мкм).

Допуски по переходам визначаються по [9]:

- для точіння чорнового:  $b= 1,4$  мм ( $e_s=0$  мм;  $e_i=-1,4$  мм);

- для точіння чистового:  $b= 0,36$  мм ( $e_s=0$  мм;  $e_i=-0,36$  мм).

Розміри поверхні після напівчистового точіння визначаються по формулам:

$$d_{min \text{ чист}} = d_{nom \text{ чист}} + ei_{\text{чист}}, \quad (1.13)$$

$$d = 325 - 0,36 = 324,64 \text{ мм},$$

$$d_{min \text{ чист}} = d_{nom \text{ чист}} + ei_{\text{чист}}, \quad (1.14)$$

$$d = 325 + 0 = 325,0 \text{ мм}.$$

Номінальний та максимальний припуски на напівчистове точіння визначаються по формулам:

$$2Z_{nom \text{ чист}} = 2Z_{min \text{ чист}} + \delta_{\text{чорн}}, \quad (1.15)$$

$$2Z = 0,490 + 1,4 = 1,89 \text{ мм},$$

$$2Z_{max \text{ чист}} = 2Z_{nom \text{ чист}} + \delta_{\text{чист}}, \quad (1.16)$$

$$2Z = 1,89 + 0,36 = 2,25 \text{ мм}.$$

Розміри поверхні після точіння чорнового 25 визначаються по формулам:

$$d_{min \text{ чорн}} = d_{max \text{ чист}} + 2Z_{min \text{ чист}}, \quad (1.17)$$

$$d = 325,49 + 1,4 = 326,89 \text{ мм}.$$

Номінальний та максимальний припуски на точіння чорнове визначаються по формулам:

$$d_{min \text{ чорн}} = d_{max \text{ чист}} + 2Z_{min \text{ чист}}, \quad (1.18)$$

$$2Z = 4,194 + 0,9 = 5,094 \text{ мм},$$

$$2Z_{max \text{ чорн}} = 2Z_{nom \text{ чорн}} + \delta_{\text{чорн}} + eS_{\text{заг}}, \quad (1.19)$$

$$2Z = 15,094 + 1,4 + 1,6 = 8,094 \text{ мм}.$$

Розміри заготовки визначаються по формулам:

$$d_{nom \text{ заг}} = d_{nom \text{ чорн}} + 2Z_{nom \text{ чорн}}, \quad (1.20)$$

$$d = 326,89 + 5,094 = 331,984 \text{ мм}.$$

Приймаємо номінальний діаметр отвора заготовки 332 мм.

$$d_{min \text{ заг}} = d_{nom \text{ заг}} + ei_{\text{заг}}, \quad (1.21)$$

$$d = 332 - 0,9 = 331,1 \text{ мм},$$

$$d_{min \text{ заг}} = d_{nom \text{ заг}} + ei_{\text{заг}}, \quad (1.22)$$



$$d = 332 + 1,6 = 333,6 \text{ мм.}$$

Розраховані значення номінальних та максимальних припусків та проміжних розмірів зводяться в таблицю 1.6.

Розрахунок загального припуску на обробку поверхні визначається по формулі:

$$2Z_{\text{ном заг}} = \sum 2Z_{\text{ном м.п.}}, \quad (1.23)$$

де  $2Z$  - сума номінальних міжопераційних припусків, мм.

$$2Z = 1,89 + 5,094 = 6,984 \text{ мм - приймаємо } 7,0 \text{ мм.}$$

Таблиця 1.6 - Вихідні та розрахункові данні на заданий розмір

Технологічні операції (переходи)	Елементи припуску, мкм				Розрахунок припусків, мм			Розрахунок розмірів, мм		
	$Rz_{i-1}$	$h_{i-1}$	$p_{i-1}$	$\epsilon_{yi}$	$2Z_{\text{min}}$	$2Z_{\text{ном}}$	$2Z_{\text{max}}$	$d_{\text{min}}$	$d_{\text{ном}}$	$d_{\text{max}}$
Заготівельна	-	-	-	-	-	-	-	331,1	332,0	333,6
Точіння чорнове	200	250	1640	150	4,194	5,094	8,094	325,49	326,89	326,89
Точіння чистове	50	50	82	120	0,490	1,890	2,250	324,64	325,0	325,0

## 1.6 Розробка маршрутного технологічного процесу

В даному пункті порівнюється базовий (заводський) і пропонувані технологічні процеси, які наведені в таблиці 1.7.

В даний час існує багато різноманітних технологічних способів отримання поверхонь заданої якості, які забезпечує однакові вимоги до оброблюваних поверхонь деталей, але істотно розрізняються по собівартості і реалізації.

При проектуванні одним із завдань є створення такого технологічного процесу, який забезпечував би задану точність і шорсткість поверхонь деталі, потрібні фізико-механічні якості поверхневого матеріалу при найбільшій продуктивності мінімальної собівартості виробництва.

Таблиця 1.7 - Порівняння базового і запропонованого технологічних процесів

<i>Базовий технологічний процес</i>			<i>Запропонований технологічний процес</i>		
<i>№ операції</i>	<i>Найменування операції</i>	<i>Обладнання</i>	<i>№ операції</i>	<i>Найменування операції</i>	<i>Обладнання</i>
005	Заготівельна		005	Заготівельна	
010	Контрольна ОТК		010	Контрольна ОТК	
015	Токарно-звигтарізна	16K30	015	Термічна	
020	Контрольна ОТК		020	Контрольна ОТК	
025	Маркирочная		025	Маркирочная	
030	Токарно-звигтарізна	16K30	030	Токарно-звигтарізна	СА6140
035	Контрольна ОТК		035	Токарна с ЧПУ	СКЕ6136Z
040	Маркирочная		040	Контрольна ОТК	
045	Контрольна ОТК		045	Токарна с ЧПУ	СКЕ6136Z
050	Разметочная		050	Контрольна ОТК	
055	Вертикально-фрезерна	6M13П	055	Плоскошлифовальна	HZ-64
060	Контрольна ОТК		060	Контрольна ОТК	
065	Координатно-расточна	2В440А	065	Фрезерна с ЧПУ	ХК714G
070	Контрольна ОТК		070	Контрольна ОТК	
075	Плоскошлифовальна	3E722	075	Свердлильна с ЧПУ	GD125x16
080	Контрольна ОТК		080	Слюсарна	
085	Слюсарна		085	Контрольна ОТК	
			090	Маркирочная	

### 1.6.1 Пропоновані методи забезпечення технічних вимог в процесі обробки

Точність обробки - відповідність оброблених поверхонь вимогам креслення. Аналізуючи ці вимоги, можна побачити, що обмежені вони чотирма факторами:

- дотримання розмірної точності;
- дотримання вимог шорсткості поверхонь;
- дотримання допусків форми і взаємного розташування поверхонь;
- дотримання необхідної твердості поверхні.

Кожна поверхня деталі служить для певної мети в вузлі виробу. Залежно від того для чого призначена поверхню, її виготовляють з певною точністю і шорсткістю. Для досягнення потрібної шорсткості (всього 14 класів

шорсткості) і квалітету точності (всього 19 квалітетів) призначається кілька стадій обробки.

Найточніший квалітети точності деталі «Диск направляючий» на розміри 119h11, d325h11 u d270h6. Необхідна точність досягається завдяки використанню достатньої кількості стадій обробки:

- чорнове точіння;
- напівчистове точіння;
- чистове точіння.

Шорсткості на цих поверхнях  $Ra = 3,2$  мкм u  $Ra = 1,6$  мкм забезпечується в першу чергу вибором оптимальних режимів різання (для поліпшення шорсткості - швидкість різання збільшується, а подача зменшується) правильному підбору геометрії ріжучого інструменту (зі збільшенням переднього кута  $\gamma$  і зменшенням кута в плані  $\rho$  шорсткість підвищується), СОТС (використання в якості МОР - емульсії) і жорсткості технологічної системи СНІД.

Позиційні допуски осі отворів 0,02 і 0,8 досягаються за допомогою використання верстата з ЧПК, від точності базування і від точності позиціювання верстата.

Допуски торцевого і радіального биття 0,02 мм і 0,05 мм щодо бази Г досягаються тим, що поверхні обробляються за один установ, тобто похибка базування дорівнює нулю.

Додаткових вимог до креслення деталі немає.

1.6.2 Аналіз заводського технологічного процесу і пропонувані нововведення по обладнанню, технологічному оснащенню і базуванню

В даному пункті аналізується базовий (заводський) технологічний процес і вносяться в нього корективи - нововведення по обладнанню, технологічному оснащенню і базуванню

005 Заготівельна

В умовах одиничного типу виробництва заготовка - поковка кована на молотах. У зв'язку з тим, що змінений тип виробництва на середньосерійному виникла необхідність змінити спосіб отримання заготовки. Обґрунтування вибору способу отримання заготовки див. п.4.

#### 010 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри заготовки

Вимірювальний інструмент: Штангенциркуль ШЦ-1-400-0,1 ГОСТ 166-89.

#### 015 Токарно-гвинторізна

На операції за два установи проводиться чорнова обробка деталі. Деталь базується і закріплюється в чотирикулачній патроні 400. Патрон 7103-0014 ГОСТ 3890-82. В цілому деталь позбавлена п'яти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази: установча і подвійна опорна. Устаткування: токарно-гвинторізний верстат мод. 16К30. Ріжучий інструмент: Різець НВ 3-218 Т5К10. Свердло 2301-0069 Р6М5 ГОСТ 10903-77. Свердло 2301-0137 Р6М5 ГОСТ 10903-77. Допоміжний інструмент: Втулка 6101-0028 Гост 13793-68 \*.

Пропоновані нововведення: в зв'язку зі збільшенням програми випуску деталі і зміни способу отримання заготовки, дана операція буде проводитися за один установ, будуть оброблятися поверхні, які будуть використовуватися на наступних операціях для базування (чистові бази) Також замінені модель обладнання на більш сучасну модель СА6140, чотирикулачний патрон замінюється на три кулачний, що дозволить знизити час на установку деталі, замінюється і ріжучий інструмент на стандартний.

#### 020 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, отримані на попередній операції технологічного процесу Міряльний інструмент: Штангенциркуль ШЦ - 125-0,1 ГОСТ 166 -89. Штангенциркуль ШЦ - II - 400-01 ГОСТ 166-89.

#### 025 Маркувальна

Маркувати ударним способом: позначення креслення і марку матеріалу.  
Допоміжний інструмент: Клеймо 7858-0122 ВК8 - Х1Н12 ГОСТ 25726-83.  
Клеймо 7858-0122 ВК8 - Х1Н12 ГОСТ 25726-83. Молоток 7850-0101 Ц15.хр  
ГОСТ 2310-77.

### 030 Токарно-гвинторізна

На даній операції за два установа проводиться чистова обробка деталі, залишаючи припуск під шліфування з боку торця 325511/ 260.

Деталь базується і закріплюється в трикулачні патроні Патрон 7100-0018 ГОСТ 2675-80 \*. В цілому деталь позбавлена п'яти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази: установча і подвійна опорна.

Устаткування: Токарно-гвинторізний верстат мод. 16К30.

Ріжучий інструмент: Різець НВ 3-265 Т15К6. Різець НВ 3-228 Т15К6.  
Різець НВ 3-242 Т15К6. Різець НВ 3-228 Т30К4.

Пропоновані нововведення: в зв'язку зі збільшенням програми випуску деталі, дана операція розвивається на дві токарні з ЧПУ, обробка на яких буде проводиться за один установа. Також замінена модель обладнання на більш сучасну модель СКЕ61362 з системою ЧПУ wL 4. Замінюється і ріжучий інструмент на різці з механічним кріпленням багатогранних неперемагнічуваних пластинок і спеціальні різці.

### 035 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, отримані на попередній операції технологічного процесу. Биття торця 325h11/270h6 - 0,02 мм і поверхні 325h11 - допуск 0,05 мм - забезпечується технологічно, так як обробляються за один установа.

Вимірювальний інструмент: Штангенциркуль ШЦ -I- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*. Штангенциркуль ШЦ - III - 400-0,1 ГОСТ 166-89 \*. Скоба O270h6 СТП 963 79 00-04. Кутомір ГОСТ 5378-88 \*. Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93 \*.

Пропоновані нововведення: в пропоновані технологічному процесі буде замінена скоба на стандартну по ГОСТу, також для контролю скосів і галтелей будуть використовуватися спеціальні калібри і шаблон.

## 040 Маркувальна

Маркувати ударним способом позначення креслення і марку матеріалу.  
Допоміжний інструмент: Клеймо 7858-0122 ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83.  
Клейма 7858-0122 ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83. Молоток 7850-0101 Ц15 хр  
ГОСТ 2310-77.

## 045 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються маркування деталі

## 050 Розмічальна

На даній операції, на розмічальній плиті, розмічають 2 пази 30x15 мм  
Допоміжний інструмент: Лінійка L150 ГОСТ 427-75. Чортилка 7840-  
1008 ГОСТ24473-83. Циркуль розмічальний 7841-0078 ГОСТ 24472-80.

## 055 Вертикально-фрезерна

На даній операції фрезерується з перевстановленням 2 пази 30x15,  
глибиною 9.5 мм і фрезерується з перевстановленням 2 пази 30x6, глибиною  
12 мм. Деталь базується і закріплюється в спеціальному пристрої. В цілому  
деталь позбавлена п'яти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази:  
установча і подвійна опорна.

Обладнання: Вертикально-фрезерний верстат мод 6М13П.

Ріжучий інструмент: Фреза шпонкова діаметр 6 СТП 8260000-04. Фреза  
шпонкова діаметр12 СТ П 826 0000-04. Допоміжний інструмент: Патрон 1-50-  
10-90 ГОСТ 26539-83.

Пропоновані нововведення: дана операція буде замінена на операцію  
фрезерну з ЧПК, модель верстата змінюється з 6550 на ХК714G з системою  
ЧПК WL4M, що дозволить зменшити енергоресурси. У пропонованому  
технологічному процесі будуть замінені фрези на стандартні по ГОСТ.

## 060 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри пазів

Міряльний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-89\*

## 065 Координатно-розточна

На даній операції свердляться і розточуються отвори заготовки, зенкуються фаски в отворах. Обробка ведеться в спеціальному пристрої за два установи. В цілому деталь позбавлена п'яти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази: установча і подвійна опорна.

- Обладнання:

Координатно-розточний верстат мод. 2В440А

- Ріжучий інструмент:

Свердло 2317-0107 ГОСТ 14952-75\*

Свердло 8 2301-0015 ГОСТ 10903-77\*

Свердло 9 2301-0023 ГОСТ 10903-77\*

Свердло 13 2301-0042 ГОСТ 10903-77\*

Свердло 24 2301-0083 ГОСТ 10903-77\*

Різець розточний СТП 330-2085-79

Зенківка 6 СТП 807.11.00-80

- Вимірювальний інструмент:

Пробка 13,94+0.02 СТП 9747900-03

Запропоновані нововведення: в зв'язку зі збільшенням програми випуску деталі, подана операція розбивається на дві з ЧПУ, обробка на яких буде здійснюватися за один установ. Отвори 14Н7 та 9 обробляються разом з пазами на операції фрезерної з ЧПУ на верстаті моделі ХК714G з системою ЧПУ WL4M, а отвори 8 та 24 обробляються на операції свердлильної з ЧПУ на верстаті моделі GD125x16 з системою ЧПУ WL4M. Причому змінюється технологія обробки отворів 14Н7, зі свердлення та розточування на свердління, зенкування та розгортання.

- 070 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри отворів.

Мірний інструмент:

Пробка 13,94<sup>±</sup>0.02 СТП 9747900-03

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0.1 ГОСТ 166-89\*

- 075 Плоскошліфувальна

На даній операції шліфується торець 325h11/ 260.

Деталь базується та закріплюється на підставці П4-663. В цілому деталь позбавлена п'яти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази: Установочна та подвійна опорна.

Обладнання:

Плоскошліфувальний станок мод. 3E722.

- 080 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри 22.19h11 та шорсткість поверхні  $Ra=1.6$  мкм. Перевіряється паралельність торців 325h11/\* 270 та 325h11/ 270h6 □ допуск 0.03 мм.

- Мірний інструмент:

Мікрометр МК 25-2 ГОСТ 6507-90\*

- 085 Слюсарна

Зачистити поверхню деталі від задирків, котрі з'явилися після механічних операцій.

- Допоміжні інструменти:

Шкурка наждакова ГОСТ 5009-82\*

Напилок ГОСТ 1465-80\*

### 1.6.3 Короткий опис запропонованого технологічного процесу по операціям

В даному пункті описується запропонований технологічний процес з урахуванням нововведень, зазначених в пункті 1.6.2

- 005 Заготовча

Спосіб отримання заготовки □ штампування на кривошипному гарячештамновочному пресі (КГШП). КГШП представляють собою преси зусиллями 6.3... 125 МН

- 010 Контрольна ВТК



На даній операції на столі ВТК контролюються розміри отриманої заготовки.

Мірний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-III-400-0.1 ГОСТ 166-89\*

- 015 Термічна

Вид та режим термічної обробки залежать від її призначення, хімічного складу матеріалу поковки, термомеханічного режиму попередньої штамповки, від габаритів та товщини оброблюваної поковки. Для даної поковки рекомендується вид термічної обробки □загартування 840-860°, охолодження повітря.

- Обладнання: Піч газова ТП-61.
- Допоміжний інструмент: Кліщі ГОСТ 17498-72\*
- 020 Контрольна ВТК

На даній операції контролюються режими термообробки та твердість заготовки.

Мірний інструмент:

Твердомір ТП-808.

- 025 Маркувальна

В зв'язку з тим, що заготовки прямують на обробку не одразу, а лежать 2...3 дня у сховищі, то необхідно маркувати заготовки. Маркування робиться білою фарбою (Емаль ПФ-15, колір білий ГОСТ 9650-85\*)

- Допоміжний інструмент:

Кисть КФК8 ГОСТ 10597-87\*

- 030 Токарно-гвинторізна

В даній операції оброблюються поверхні, показані на рис. 1.3

Деталь базується та закріплюється в патроні самоцентрувальному трьохкулачковому з кріпленням безпосередньо на фланцеві кінці шпинделя верстата, з цілісними кулачками 400 мм по ГОСТ 2674-80\*.

Позначення патрона: □ Патрон 7100-0043 ГОСТ 2675-80\*

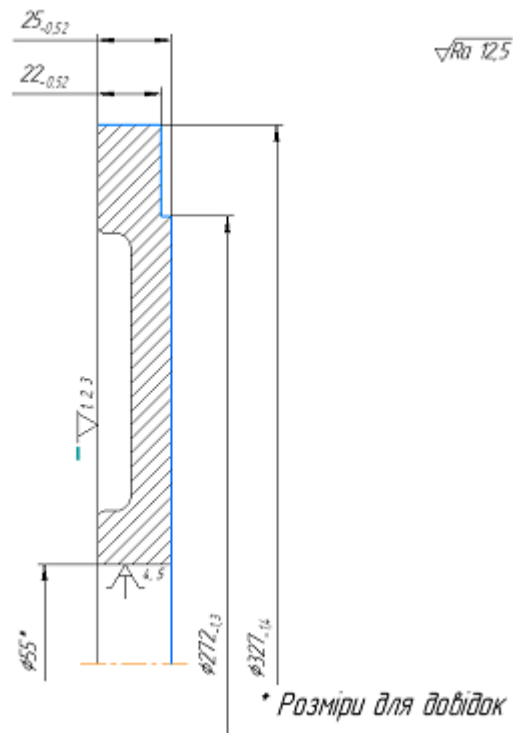


Рисунок 1.3 - Операційний ескіз (Операція 030)

В цілому деталь позбавлена п'яти ступенів свободи, мають місце дві технологічні бази:

- Установча, торець деталі, позбавлений трьох ступенів свободи, переміщений вздовж осі Z та закручений навколо осей X та Y.
- Подвійна опорна, внутрішня циліндрична поверхня 55 мм, позбавляє деталь двох ступенів свободи: переміщений вздовж осей X та Y.
- Обладнання: □ токарно-гвинторізний верстат мод СА6140. Технічні характеристики верстата представлені в таблиці 1.8.
- Ріжучий інструмент: Різець токарний прохідний упорний, тип 2, перетином  $H \times B = 25 \times 16$  мм. З кутом врізання пластини в стрижень  $0^\circ$  з пластиною з твердого сплаву марки Т5К10 та радіусом при вершині 1.0 мм.

Позначення: Різець 2103-0057 Т5К10 ГОСТ 18879-73\*.

Мірний інструмент: Штангенциркуль ШЦ-I-125-0.1 ГОСТ 166-89\*.  
Штангенциркуль ШЦ-III-400-0.1 ГОСТ 166-89\*.

035 Токарна з ЧПУ

На даній операції оброблюються поверхні, вказані на малюнку 1.4..

Деталь базується та закріплюється в патроні самоцентрувальному трьохкулачковому з закріпленням безпосередньо на фланцевому кінці шпинделя верстата, з цільними кулачками 400 мм по ГОСТ 2675-80\*. Позначення патрона: Патрон 7100-0043 ГОСТ 2675-80\*.

В цілому деталь звільнена від п'яти ступенів свободи, мають місце дві технологічні бази:

- установка, торець деталі, звільняє деталь трьох ступенів свободи: переміщень уздовж осі Z та обертань навколо осей Z і Y,
- подвійна опорна, зовнішня циліндрична поверхня 327 мм, звільняє деталь двох ступенів свободи: переміщення уздовж осей X і Y.

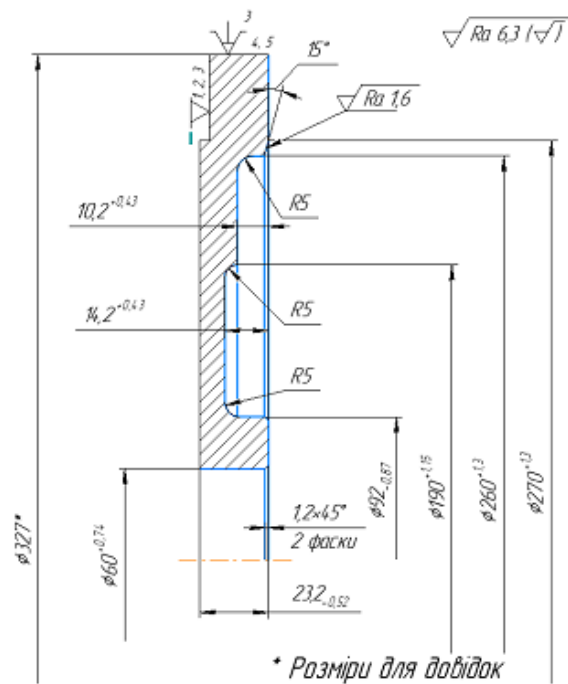


Рисунок 1.4 - Операційний ескіз (операція 035)

Обладнання - токарний верстат мод. СКЕ6136Z, система ЧПУ - WL4T.

Ріжучий інструмент:

Різець спеціальний канавковий для точіння торцевої канавки b15 з напаяною пластинкою з твердого сплаву Т5К10.

Різець токарний прохідний з механічним кріпленням твердосплавної пластинки. Позначення: Різець PCLNR 2020 L12 Т5К10.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89\*.

Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89\*.

Шаблон спеціальний для галтелі R5.

Шаблон спеціальний для скосу 15°.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93\*.

#### 040 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, одержувані на попередніх операціях технологічного процесу.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89\*.

Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89\*.

Шаблон спеціальний для галтелі R5.

Шаблон спеціальний для скосу 15°.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93\*.

#### 045 Токарна з ЧПК

На даній операції оброблюються поверхні, які вказані на рисунку 1.5.

Деталь базується та закріплюється в патроні самоцентрувальному трьохкулачковому з кріпленням безпосередньо на фланцевому кінці шпинделя верстата, з цілісними кулачками 400 мм по ГОСТ 2674-80\*. Патрон 7100-0043 ГОСТ 2675-80\*.

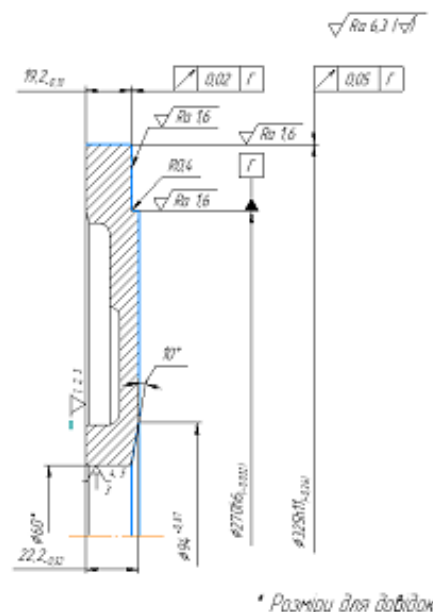


Рисунок 1.5 - Операційний ескіз (операція 045)

В цілому деталь звільнена п'яти ступенів свободи, мають місце дві технологічні бази:

- установча, торець деталі, звільняє деталь трьох ступенів свободи: переміщень вздовж осі Z та обертань навколо осей Z і Y,
- подвійна опорна, зовнішня циліндрична поверхня 327 мм, звільняє деталь двох ступенів свободи: переміщень уздовж осей X і Y.

Обладнання - токарний станок мод. СКЕ6136Z, система ЧПУ - WL4T

Ріжучий інструмент:

Різець токарний прохідний з механічним кріпленням твердосплавної пластинки. Позначення: Різець PCLNR 2020 L12 T5K10.

Різець токарний прохідний з механічним кріпленням твердосплавної пластинки. Позначення: Різець PCLNR 2020 L12 T5K10.

Різець токарний прохідний з механічним кріпленням твердосплавної пластинки. Позначення: Різець PCLNR 2020 L12 T5K10.

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, отримані на попередній операції технологічного процесу. Биття торця 325h11/270h6 - 0,02 мм і поверхні 325h11 - допуск 0,05 мм - забезпечується технологічно, так як обробляються за один установ.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ -I- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Штангенциркуль ШЦ - III - 400-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Скоба спеціальна 270h6.

Шаблон спеціальний для скосу 10°.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93\*.

050 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, одержувані на попередніх операціях технологічного процесу.

Штангенциркуль ШЦ -I- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Штангенциркуль ШЦ - III - 400-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

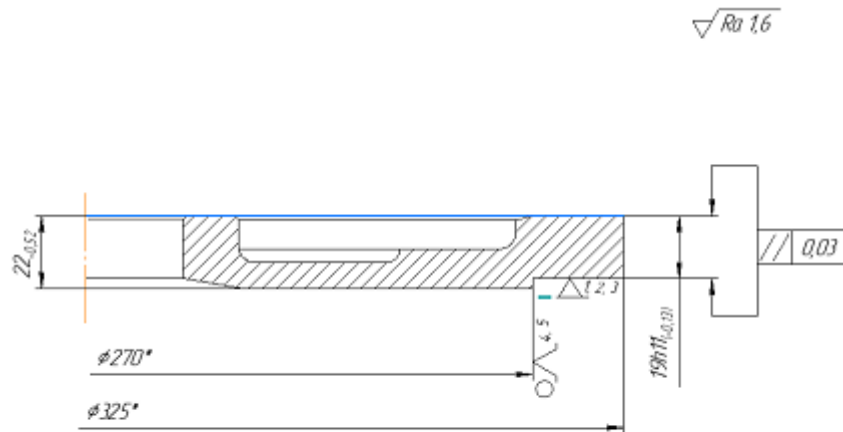
Скоба спеціальна 270h6.

Шаблон спеціальний для скосу  $10^\circ$ .

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93\*.

055 Плоскошліфувальна

На даній операції оброблюються поверхні, які вказані на рисунку 1.6.



\* Розміри для довідок

Рисунок 1.6 - Операційний ескіз (операція 055)

Деталь базується на спеціальній оправі 270 мм. В цілому деталь звільняється п'яти ступенів свободи. Мають місце дві технологічні бази:

- установча, торець деталі, звільняє деталь трьох ступенів свободи: переміщень вздовж осі Z та обертань навколо осей Z і Y,
- подвійна опорна, зовнішня циліндрична поверхня 270 мм, звільняє деталь двох ступенів вільності: переміщень уздовж осей X і Y.

Обладнання - плоскошліфувальний станок мод. HZ-64.

Оснащення:

Оправа спеціальна 270 мм.

Ріжучий інструмент: шліфувальний круг вибираємо по [14].

Встановлюємо характеристику кола (з 169, карта 14).

Для параметра шорсткості поверхні  $Ra = 0,8$  мкм, конструкційної сталі рекомендується характеристика 24А, 25А20С1-6КА, приймаємо 24А20С1-6КА

У характеристики прийняті:

- матеріал абразивних зерен - електрокорунд хромистий 24А,
- зернистість шліфувального зерна - 20,
- твердість - С1 (середня),
- структура - 6 (середня),
- зв'язка - К (керамічна).

У використовуваних нормативах наведені деякі елементи характеристики шліфувального круга, передбачені діючими стандартами. Встановлюємо їх по [15] с348, рис. 143:

- індекс зернистості - Н (при зернистості 20 зміст основних фракцій 45%);
- різновид прийнятої керамічної зв'язки - К1 (для електрокорундного кола),
- тип кола - ПП (плоский),
- клас кола - А .;
- допустима швидкість обертання круга - 35 м / с

Маркування повної характеристики кола: ПП 24А20НС1 -6К1А 35 м / с.

Приймаємо по [16] з 381, таблиця 3  $D = 350$  мм. Висоту кола  $B$  , приймає відповідно до рекомендації [16] з 381, таблиця 3, що дорівнює 40 мм. Діаметр під оправку  $d = 127$  мм.

Коло з прийнятими розмірами може бути встановлений на верстаті мод. НЗ-64

Маркування кола ПП 350x40x127 24, А20НС1-6К1А 35 м / с ГОСТ 2424-83 \*.

Вимірювальний інструмент:

Калібр-скоба 8102-0114 ГОСТ 18356-73 \*.

Контрольно-вимірювальне пристосування для контролю паралельності.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93 \*.

060 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, отримані на попередній операції технологічного процесу.

Вимірювальний інструмент:

Калібр-скоба 8102-014 ГОСТ 18356-73 \*.

Контрольно-вимірювальне пристосування для контролю паралельності.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93 \*.

065 Фрезерна з ЧПК

На даній операції обробляються поверхні, показані на рисунку 1.7.

Деталь базується та закріплюється в спеціальному пристосуванні з пневматичним приводом.

В цілому деталь звільнена п'яти ступенів свободи, мають місце дві технологічні бази:

- установка, торець деталі, звільняє деталь трьох ступенів свободи: переміщень вздовж осі Z та обертань навколо осей Z і Y,
- подвійна опорна, зовнішня циліндрична поверхня 325 мм, звільняє деталь двох ступенів свободи: переміщень уздовж осей X і Y.

Обладнання - фрезерний верстат мод. ХК714G; система ЧПК - WL4Т.

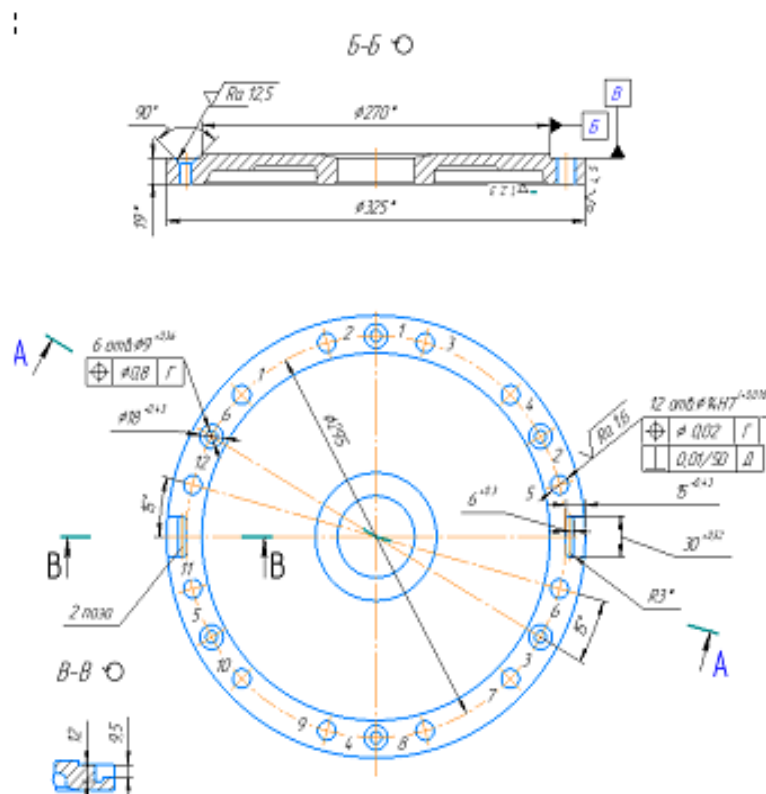


Рисунок 1.7 - Операційний ескіз (операція 065)



Ріжучий інструмент:

Фреза кінцева з циліндричним хвостовиком нормальної точності, діаметром  $d=12$  мм, типу 1, праворіжучої, виконання А. Позначення: Фреза 2220-073 Р6М5 ГОСТ 17025-78\*.

Фреза шпонкова праворіжуча типу 1 діаметром  $d=6$  мм, діаметром хвостовика  $d=6$  мм. Позначення: Фреза 2234-0355 Р6М5 ГОСТ 9140-78\*.

Свердло центрове комбіноване типу А, діаметром  $d=4$  мм, виконана 2. Позначення: Свердло 2317-0007 Р6М5 ГОСТ 14952-75\*.

Свердло спіральне з циліндричним хвостовиком нормальної точності діаметром  $d=9$  мм, праве, виконання 1, класу точності В. Позначення: Свердло 2300-0708 Р6М5 ГОСТ 4010-77\*.

Зенковка конічна типу 10 (с кутом при вершині  $90^\circ$  з конічним хвостовиком - конус Морзе №2), діаметром  $D=20$  мм. Позначення: Зенковка 2353=0134 Р6М5 ГОСТ 14953-80\*.

Свердло спіральне з циліндричним хвостовиком нормальної точності діаметром  $d=12,4$  мм, праве, виконання 1, класу точності В. Позначення: Свердло 2300-0737 Р6М5 ГОСТ 4010-77\*.

Зенкер с циліндричним хвостовиком, діаметром  $d=13,75$  мм, та полем допуску нормального діаметру  $h8$  для наскрізних отворів. Позначення: Зенкер 2320-2728 Р6М5 ГОСТ 12489-71\*.

Розгортка машинна, цільна, типу 1, діаметром  $d=14$  мм, з  $\alpha=15^\circ$ , для обробки отворів з полем допуску Н7. Позначення: Розгортка 2363=3399 Р6М5 ГОСТ 1672-80\*.

Допоміжний інструмент:

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-12-90 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-6-90 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-10-90 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-9-90 ГОСТ 26539-83\*.

Втулка перехідна з зовнішнім конусом 7:24 для інструмента з хвостовиком конус Морзе, з конусом №40 та внутрішнім конусом Морзе №2. Позначення: Втулка 40-2 ГОСТ Р 50161-92\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-13-100 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-14-100 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-13-100 ГОСТ 26539-83\*.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ -I- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Штангенциркуль ШЦ - III - 400-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Калібр-пробка 8133-0928 Н7 ГОСТ 14810-69\*.

Контрольно-вимірювальні пристосування для контролю позиційного допуску.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93\*.

070 Контрольна ВТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, одержувані на попередніх операціях технологічного процесу.

Штангенциркуль ШЦ -I- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Штангенциркуль ШЦ - III - 400-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Калібр-пробка 8133-0928 H7 ГОСТ 14810-69\*.

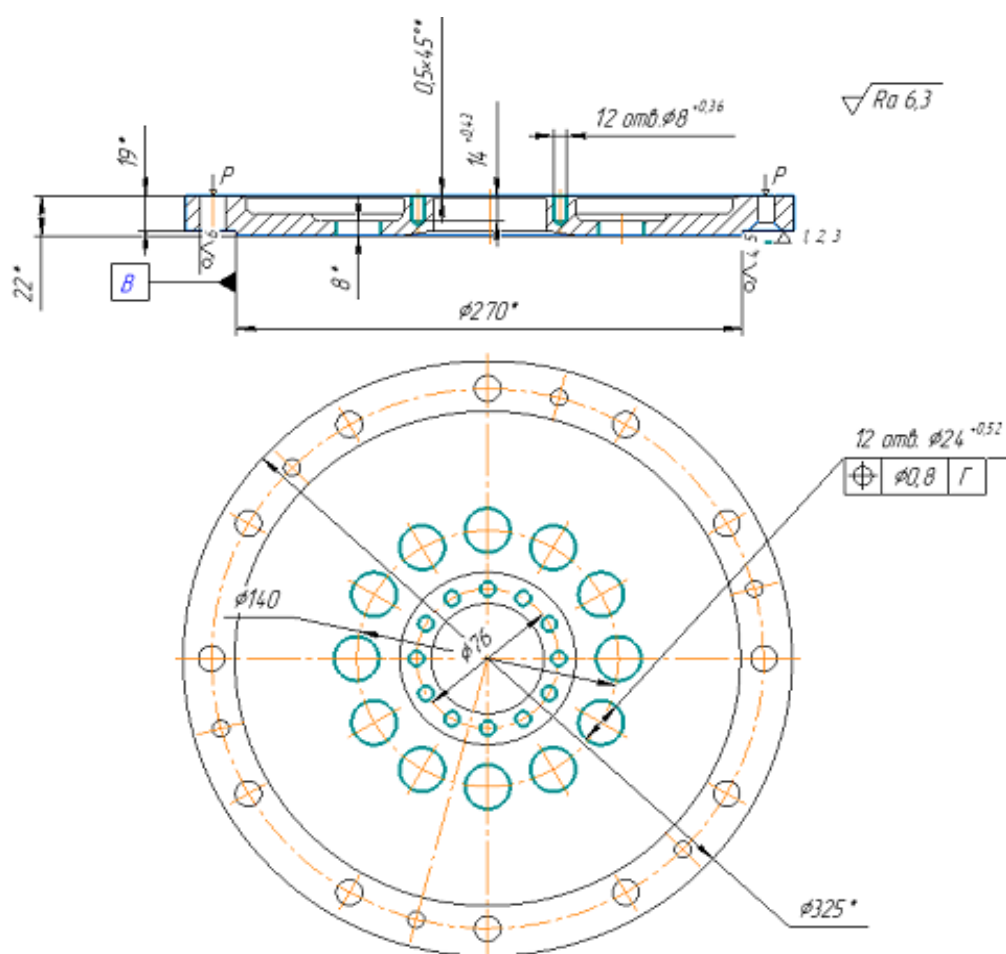
Калібр фасочний спеціальний 18 мм.

Контрольно-вимірювальні пристосування для контролю позиційного допуску.

Зразки шорсткості ГОСТ 9378-93\*.

075 Свердлильна з ЧПУ

На даній операції оброблюються поверхні, які вказані на рисунку 1.8.



\* Розміри для довідок

Рисунок 1.8 - Операційний ескіз (операція 075)

Ріжучий інструмент:

Свердло центрове комбіноване типу А, діаметром  $d=4$  мм, виконана 2. Позначення: Свердло 2317-0007 Р6М5 ГОСТ 14952-75\*.

Свердло спіральне з циліндричним хвостовиком нормальної точності діаметром  $d=8$  мм, праве, виконання 1, класу точності В. Позначення: Свердло 2300-0708 Р6М5 ГОСТ 4010-77\*.

Зенковка конічна типу 6 (с кутом при вершині  $90^\circ$  з конічним хвостовиком - конус Морзе №2), діаметром  $D=10$  мм. Позначення: Зенковка 2353=0134 Р6М5 ГОСТ 14953-80\*.

Свердло спіральне з циліндричним хвостовиком нормальної точності діаметром  $d=24$  мм, з нормальним хвостовиком (конус Морзе №3), праве, класу точності В. Позначення: Свердло 2301-0083 Р6М5 ГОСТ 10903-77\*.

Допоміжний інструмент:

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24 для закріплення інструмента з циліндричним хвостовиком, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-10-90 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-8-90 ГОСТ 26539-83\*.

Патрон цанговий з конусом конусністю 7:24, виконання 2, з конусом №40. Позначення: Патрон 2-40-8-90 ГОСТ 26539-83\*.

Втулка перехідна з зовнішнім конусом 7:24 для інструмента з хвостовиком конус Морзе, з конусом №40 та внутрішнім конусом Морзе №3. Позначення: Втулка 40-2 ГОСТ Р 50161-92\*.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ -І- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Контрольно-вимірювальні пристосування для контролю позиційного допуску.

080 Слюсарна

На даній операції знімаються задирки після механічної операції.

Допоміжний інструмент: Наждачна шкірка ГОСТ 5009-82\*. Напилек ГОСТ 1465-80\*.

### 085 Контрольна ВОТК

На даній операції на столі ВТК контролюються розміри, отримані на операції 075.

Вимірювальний інструмент:

Штангенциркуль ШЦ -І- 125-0,1 ГОСТ 166-89 \*.

Контрольно-вимірювальні пристосування для контролю позиційного допуску.

### 090 Маркувальна

Маркувати ударним способом: 18.01 ДДН Сталь 40Х.

Допоміжний інструмент:

Клеймо 7858-0122 ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83\*.

Клейма 7858-0122 ВК8-Х1Н12 ГОСТ 25726-83\*.

Молоток 7850-0101 Ц15 хр ГОСТ 2310-77\*.

## 1.7 Розробка операційного технологічного процесу

### 1.7.1 Короткий опис траєкторій руху ріжучого інструменту

Опис траєкторії руху ріжучих інструментів на операції 035.

На даній операції виконується обробка деталі на одному установі. Для обробки деталі на даній операції використовується два ріжучих інструмента.

Опис траєкторії руху РІ №1 (рисунок 1.9):

0-1 РІ рухається на прискореній подачі (РІ виходить на координату X)

1-2 РІ рухається на прискореній подачі (РІ виходить на координату Z)

2-3 G74 - цикл багатопрохідного нарізування торцевих канавок

3-4 РІ рухається на прискореній подачі (РІ виходить на координату X)

4-0 РІ на прискореній подачі повертається у вихідну точку

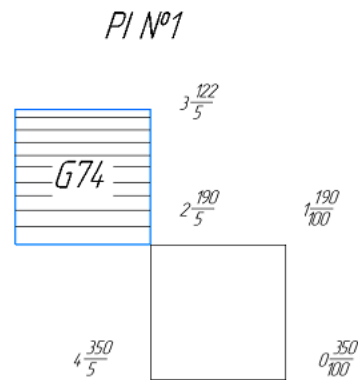


Рисунок 1.9 - Опис траєкторії руху PI2

- 0-1 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату X)
- 1-2 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату Z)
- 2-3 PI на робочій подачі розточуються поверхню 60
- 3-4 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату X)
- 4-5 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату Z)
- 5-6 PI на робочій подачі розточуються фаску  $1,2 \times 45^\circ$
- 6-7 PI на робочій подачі точить торець 60/ 92
- 7-8 PI на робочій подачі точить фаску  $1,2 \times 45^\circ$
- 8-9 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату X)
- 9-10 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату Z)
- 10-11 PI на робочій подачі точить торець 190/ 260
- 11-12 PI на робочій подачі розточуються галтель R5
- 12-13 PI на робочій подачі розточуються поверхню 260
- 13-14 PI на робочій подачі розточуються скос  $15^\circ$
- 14-15 PI на робочій подачі точить торець 270/ 327
- 15-16 PI рухається на прискореній подачі (PI виходить на координату X)
- 16-0 PI на прискореній подачі повертається вихідну точку

## 1.7.2 Вибір режимів різання та нормування операцій технологічного процесу

## 045 Токарна з ЧПК

Стадія обробки - напівчистова (для всіх поверхонь), чистова (для поверхонь 6 та 7).

Вибір режимів різання виготовляється по [12].

Глибина різання для поверхонь, мм 1- $t=3,0$ ; 2- $t=1,0$ ; 3- $t=1,0$ ; 4- $t=0,8$ ; 5- $t=0,8$ ; 6- $t=0,2$ ; 7- $t=0,2$ .

Вибір подачі

Для напівчистої стадії обробки значення подач визначається по карті 4. Для поверхні 1 при точінні деталі з діаметром до 180 мм та глибиною різання  $t=3,0$  мм рекомендується подача  $S=0,39$  мм/об (поз 4, інд. в). Для поверхонь 2-5 відповідно рекомендується подача  $S=0,88$  мм/об (поз. 2, інд. г). Поправочні коефіцієнти на подачу в залежності від інструментального матеріалу  $K=1,0$  та способу закріплення пластини  $K=1,0$ .

Рекомендовані подачі заносяться в таблицю 1.8.

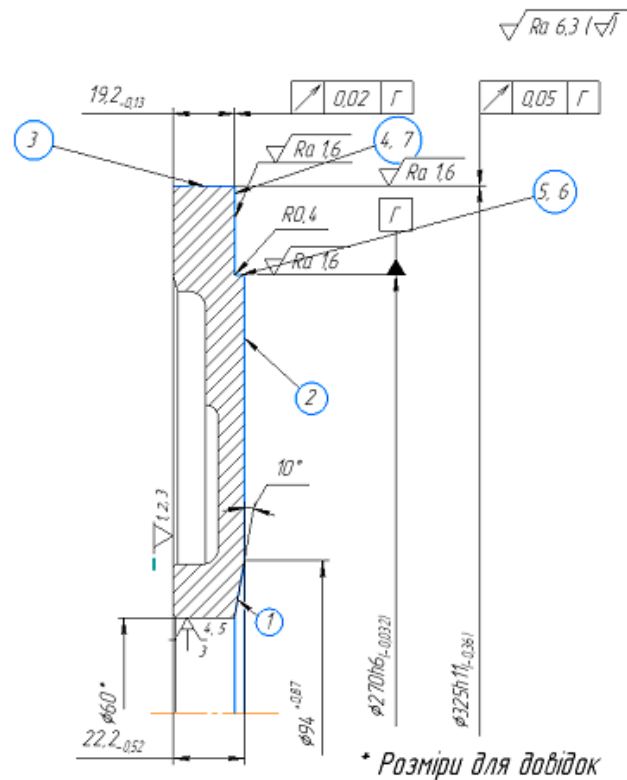


Рисунок 1.11 - Ескіз деталі для нормування операції 045

По карті 5 визначаються поправочні коефіцієнти на подачу напівчистої стадії обробки

для змін умов обробки в залежності від:

- перетин державки різця  $K=0,9$ ;
- міцності ріжучої частини  $K=1,0$ ;
- механічних властивостей оброблюваного матеріалу  $K=0,9$ ;
- схеми установки заготовки  $K=1,2$ ;
- стан поверхні заготовки  $K=1,0$ ;
- геометричних параметрів різця  $K=1,0$ ;
- жорсткості станка  $K=0,75$ .

Остаточно подача напівчистої стадії обробки визначається по формулі:

$$S_0 = S_{OT} \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S \cdot K_S, \quad (1.24)$$

для поверхні 1:

$$S=0,39 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 0,28 \text{ мм/об};$$

для поверхонь 2-5:

$$S=0,88 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 0,64 \text{ мм/об};$$

Для напівчистої стадії обробки, розраховані подачі не перевіряються по осьовій  $P$  та радіальній  $P$  складовим сили різання, допустимі міцністю механізму подачі верстата.

Рекомендовані значення подач чистої стадії обробки (поверхня 6 та 7) вибираються по карті 6: при точінні деталі з діаметром до 500 мм та глибиною різання до  $t=0,3$  мм рекомендується подача  $S=0,5$  мм/об (поз. 2, інд. г).

По карті 8 визначаються поправочні коефіцієнти на подачу чистої стадії обробки для змінених умов обробки в залежності від :

- механічних властивостей заготовки  $K=0,9$ ;
- схеми установки заготовки  $K=1,2$ ;
- радіусу вершини різця  $K=0,52$ ;



- квалітету точності оброблюваної деталі  $K=0,85$ .

Остаточна подача чистової стадії визначається по формулі:

$$S_0 = S_{OT} \cdot K_s \cdot K_s \cdot K_s \cdot K_s \quad (1.25)$$

$$S=0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,52 \cdot 0,85 \cdot 0,9 = 0,24 \text{ мм/об.}$$

Розраховані значення подач для напівчистової та чистової стадії обробки заносяться в таблицю 1.8.

Вибір режимів різання.

Рекомендовані значення швидкості різання для напівчистової стадії обробки вибираються з карти 21. Для поверхні 1 при точінні легованої сталі без корки з глибиною різання до  $t=3$  мм та подачею до  $S=0,3$  мм/об швидкість різання  $V=210$  м/хв (поз. 1 інд. в). Для поверхонь 2-5 при точінні легованої сталі без корки з глибиною різання до  $t=3$  мм та подачею до  $S=0,8$  мм/об швидкість різання  $V=153$  м/хв (поз. 1, інд. ж).

По карті 23 вибирається поправочний коефіцієнт на швидкість різання при напівчистовій стадії обробки для змінених умов в залежності від:

- групи оброблюваного матеріалу  $K=1,0$ ;
- виду обробки  $K=1,0$ ,  $K=1,2$  (для поверхні 2);
- жорсткості верстата  $K=0,75$ ;
- механічних властивостей оброблюваного матеріалу  $K=0,8$ ;
- геометричних параметрів різця  $K=1,0$ ;
- періоду стійкості ріжучої частини  $K=1,0$ ;
- наявності охолодження  $K=1,0$ .

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання розраховується по формулі:

$$K_y = K_y \cdot K_y \cdot K_y \cdot K_y \cdot K_y \cdot K_y \cdot K_y \cdot K_y, \quad (1.26)$$

для поверхонь 1, 3-5:

$$K=1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,60;$$

для поверхні 2:

$$K = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,72.$$

Остаточна швидкість різання при напівчистої стадії обробки визначається по формулі:

$$V = V_T \cdot K_y, \quad (1.27)$$

для поверхні 1:

$$V = 210 \cdot 0,60 = 126 \text{ м/хв};$$

для поверхні 2:

$$V = 153 \cdot 0,72 = 110 \text{ м/хв};$$

для поверхонь 3-5:

$$V = 153 \cdot 0,60 = 92 \text{ м/хв};$$

Швидкість різання при чистовій стадії обробки визначається по карті 22. При точінні з глибиною різання до  $t=0,4$  мм та подачею до  $S=0,3$  мм/об, швидкість різання  $V=348$  м/хв (поз. 1, інд, г).

Остаточна швидкість різання на чистовій стадії:

$$V = 348 \cdot 0,80 \cdot 0,60 = 167 \text{ м/хв}.$$

Табличні та скореговані значення швидкості різання заносяться в таблицю 1.8.

Частота обертання шпинделя визначається по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.28)$$

При напівчистовій стадії обробки поверхні 1:

$$n = 427 \text{ об/хв}.$$

Приймаємо частоту обертання, яка є на верстаті,  $n=4000$  об/хв.

Фактична швидкість різання визначається по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}, \quad (1.29)$$

$$V = 118,06 \text{ м/хв}.$$

Розрахунок частоти обертання шпинделя, коректування її по паспорту верстата та розрахунок фактичної швидкості різання для інших поверхонь та

стадій обробки проводяться аналогічно. Результати розрахунків зведені в таблицю 1.8.

Так як верстат СКЕ6136Z оснащений автоматичної коробки швидкості, то прийняті значення частот обертання шпинделя задаються безпосередньо в керуючий програмі.

Після розрахунку фактичної швидкості різання для чистової стадії обробки корегують подачу в залежності від шорсткості оброблюваної поверхні.

Остаточна максимально допустима подача по шорсткості для чистової стадії обробки поверхні 6 визначається по формулі:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_s \cdot K_s \cdot K_s \cdot K_s, \quad (1.30)$$

$$S=0,4 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,44 \text{ мм/об.}$$

Подача для чистової стадії обробки поверхні 6 та 7, розрахована зверху не перевищує цього значення.

Таблична потужність різання корегується по формулі:

$$N = N_T \cdot K_s \cdot \frac{V_\phi}{V_T}, \quad (1.31)$$

При напівчистовій стадії обробки для поверхні 1:

$$N = 4,3 \cdot 1,05 = 4,2 \text{ кВт.}$$

По паспортним даним верстата мод. СКЕ6136Z потужність електродвигуна приводу верстата  $N=5,5$  кВт, КПД верстата  $\eta=0,85$ .

Потужність шпинделя верстата визначається по формулі:

$$N_{\text{шп}} = N \cdot \eta, \quad (1.32)$$

$$N = 5,5 \cdot 0,85 = 4,7 \text{ кВт.}$$

Аналогічно розраховуються інші значення потужності різання. Результати розрахунків занесені в таблицю 14. Ніяке з розрахованих значень не перевищує потужності приводу головного руху верстата.

Хвилинна подача розраховується по формулі:

$$S_M = n_\phi \cdot S_0, \quad (1.33)$$

При напівчистовій стадії обробки для поверхні 1:

$$S = 400 \cdot 0,28 = 112 \text{ мм/хв.}$$

Значення хвилинної подачі для інших поверхонь і стадій обробки розраховуються аналогічно та заносяться в таблицю 1.8.

Допоміжний час визначається по формулі:

$$T_B = T_{\text{вуст}} + T_{\text{воп}} + T_{\text{візм}}, \quad (1.34)$$

де  $T_1$  - час на установку та зняття деталі по [13] с.52, карта 3 при встановленні деталі в самоцентруючому патроні  $T = 1,2$  хв.

$T_2$  – час, зв'язаний з операцією, по [13] с.79, карта 14  $T = 0,78$  хв.

$T_3$  - час на вимірювання, по [13] с.80, карта 15  $T = 1,56$  хв

$$T = 1,2 + 0,78 + 1,56 = 3,54 \text{ хв.}$$

Таблиця 1.8 - Елементи режиму різання для операції 045

Елементи режиму різання	Стадія обробки						
	получистова					чистова	
	№ поверхні						
	1	2	3	4	5	6	7
Глибина різання $t$ , мм	3,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,2	0,2
Таблична подача, мм/об	0,39	0,88	0,88	0,88	0,88	0,5	0,5
Прийнята подача, мм/об	0,28	0,64	0,64	0,64	0,64	0,24	0,24
Таблична швидкість різання, м/хв	210	153	153	153	153	348	348
Скорегована швидкість різання, м/хв	126	110	92	92	92	167	167
Фактичні оберти шпинделя, об/хв	400	125	80	80	100	200	160
Фактична швидкість різання, м/хв	118,06	106,76	82,14	81,64	85,41	169,69	163,28
Таблична потужність різання, кВт	4,3	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
Фактична потужність різання, кВт	4,2	3,7	3,4	3,4	3,5	-	-
Хвилинна подача, мм/хв	112	70,4	51,2	51,2	64	48	38,4

При маркуванні в умовному позначенні кругів вказують клас нерівноваженості: 1, 2, 3, 4 після величини робочої швидкості круга,

наприклад 35 м/с 1 кл. А - маркування для круга з робочою швидкістю 35 м/с, 1-го класу неврівноваженості, класу точності А.

Визначення часу автоматичної роботи верстата по програмі приведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 - Визначення часу автоматичної роботи верстата по програмі

Ділянка траєкторії	Приріст по осі Z $\Delta Z$ , мм	Приріст по осі X, $\Delta X$ , мм	Довжина i-го ділянки траєкторії L, мм	Хвилинна подача на i-м ділянці $S_{H_i}$ , мм/хв	Основний час автоматичної роботи станка по програмі $T_0$ , хв	Машинно-допоміжний час $T_{MB}$ , хв
PB-P11	-	-	-	-	-	0,24
0-1	-	136	136	4000	-	0,03
1-2	37	-	37	5000	-	0,01
2-3	8	45,333	46,034	112	0,41	-
3-4	45	-	45	5000	-	0,01
4-0	-	181,333	181,333	4000	-	0,05
P11-P12	-	-	-	-	-	0,04
0-1	-	35	35	4000	-	0,01
1-2	100	-	100	5000	-	0,02
2-3	-	95	95	70,4	1,35	-
3-4	2	-	2	5000	-	0,01
4-5	-	117,5	117,5	4000	-	0,03
5-6	27	-	27	512	0,53	-
6-7	-	25	25	4000	-	0,01
7-8	222	-	222	5000	-	0,01
8-9	-	299	299	512	0,58	-
9-10	2	2	3,14	4000	-	0,01
10-11	28	-	28	5000	-	0,01
11-12	-	2	2	4000	-	0,01
12-13	4,8	-	4,8	64	0,08	-
13-14	2	2	3,14	4000	-	0,01
14-15	-	37,9	37,9	4000	-	0,01
15-0	100,8	-	100,8	5000	-	0,02
P12-P13	-	-	-	-	-	0,04
0-1	-	40	40	4000	-	0,01
1-2	99	-	99	5000	-	0,02
2-3	4	-	4	48	0,08	-
3-4	-	30	30	38,4	0,78	-
4-5	-	10	10	4000	-	0,01
5-0	103	-	103	5000	-	0,02
Час автоматичної роботи станка по програмі, хв					4,45	

## 2 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок річного приведеного обсягу деталей та норм штучнокалькуляційного часу і розцінок - Операція 045 Токарна з ЧПК

2.1.1 Річний приведений випуск деталей, тобто умовна кількість типових деталей, трудомісткість обробки яких дорівнює трудомісткості усіх деталей закріплених за дільницею розраховується виходячи з виробничої потужності дільниці і найбільш раціонального використання обладнання за формулою:

$$N_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{д}}^{\circ} \cdot K_3 \cdot 60}{T_{\text{шт}}^{\text{пр}} \cdot (1 + \alpha)}, \text{ шт} \quad (2.1)$$

де:  $F_{\text{д}}^{\circ}$  - фонд дійсної роботи одного верстата годин, середній  $F_{\text{д}}^{\circ}$  прийємо у розмірі 4015 годин (при умові двохзмінного режиму роботи);

$K_3$  – коефіцієнт завантаження верстата (інтервал  $0,8 \div 0,85$ );

$T_{\text{шт}}^{\text{пр}}$  - норма штучного часу на провідній операції, хв.;

$\alpha$  - це коефіцієнт допустимих витрат на переналагодження верстата (для дрібносерійного типу виробництва  $0,03 \div 0,05$  ; для середньо серійного типу виробництва  $0,05 \div 0,08$  ; для багатосерійного типу виробництва  $0,08 \div 0,1$ ).

$$N_{\text{пр}} = \frac{4015 \cdot 0,8 \cdot 60}{8,71 \cdot (1 + 0,06)} = 20873 \text{ шт, приймаємо } 20800 \text{ шт.}$$

2.1.2 Річний обсяг випуску деталей розрахований в інтервалі:

$$N_{\text{р}} = \frac{N_{\text{пр}}}{K_{\text{за}}^{\text{max}}} \div \frac{N_{\text{пр}}}{K_{\text{за}}^{\text{min}}}, \text{ шт.} \quad (2.2)$$

де:  $K_{\text{за}}$  - коефіцієнт закріплення операцій (для середньосерійного типу виробництва  $K_{\text{зо}} = 11 \div 20$ ).

$$N_{\text{р}} = \frac{20873}{20} \div \frac{20873}{11} = 1043,6 \div 1897,5, \text{ шт.}$$

Приймаємо  $N_{\text{р}} = 1800$  шт.

2.1.3 Кількість найменувань деталей, які будуть оброблятися на дільниці розраховуються за формулою:

$$m_d = \frac{F_d^0 \cdot K_3 \cdot 60}{T_{шт}^{пр} \cdot (1 + \alpha) \cdot N_p}, \text{ шт} \quad (2.3)$$

$$m_d = \frac{4015 \cdot 0,8 \cdot 60}{8,71 \cdot (1 + 0,06) \cdot 1800} = 11,6 \text{ шт}$$

2.1.4 Мінімальна кількість деталей в партії розраховується за формулою:

$$n_d^{\min} = \frac{T_{пз}^{пр}}{T_{шт}^{пр} \cdot \alpha}, \text{ шт.} \quad (2.4)$$

де:  $T_{пз}^{пр}$  - підготовчо заклбючний час на провідній операції.

$$n_d^{\min} = \frac{17}{8,71 \cdot 0,06} = 32 \text{ шт.}$$

2.1.5 Випуск деталей за половину зміни вираховується за формулою:

$$1/2 N_{зм} = \frac{T_{оп}^{зм}}{2 \cdot T_{оп}^{пр}}, \text{ шт.} \quad (2.5)$$

де:  $T_{оп}^{зм}$  - оперативний час за зміну(приймаємо  $T_{оп}^{зм} = 300$  хв.).

$T_{оп}^{пр}$  - оперативний час на провідній операції.

2.1.6 оперативний час на провідній операції:

$$T_{оп}^{пр} = T_o + T_d, \text{ хв.} \quad (2.6)$$

де:  $T_o$  – основний час, приймаю з 7 пункту КП ( $T_o = 4,45$ хв.)

$T_d$  – допоміжний час, приймаємо з 7 пункту КП ( $T_o = 3,54$ хв.)

$$T_{оп}^{пр} = 4,45 + 3,54 = 7,99 \text{ хв.}$$

$$1/2 N_{зм} = \frac{300}{2 \cdot 7,99} = 18 \text{ шт.}$$

Отже приймаємо  $n_d$  – за зміну 50 шт.

2.1.7 Розрахункова партія коригується таким чином, щоб вона була не меншою півзмінного випуску, а також мінімальної кількості деталей і кратною річному обсягу випуску деталей.

Кількість запусків за рік буде дорівнювати:

$$n_{зап} = \frac{N_p}{n_d}, \text{ запусків.} \quad (2.7)$$

$$n_{зап} = \frac{1800}{100} = 18 \text{ запускі.}$$

2.1.8 Штучно калькуляційний час розраховується за формулою:

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \text{ хв} \quad (2.8)$$

$$T_{\text{шк}} = 8,71 + \frac{17,0}{100} = 8,88 \text{ хв.}$$

2.1.9 Відрядна розцінка на кожну операцію технологічного процесу розраховується за формулою:

$$P_{\text{від}} = \frac{C_{\text{год}} \cdot T_{\text{шк}}}{60}, \text{ грн} \quad (2.9)$$

де:  $C_{\text{год}}$  - годинна тарифна ставка відповідного розряду робіт, грн. (за даними базового підприємства).

$$P_{\text{від}} = \frac{56,7 \cdot 8,88}{60} = 8,4 \text{ грн}$$

2.1.10 Річна трудомісткість приведенного випуску продукції розраховується за формулою:

$$Q = \frac{T_{\text{шк}} \cdot N_{\text{пр}}}{60}, \text{ н-г} \quad (2.10)$$

$$Q = \frac{8,88 \cdot 20800}{60} = 3078 \text{ н-г}$$

Результати обчислень по інших операціях зведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1- Розрахунок норм часу і розцінок на деталь.

№ операції	Tшт, хв	нд, шт	Tпз, хв	Tшк, хв	Cгод, грн	Pвід, грн	Nпр, шт	Q, н-г
030	7,11	50	18,0	7,47	46,2	5,61	20800	2527,2
035	7,43	50	17,0	7,77	56,7	7,18	20800	2634,6
045	8,71	50	17,0	9,04	56,7	8,39	20800	3078,4
055	9,80	50	16,5	10,13	46,2	7,67	20800	3454,5
065	26,63	50	17,4	26,978	56,7	25,33	20800	9292
075	19,13	50	17,4	19,478	56,7	18,24	20800	6692
Разом	78,81	-	103,3	80,866	-	72,42	-	27723,7



## 2.2 Розрахунок кількості верстатів та коефіцієнта їх використання

2.2.1 Розрахункова кількість верстатів по кожній операції визначається за трудомісткістю річного приведеного випуску деталей за формулою:

$$n_B = \frac{Q}{F_D^0 \cdot K_{BH}}, \text{ шт} \quad (2.11)$$

де  $K_{BH}$  - коефіцієнт виконання норм;

$K_{BH} = 1,0$  – для верстатів з ЧПК, автоматів, напівавтоматів, автоматизованих ліній;

$K_{BH} = 1,05 \div 1,2$  - для універсальних верстатів;

$F_D^0$  - фонд дійсного часу роботи обладнання за рік розраховується за формулою:

$$F_D^0 = F_H^0 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right), \text{ год.} \quad (2.12)$$

де  $F_H^0$  - фонд номінального часу роботи обладнання в розрахунковому році.

$$F_H^0 = (T \cdot v + t \cdot v') \cdot S, \text{ год.} \quad (2.13)$$

$$F_H^0 = (244 \cdot 8 + 6 \cdot 7) \cdot 2 = 3988, \text{ год}$$

$\alpha$  - це втрати часу пов'язані з його плановим ремонтом.  $\alpha = 2\%$  при двозмінному режимі роботи для верстатів до 10 тон;  $\alpha = 8\%$  - для верстатів масою більше 100 т.

$$F_D^0 = 3988 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 3908,24, \text{ год.}$$

$$n_B = \frac{3078,4}{3908,24 \cdot 1} = 0,78, \text{ шт}$$

Результати обчислень по інших операціях зведені в таблиці 2.2.

Середній коефіцієнт використання обладнання обчислюється за формулою:

$$K_B^{\text{сєр}} = \frac{\sum n_B^p}{\sum n_B^{\text{пп}}} \quad (2.14)$$

$$K_B^{\text{сєр}} = \frac{0,85 + 0,82 + 0,78 + 0,88 + 2,37 + 1,71}{9} = 0,82$$

Таблиця 2.2 - Розрахунок необхідної кількості верстатів і коефіцієнт їх використання.

№ операції	Тип і модель верстата	F <sub>д</sub> <sup>о</sup> , год.	K <sub>вн</sub>	Q <sub>н-г</sub>	Q <sub>д</sub>	Q <sub>заг</sub>	n <sub>в</sub> <sup>р</sup> , шт.	n <sub>в</sub> <sup>пр</sup>	K <sub>в</sub>	Габарити верстатів
030	СА6140	3908,24	1,05	2527,2	1000	3527,2	0,85	1	0,85	2530×1120
035	СКЕ61 36Z	3908,24	1	2634,6	1000	3634,6	0,82	1	0,82	2300×1480
045	СКЕ61 36Z	3908,24	1	3078,4	-	3078,4	0,78	1	0,78	2300×1480
055	HZ-64	3908,24	1,05	3454,5	-	3454,5	0,88	1	0,88	2300×2000
065	XK714G	3908,24	1	9292	-	9292	2,37	3	0,79	2310×2290
075	GD125x 16	3908,24	1	6692	-	6692	1,71	2	0,86	2960×2430
Разом	-	-	-	-	-	-	7,41	9	-	-

## 2.3 Розрахунок чисельності персоналу дільниці

### 2.3.1 Розрахунок можливості багатOVERстатного обслуговування

Можливість використання багатOVERстатного обслуговування аналізується лише на тих операціях які відповідають таким умовам:

- 1) операція виконується на верстатах з ЧПК;
- 2) операція виконується на верстатах з дублерах;
- 3)  $T_{ца} > T_{доп}$
- 4)  $T_{ца} \geq 3\text{хв.}$

БагатOVERстатне обслуговування:

$$065 \quad S_6 = \frac{T_{ца}}{T_{доп} + T_{пер}} + 1 = \frac{18}{3,8 + 0,5} + 1 = 5$$

Приймаємо 3 вер.

$$075 \quad S_6 = \frac{T_{ца}}{T_{доп} + T_{пер}} + 1 = \frac{17,4}{13,56 + 0,5} + 1 = 2$$

Приймаємо 2 вер.

### 2.3.2 Розрахунок чисельності основних робітників

Чисельність робітників визначається по кожній операції за трудомісткістю робіт:

$$r^p = \frac{Q}{F_d^p \cdot K_{вн} \cdot S_б}, \text{ чол.} \quad (2.15)$$

де  $F_d^p$  - фонд дійсної роботи одного робітника протягом року:

$$F_d^p = F_n^p \left(1 - \frac{B}{100}\right), \text{ год.} \quad (2.16)$$

$F_n^p$  - фонд номінальної роботи одного робітника в розрахунковому році.

$B$  - втрати часу (відпустки, хвороби). (за даними базового підприємства)

$$F_n^p = 244 \cdot 8 + 6 \cdot 7 = 1994$$

$$F_d^p = 1994 \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 1755, \text{ год.}$$

Результати обчислень по інших операціях зведені в таблиці 2.3.

$$r^p = \frac{3078,4}{1755 \cdot 1 \cdot 1} = 1,75.$$

Таблиця 2.3 - Розрахунок чисельності основних робітників на дільниці.

№ Операції	Професія	Роз - ряд	Q, н-г.	K <sub>вн</sub>	r <sup>p</sup> , чол.	r <sup>пр</sup> , чол.	n <sub>в</sub> <sup>пр</sup> шт	Кількість робітників за змінами	
								1 зміна	2 зміна
030	Токар	2	3527,2	1,05	2	2	1	1	1
035	Оператор з ЧПК	3	3634,6	1	2,07	2	1	1	1
045	Оператор з ЧПК	3	3078,4	1	2,32	2	1	1	1
055	Шліфувальник	2	3454,5	1,05	1,97	2	1	1	1
065	Фрезерувальник	3	9292	1	2	2	3	1	1
075	Фрезерувальник	2	6692	1	2	2	2	1	1
Разом	-	-	29678,7	-	16,89	12	9	-	-

### 2.3.3 Розрахунок продуктивності праці виробничих працівників

Продуктивність праці виробничих робітників визначаємо, як виробіток продукції в нормо годинах на одного робітника за формулою:

$$П_{п} = \frac{\sum Q}{\sum P^{пр}}, \text{ год.} \quad (2.17)$$

$$П_{п} = \frac{30678,7}{12} = 2473, \text{ год}$$

Зростання продуктивності праці планується у розмірі:

$$\Delta П_{п} = \frac{П_{п}}{P_{д}} \cdot 100 - 100, \% \quad (2.18)$$

$$\Delta П_{п} = \frac{2473}{1755} \cdot 100 - 100 = 40,9, \%$$

### 2.3.4 Розрахунок кількості допоміжних робітників

Чисельність допоміжних робітників встановлюється в відсотковому відношенню до основних робітників (для механічних цехів серійного типу виробництва 40-50% від чисельності основних робітників).

$$P_{доп} = \frac{\sum P^{пр} \cdot 40}{100}, \text{ чол.} \quad (2.19)$$

$$P_{доп} = \frac{12 \cdot 40}{100} = 4,8, \text{ чол.}$$

### 2.3.5 Розрахунок кількості керівників, спеціалістів, службовців

Кількість керівників визначається на ділянці виходячи з кількості змін і норми керованості.

Кількість спеціалістів визначається при наближених розрахунках, в відсотковому відношенні до чисельності основних і допоміжних робітників (спеціалісти -  $8 \div 12\%$ ):

$$Ч_{спец} = \frac{(\sum P^{пр} + P_{доп}) \cdot 8}{100}, \text{ чол.} \quad (2.20)$$

$$Ч_{спец} = \frac{(12 + 4,8) \cdot 10}{100} = 1,68, \text{ чол}$$

Чисельність службовців приймається у відсотковому відношенні до основних і допоміжних робітників (службовці -  $3 \div 5\%$ ):

$$Ч_{сл} = \frac{(\sum P^{пр} + P_{доп}) \cdot 5}{100}, \text{ чол.} \quad (2.21)$$

$$Ч_{сл} = \frac{(12+4,8) \cdot 5}{100} = 0,84, \text{ чол.}$$

Всі попередні розрахунки зведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Категорії та професії	Кількість, чоловік
1. Основні виробничі робітники, всього	
у тому числі, за професіями	
1.1 Фрезерувальник	4
1.2 Токар	2
1.3 Оператор ЧПК	4
1.4 Шліфувальник	2
2. Допоміжні робітники, всього	
у тому числі, за професіями	
2.1 Крановщик	2
2.2 Наладчик	2
2.3 Електромонтер	1
3. Керівники, всього	
у тому числі, за посадою	
3.1 Керівник	1
3.2 Старший майстер	1
4. Спеціалісти, всього	
у тому числі, за професіями	
4.1 Технолог	1
5. Службовці, всього у тому числі, за професіями	
5.1 Табельник	1
Всього	21

## **2.4 Організація постачання робочих місць на дільниці матеріалами, інструментом**

### 2.4.1 Організація інструментального господарства

Цехи основного виробництва є споживачами великої кількості інструменту і пристосовування, тому раціональна організація інструментального господарства має тут велике значення. Від повного і своєчасного забезпечення робочих місць якісним і продуктивним інструментом залежить рівномірне виконання плану, якість продукції, що випускається, зростання продуктивності праці і рівень собівартості продукції.

Завданнями інструментальної служби цеху є: повне і своєчасне забезпечення робочих місць цеху потрібним і якісним інструментом; усунення простоїв робітників із-за несвоєчасного забезпечення інструментом; звільнення основних робітників від робіт із заточення й ремонту інструменту; своєчасний ремонт і організація робіт з відновлення відпрацьованого інструменту.

Так як спроектована виробнича ділянка механічного цеху не має в своєму розпорядженні самостійних інструментально-роздавальної комори (ІРК) і майстерні з ремонту і заточування інструментів, то описується інструментальне господарство цеху.

Відповідно до встановлених норм витрат визначається потреба цеху в інструменті і складається заявка на потреби інструмент і пристосовування. Після встановлення потреби цеху видається лімітна карта, куди записується потреба цеху в інструменті і пристроях, у тому числі спеціальному. Цех за вимогами одержує необхідний інструмент і пристосовування з ЦІСа (Центральний інструментальний склад).

Кращим способом видачі інструменту є його доставка безпосередньо на робоче місце. Це звільняє робітників від втрат часу при одержанні інструменту і сприяє збільшенню їх виробництва.

Для більш продуктивної роботи на проектованій ділянці застосовується наступний метод видачі інструменту: на самому початку зміни ІРК цеху закриті і, отже, ніякої видачі інструменту не проводиться. Це стало можливим після того, як встановився порядок подачі інструменту безпосередньо на робоче місце за 15-20 хв. до початку зміни. ІРК відкривається через 1-2 год., коли потрібно буде міняти затуплений інструмент. Такий порядок дає можливість робітникам весь час віддавати виробничій роботі.

Майстер на проектованій ділянці перед закінченням зміни заповнює заявку на споживаний інструмент для робітників своєї ділянки на наступний день.

Для обліку наявності інструменту до ІРК використовуються облікові картки, які відкриваються на кожний вид і розмір інструменту. Облік надходження ведеться на основі вимог по всім інструментам, що надійшли в цех. Облік витрат інструменту проводиться за актами, де реєструються поломки і на підставі яких складаються відомості на списання відпрацьованого інструменту. Інструментально-роздавальні комори виробляють передачу інструменту в заточку і ремонт.

В комірчині знаходиться рухливий роздавальний стелаж для доставки інструменту на робоче місце.

#### 2.4.2 Організація складського господарства

Правильна організація складського господарства - один із чинників поліпшення матеріально-технічного постачання підприємства. Склади служать для приймання, зберігання, обліку та видачі сировини, матеріалів, напівфабрикатів, оснащення та палива. Матеріали, напівфабрикати і оснащення надходять на постачаючі склади підприємства, звідки їх отримують відповідні споживачі - цехи та служби.

Залежно від масштабів обслуговування розрізняють склади загальнозаводські, прицехові, а так само цехові комори, що входять до складу цеху.

Кожен зі складів відповідно до особливостей збережених матеріалів, напівфабрикатів і палива повинен бути обладнаний необхідними підйомно-транспортними засобами, стелажми, шафами, ящиками та іншими пристосуваннями, що дозволяють ефективно здійснювати операції складування матеріалів.

На проектованій ділянці передбачено:

- склад заготовок;
- склад готової продукції.

У склад заготовок надходить продукція з заготівельного цеху. З складу заготовок. Деталі партіями відправляються на механічну обробку, де деталі знаходяться на місцях складування. Після останньої операції технологічного процесу партія деталей потрапляє на склад готової продукції.

#### 2.4.3 Організація транспортного господарства

У процесі виробництва в цехах підприємства регулярно переміщається велику кількість сировини, матеріалів, палива, напівфабрикатів, інструментів і готової продукції. Доставка цих вантажів на склади підприємства, переміщення їх усередині підприємства, а так само вивезення готової продукції та відходів з підприємства є функціями промислового транспорту, який ділиться на зовнішньозаводський і внутрішньозаводський.

Внутрішньозаводський транспорт зосереджується в транспортному цеху підприємства, який підпорядковується заступнику директора з загальних питань. Здійснюючи виробничий зв'язок між складами, цехами, ділянками і робочими місцями. Внутрішньозаводський транспорт є частиною матеріально-технічної бази виробництва.



Внутрішньозаводський транспорт за своїм призначенням поділяється на міжцехових, що здійснює різні перевезення між цехами і складами, і внутрішньоцехових, призначений для виконання транспортних операцій в межах окремих цехів і складів.

На проектованій ділянці використовується підлогові транспортні засоби (ручні візки, електрокари) крім того, для переміщення важких вантажів по цеху - крани поворотні, кран-балки.

## **2.5 Організація налагодки обладнання з ЧПК по керуючий програмі**

Налаштування інструментів для металорізального обладнання з числовим програмним управлінням є невід'ємною частиною технологічної підготовки виробництва при організації гнучких автоматизованих виробництв. Розмірна налаштування інструментів дозволяє організувати регламентоване забезпечення інструментами робочих місць. Регламентоване забезпечення інструментами на увазі виконання двох видів робіт: примусову (регламентовану) заміну інструментів; позапланову (екстрену) заміну інструментів.

Регламентоване забезпечення інструментами скорочує час простою дорогого обладнання при налагодженні, скорочує втрати від браку з огляду на неприпустимого зносу, знижує витрату інструментів. Необхідний коефіцієнт використання високопродуктивних верстатів у значній мірі залежить від підготовки, зберігання і доставки інструменту.

Для централізованого забезпечення верстатів з ЧПК інструментами організують ділянку розмірного налаштування інструментів. Ділянка підпорядкована заступнику начальника цеху з технологічної підготовки.

Ділянка розмірного налаштування інструментів для верстатів з ЧПК містить зони забезпечення інструментами верстатів з ЧПК і розмірної настройки інструменту.

У зоні забезпечення інструментами верстатів з ЧПУ здійснюється зберігання мінімальних запасів всієї номенклатури ріжучого, вимірювального і допоміжного інструментів і технологічної документації, комплекція технічної документації і всіх видів інструментів; передача скомплектованим інструментів і технічної документації в зону розмірної настроювання інструментів.

Для налаштування ріжучих інструментів до верстатів токарної групи використовується прилад мод. БВ-2026 горизонтального використання. На приладі виконують розмірне налаштування інструментів за двома координатами з точністю 0,001 мм.

Для настроювання інструментів для верстатів свердлильно-фрезерно-розточної групи застосовують прилад мод. БВ-2027 вертикального використання.

Комплектацію інструментів здійснює комплектувальник відповідно зі змінним завданням на підготовку інструментів. Майстер з інструментом підбирає для даної технологічної операції комплектуючу карту, схему установки та іншу необхідну технологічну документацію. На підставі технологічної документації комплектувальник підбирає з стелажів ріжучий і допоміжний інструменти. Зборку і розмірне налаштування інструментів здійснює слюсар інструментальник по налаштуванню інструменту згідно картами і схемами настройки інструменту. Отримавши із зони забезпечення інструментами вибраний ріжучий і допоміжний інструменти, слюсар-інструментальник збирає їх, закріплює на приладі і налаштовує відповідні координати вильоту ріжучих кромок.

Налаштовані технологічні комплекти інструментів повертають у зону забезпечення інструментами. Отримавши комплекти налаштованих інструментів, комплектувальник доукомплектовує їх вимірювальними засобами, технологічною документацією і передає їх до транспортно-накопичувальну систему ГВС для відправки до робочих місць, де інструменти виставляються і прив'язуються.

## **2.6 Обґрунтування прийнятих методів розробки керуючих програм в технологічному процесі, що проектується**

Відділ розробки керуючих програм (ВРКП) забезпечує технологічну готовність механообробного виробництва до виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) відповідно до технічних вимог та мінімальними трудовими і матеріальними витратами.

Очолює ВРКП, організовує всю роботу і несе повну відповідальність за діяльність відділу начальник ВРКП.

Планування роботи ВРКП здійснює начальник відділу на підставі затверджених головою правління АТ або його першим заступником графіків технічної підготовки виробництва, планів підвищення ефективності виробництва і соціального розвитку колективу, річних, квартальних і місячних виробничих планів, інших директивних документів, а також заявок від цехів і відділів на розробку керуючих програм (КП ).

Підставою для розробки КП механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК є доведення до виконавця план-завдання.

Вихідною документацією для розробки КП та технологічних процесів обробки деталей на верстатах з ЧПК є:

- робоче креслення деталі;
- технологічний процес обробки (виписка з технологічного процесу);
- технічні характеристики та технологічні можливості верстатів і пристроїв з ЧПК;
- відомості про використовувані пристосування і засоби технологічного оснащення, ріжучим і вимірювальним інструментом.

Технолог-програміст робить аналіз вихідних даних, вибір устаткування з ЧПК і оснащення, намічає зміни в базовому технологічному процесі, які в необхідних випадках узгоджуються з розробником технологічного процесу.

Технолог-програміст в відповідно до вихідних даних намічає план операцій, схеми установок, складає по перехідну технологію, яка записується

в операційну карту або виконується графічно на бланку ескізів відповідно до ГОСТ 3.1105-84, форми 7 і 8.

На карті ескізів зазначаються:

- ескіз деталі з розмірами і контурами заготовки;
- технічні вимоги;
- застосовувана оснащення;
- вихідна (нульова) точка програми;
- траєкторія руху ріжучого інструменту;
- режими обробки;
- елементи оснащення;
- умовні позначення опор, баз і затискних елементів;
- вимоги з техніки безпеки;
- особливі технологічні вимоги і вказівки.

У процесі розробки карти ескізів технолог-програміст заповнює відомість оснащення, яка складається в необхідних випадках додаткові заявки на проектування й виготовлення оснащення і спеціального інструменту і на складання універсального переналагоджуваного оснащення.

На підставі карти ескізів і операційного технологічного процесу технологом-програмістом складається керуюча програма (КП) обробки деталі. Залежно від складності деталі, типу вживаного верстата, наявності засобів автоматизації програмування розрахунок КП здійснюється двома основними методами:

- ручним програмуванням;
- з використанням автоматизованих робочих місць.

При ручному програмуванні технолог-програміст виробляє:

- розрахунок координат опорних точок;
- кодування геометричній та технологічної інформації (формування КП);
- сформована КП наноситься на програмний носій.

При використанні систем автоматизованого програмування технолог-програміст підготовляє початкові дані і безпосередньо вводить їх в міні-ЕОМ, яка робить обробку даних і видачу КП у вигляді її роздруку.

Технолог-програміст проставляє в журналі відділу розробки програм УГТ реєстраційний номер розроблюваної КП. Цей же реєстраційний номер проставляється в карті ескізів і їй відповідним відомостях засобів технічного оснащення ріжучого і вимірювального інструменту.

Після впровадження обробки деталі в цеху і коректування КП технолог-програміст здає в архів відділу розробки програм повністю наступну технічну документацію:

- робочий креслення деталі;
- виписку з технологічного процесу;
- відомості засобів технологічного оснащення;
- карту ескізів;
- вихідні дані для розрахунку на ЕОМ;
- роздруківку КП;
- керуючу програму.

Технік-оператор архіву відділу розробки програм УГТ стежить за збереженням приймається до-кімнатці, своєчасним її дублюванням і видачею дублікатів в цеху.

За заявкою цеху технік-оператор архіву видає копії наступній документації:

- карти ескізів;
- відомості засобів технологічного оснащення;
- керуючої програми;
- роздруківки керуючої програми.

Пропозиції для розгляду та прийняття рішення про доцільність механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК надаються технологами УГТ і технологічними службами цехів об'єднання за погодженням з провідним технологом у відділі розробки програм УГТ.

Розгляд пропозицій здійснюється фахівцями відділу розробки програм спільно з провідним технологом УГТ.

Для розгляду пропозиції провідний технолог надає:

- креслення деталей, включених до пропозиції;
- перелік замовленої технологічного оснащення, ріжучого і вимірювального інструмента;
- відомості про трудомісткість та обсяги виробництва;
- відомості про існуючий технологічному процесі і його особливості.

За результатами аналізу поданих матеріалів приймається відповідне рішення. При цьому в графі " Примітка " проводиться один з двох записів:

- прийняти до розробки (із зазначенням строку або черговості);
- відхилити через ...

Розглянуте пропозицію підписується фахівцями, що беруть участь в обговоренні, проходить реєстрацію у відділі розробки програм і, в подальшому, є підставою для планування робіт з розробки УП.

Доцільність обробки деталі на верстатах з ЧПУ в загальному випадку визначається техніко-економічним розрахунком або зіставленням деталі, пропонованої до обробки, з робочою деталями на верстатах з ЧПУ. При цьому вирішальними чинниками є:

- трудомісткість обробки;
- складність конструкції деталі та її технологічність;
- величина запускається у виробництво партії деталей і її повторюваність протягом року;
- розрахункові дані щодо завантаження обладнання (КЗ);
- трудомісткість розробки КП та технологічного оснащення;
- спосіб отримання і матеріал заготовки;
- технічні умови і вимоги до точності і шорсткості поверхонь деталі.

Кожна розроблена КП механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК повинна проходити перевірку при обробці дослідної деталі (зразка) або партії деталей в реальних умовах.

Відпрацювання КП провадиться за наявності на робочому місці передбачених по технологічному процесу технологічного оснащення.

Обробка дослідної деталі (зразка) або партії деталей проводиться оператором цеху в присутності технолога-програміста.

У процесі дослідної обробки технолог-програміст виробляє коригування КП або її переробки (при необхідності).

Оброблена деталь перевіряється працівником БТК цеху або особою яка їх заміняє, на відповідність розмірам і технічним вимогам креслення або операційного ескізу. Придатна деталь приймається БТК цеху в установленому порядку. При наявності відступів від вимог креслення, працівник БТК або особа, його що заміняє, складає перелік зауважень і передає розробнику керуючих програм для прийняття відповідних технічних рішень та внесення змін до КП.

Після обробки другий деталі або партії деталей і отримання позитивного висновку робітника ВТК технолог-програміст визначає цикл обробки, час обробки програми в автоматичному режимі і оформляє акт впровадження програми.

Акт впровадження програми підписується в наступній послідовності:

- технологом-програмістом з встановленням циклу обробки;
- майстром дільниці верстатів з ЧПК;
- працівником БТК цеху або особою яка їх заміняє;
- провідним технологом з встановленням норми часу та розцінки по операціях.

Акт впровадження програми є основним документом, на підставі якого закріплюється Звернення деталі за певною одиницею або групою обладнання з ЧПК, видається повідомлення провідним технологом про зміни до діючої технологічної документації, розцеховці і маршрут технологічного процесу.

Акт впровадження програми зберігається у відділі розробки програм. Копії акту по одному примірнику розсилаються провідному технологіві і майстерні, якому впроваджена КП.

Після впровадження КП механічної обробки на верстатах з ЧПК цех-виробник несе відповідальності за дотриманням технологічної дисципліни, наявність і збереження оснащення та технологічної документації відповідно до порядку та вимог, встановлених на підприємстві.



## **3 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ НА МІЦНІСТЬ**

### **3.1 Загальні відомості про продукт**

Програмний комплекс ANSYS відноситься до числа лідерів продуктів скінченно-елементного аналізу і має практично 40-літній стаж у вирішенні прикладних задач чисельним методом. Перша версія ANSYS, яка вийшла у 1970 р. могла проводити розрахунки напружено-деформованого стану конструкцій і теплові розрахунки в стаціонарній постановці, з того часу можливості програми вирости у багато разів. Основним напрямком розвитку програмного коду ANSYS стала реалізація багато-дисциплінарних інженерних розрахунків. Це вирішило політику розвитку компанії ANSYS, Inc, і на даний час програмний комплекс охоплює практично всі види інженерного аналізу: від механіки твердого деформівного тіла і теплового аналізу до гідрогазодинаміки і аналізу процесів горіння, вибухів, теплообміну і фазових переходів, електродинаміки.

Починаючи з перших версій у ANSYS постійно покращувався графічний інтерфейс програми, але при цьому логічний принцип роботи програми не змінювався. Всі команди представлялись в основному вікні у вигляді дерева, а побудова і редагування геометричних моделей виконувалась в модулі PREP7. В цей же час інтенсивно розвивались CAD-системи проектування, надаючи користувачу широкі можливості для створення, редагування і управління геометричними моделями. Крім того загострювалась проблема ефективної інтеграції окремих програмних кодів того чи іншого виду інженерного аналізу в єдине розрахункове середовище для розкриття всіх можливостей багатодисциплінарного взаємопов'язаного аналізу. Враховуючи ці тенденції, компанія ANSYS, починаючи з 10-тої версії продукту, запропонувала нову

платформу Workbench, яка реалізує сучасний графічний інтерфейс і дозволяє ефективно керувати окремими модулями і продуктами ANSYS.

Для геометричного моделювання в цю платформу вбудовано новий модуль Design Modeler, реалізований на базі ядра Parasolid. Модуль симуляції Mechanical забезпечує користувача необхідними інструментами моделювання.

CAE-системи, які куплені фірмою ANSYS за останні роки, такі як: CFX, FLUENT, AUTODYN та інші зручно інтегровані у Workbench і можуть використовуватися для розв'язання взаємопов'язаних задач. За допомогою Workbench практично весь комплекс програмних продуктів ANSYS може бути об'єднаний за допомогою CAD-систем, такими як SolidWorks, Unigraphics та інші, в єдине розрахунково-проектване середовище.

Програма ANSYS, як і інші CAE-продукти, для математичного моделювання використовує метод скінчених елементів. Цей метод включає в себе універсальність алгоритмів рішення різних краєвих задач з ефективністю комп'ютерної реалізації розрахунків. Робота з пакетом ANSYS передбачає наявність у користувачів базових знань в області методу скінчених елементів.

### **3.2 Реалізація MCE в пакеті ANSYS**

Вирішення MCE поставленої крайової задачі здійснюється програмою ANSYS в три етапи. На першому етапі створюється основа скінчено-елементної моделі досліджуваного об'єкта. Цей етап включає в себе інші процедури:

- встановлюється фізичний тип завдання (механіка твердого деформівного тіла, теплопередача, гідродинаміка тощо), здійснюються відповідні налаштування програми;

- вибирається тип скінченого елемента в залежності від розмірів об'єкту та інших його властивостей. Можуть бути задані деякі характеристики елемента;

- вибирається матеріал об'єкта і вказуються всі його властивості. Властивості можуть бути задані з клавіатури або імпортовані з бібліотеки матеріалів ANSYS. Задання властивостей визначає модель матеріалу (лінійнопружний, пружно-пластичний, білінійну і ін.), що впливає на вибір визначальних рівнянь МСЕ;

- будується геометрична твердотільна модель об'єкта (3D – модель). У класичному ANSYS для цього використовується програмний модуль PREP7. У Workbench використовується модуль Design Modeler. Геометрична модель може бути експортована з будь-якого CAD- пакету;

- геометрична модель розбивається на скінченні елементи. При розбивці можуть бути задані різні параметри сітки;

- у разі контактної задачі встановлюються контактні пари, визначається модель контакту і її характеристики.

Другий етап - накладення на модель необхідних фізичних умов і вирішення задачі - складається з трьох основних етапів:

- задаються граничні умови - сили, переміщення (зв'язки) та ін.

- вибирається тип аналізу (статичний, динамічний, модальний та ін.). Можливий вибір методу розв'язання системи рівнянь МСЕ і завдання параметрів обчислювальних процедур (кількість кроків навантаження, ітерацій та ін.).

- здійснюється вирішення системи рівнянь, отриманої методом МСЕ. В результаті цього формується файл результатів, який містить вектор знайдених ступенів свободи (вузлових переміщень, вузлових температур та ін.).

Третій етап - аналіз результатів розрахунку. Пораховані МСЕ фізичні величини (переміщення, деформації, напруження, температури і ін.) зображаються у графічному вікні ANSYS у вигляді картинок, таблиць, графіків, анімацій. Всі ці результати можна записати у відповідні файли.

При виконанні розглянутих вище етапів розв'язання задачі програма ANSYS створює в пам'яті комп'ютера базу даних, що містить повну інформацію про модель. Цю базу даних можна зберегти в бінарному файлі і використовувати для продовження аналізу. Модуль допомоги (Help) пакета ANSYS надає повну інформацію про процедури моделювання різних завдань. Є теоретичний розділ, де на базі МСЕ розглядаються розрахункові співвідношення.

### **3.3 Інтерфейс програмного комплексу WORKBENCH**

Запуск ANSYS Workbench виконується з основного меню Пуск/Програми/ANSYS/Workbench. Після завантаження буде виведено основне вікно програми, що складається в свою чергу з кількох вікон. Імена вікон відображаються в заголовках (рис. 3.1). Розділ Analysis Systems містить всі види інженерних аналізів, виконуваних в ANSYS (рис. 3.2). ANSYS дозволяє проводити інженерний аналіз різного виду. Деякі види аналізу представлені в наступному переліку:

- Static Structural - статичний аналіз;
- Transient Structural – нестационарний аналіз;
- Steady-State Thermal - стаціонарний тепловий аналіз;
- Transient Thermal - нестационарний тепловий аналіз;
- Modal - модальний аналіз;
- Harmonic Response - гармонічний аналіз;
- LinearBuckling - аналіз стійкості;

- Explicit Dynamics - твердотільний динамічний аналіз.

Блок інженерного аналізу і його модулі зображено на рис. 3.3. Вікно Engineering Data - вікно, у якому відображаються властивості матеріалів. Всі властивості об'єкта в даному вікні відображаються у вигляді таблиці, в першому стовпці якої записано найменування властивості або параметру, а в другому відображено його значення у графічному чи цифровому значенні.

Для вибору управління характеристиками матеріалів існує Engineering Data (рис. 3.4) в якому можна додати всі характеристики матеріалу, які нам необхідні.

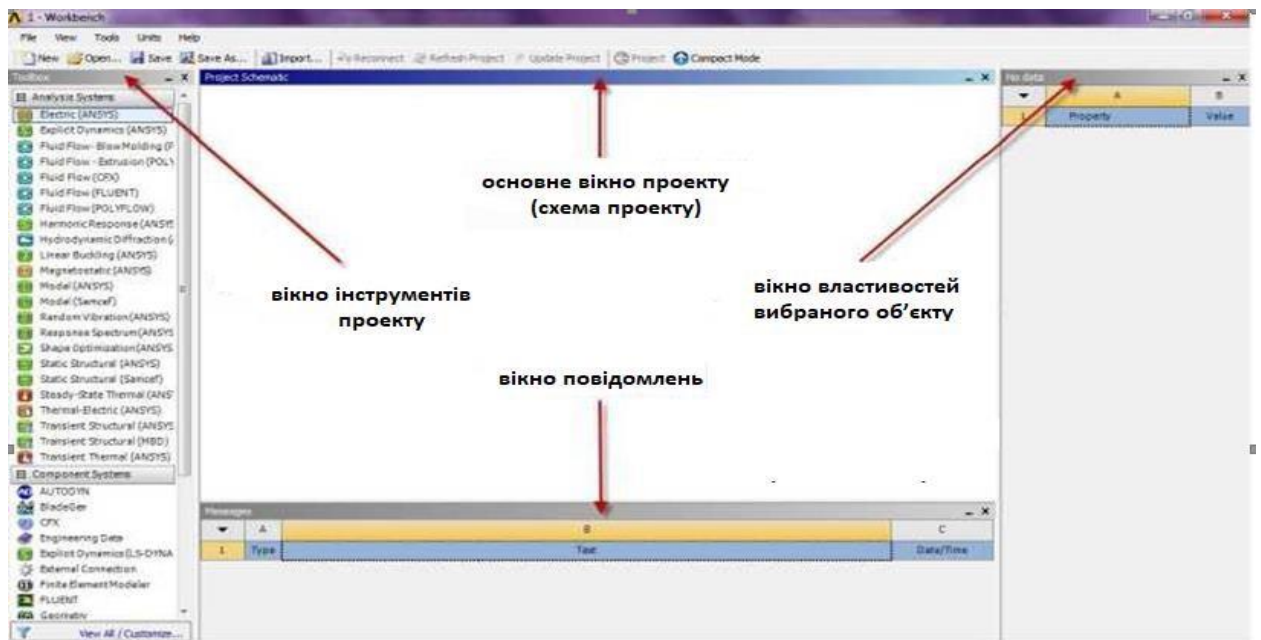


Рисунок 3.1 - Вікно програми

Вікно Project Schematic – головне вікно проекту, розташоване в центрі основного вікна Workbench містить структурні компоненти проекту (блоки) і зв'язки між ними. Такий підхід дозволяє наочно представити частини проекту і зв'язки між його окремими блоками.

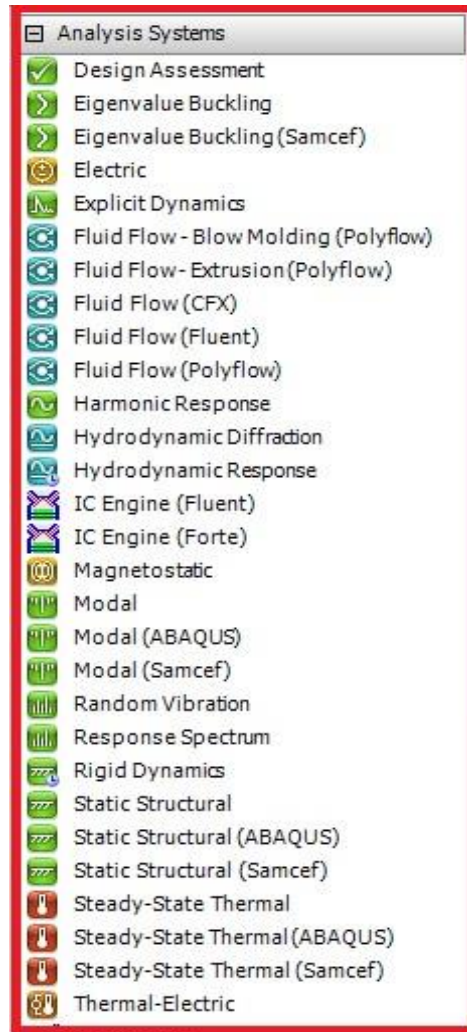


Рисунок 3.2 - Вибір аналізу системи

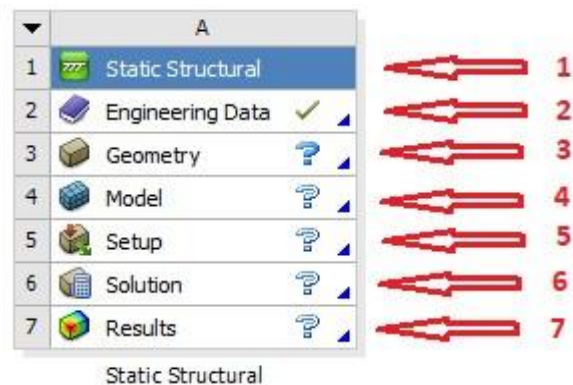


Рисунок 3.3 - Блок інженерного аналізу:

1-найменування системного аналізу; 2- вибір характеристик матеріалу;  
3-побудова геометричної моделі; 4-5-генерації МСЕ сітки та задання умов симуляції; 6-7-вирішення і представлення результатів

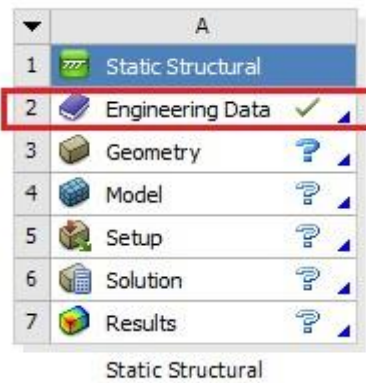


Рисунок 3.4 - Модуль управління характеристиками матеріалів

Вікно Toolbox - вікно інструментів проекту, розташоване зліва від вікна Project Schematic. Містить кілька розділів, відображених у вигляді розкритих списків. Перший з них: Analysis Systems - розділ, що містить всі види інженерних аналізів, виконуваних в ANSYS.

Component Systems - розділ, що містить окремі компоненти інженерного аналізу, такі як: геометрична модель, скінченно- елементна сітка та ін.

Розділ Custom Systems містить шаблони для зв'язування інженерних розрахунків двох моделей, тобто коли результати рішення одного завдання будуть вихідними даними для іншого. Типовим прикладом пов'язаного аналізу є термічний розрахунок, в якому для визначення характеристик міцності беруться попередньо отримані результати рішення теплової задачі (рис. 3.5). Останній розділ Design Exploration містить інструменти для оптимізації моделей по набору геометричних або фізичних параметрів побудови.



Рис. 3.5 - Модулі, що зв'язані між собою

Workbench підтримує два типи зв'язку, який встановлюється між блоками інженерного аналізу: простий зв'язок для передачі даних (Transfer Data) або спільно використовуваний зв'язок (Share). При наявності простого зв'язку дані з одного блоку передаються, як вхідні в інший блок. При наявності спільно використовуваного зв'язку встановлюється відповідність між пов'язаними осередками, що накладає обмеження на редагування і передачу даних в елементах. На рис. 3.5 відображена схема пов'язаного статичного термічного аналізу.

У цьому завданні властивості матеріалів (Engineering Data), геометрична модель (Geometry), KE-сітка (Model) використовуються спільно, тому зв'язок цих елементів має тип Share. Робочий модуль управління матеріалами зображено на рис. 3.6.

На рисунку 3.7 зображено матеріал, який визначений за замовчуванням в ПК Ansys і його характеристики.

Додати матеріал можна 3-ма способами. Перший - це додати з бібліотеки Ansys і змінити характеристики; для цього заходимо в бібліотеку (показано стрілкою), далі вибираємо тип матеріалів (1-2 і ін.) і вибираємо матеріал (3) який нам потрібний (рис. 3.8).



Unsaved Project - Workbench

File Edit View Tools Units Extensions Jobs Help

Project A2:Engineering Data

Filter Engineering Data Engineering Data Sources **F**

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data		Source		Description
2	Material				
3	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

Properties Row 2: Density

	A	B
1	Temperature (C)	Density (kg m <sup>-3</sup> )
2		7850
*		

Properties of Row 3: Structural Steel

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Chart of Properties Row 2: Density

View All / Customize...

Ready

Tab Monitor... Show Progress Show 0 Messag...

### Рисунок 3.6 Робочий модуль управління матеріалами:

A - властивості матеріалів, які можуть бути додані при заданні характеристик матеріалу; B - відображає структуру вмісту вибраного джерела даних у вікні; C- відображає властивості вибраного елемента на панелі структури даних; D - відображає властивості вибраного елемента на панелі структури даних; E - відображає діаграму елемента, обраного на панелі властивостей; F- бібліотека матеріалів Ansys

The image shows two windows from the ANSYS Engineering Data software. The top window, titled 'Outline of Schematic A2: Engineering Data', displays a table with columns A, B, C, D, and E. Row 3 is highlighted and contains 'Structural Steel' in column A, a dropdown arrow in B, a checkbox in C, a link icon in D, and a description in E: 'Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1'. A red dashed box highlights the 'Structural Steel' cell. The bottom window, titled 'Properties of Outline Row 3: Structural Steel', shows a table with columns A, B, C, D, and E. Row 8 is highlighted and contains 'Young's Modulus' in column A, '2E+11' in B, and 'Pa' in C. A red solid box highlights the entire table area.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		

Рисунок 3.7 Матеріал з бібліотеки Ansys (нижче представлені всі її характеристики, які можна змінити або додавати інші)

The image shows the 'Engineering Data Sources' window in ANSYS. The top part is a table with columns A, B, C, and D. Row 2 is 'Favorites', row 3 is 'General Materials' (marked with a red '1'), row 4 is 'General Non-linear Materials' (marked with a red '2'), and row 5 is 'Explicit Materials'. A red arrow points to the 'Engineering Data Sources' title bar. Below this is the 'Outline of Favorites' window, which has columns A, B, C, D, E, and F. Row 3 is 'Air' and row 4 is 'Structural Steel' (marked with a red '3').

	A	B	C	D
1	Data Source		Location	Description
2	Favorites			Quick access list and default items
3	General Materials	1		General use material samples for use in various analyses.
4	General Non-linear Materials	2		General use material samples for use in non-linear analyses.
5	Explicit Materials			Material samples for use in an explicit analysis.

	A	B	C	D	E	F
1	Contents of Favorites		Add	Source		Description
2	Material					
3	Air					
4	Structural Steel	3				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table -110.1

Рисунок 3.8 Спосіб додавання нового матеріалу

Спосіб 2: натискаємо на пусте поле нижче існуючого (1) матеріалу і даємо йому назву, далі додаємо характеристики і вписуємо їх числові дані (2) (рис. 3.9-3.10).

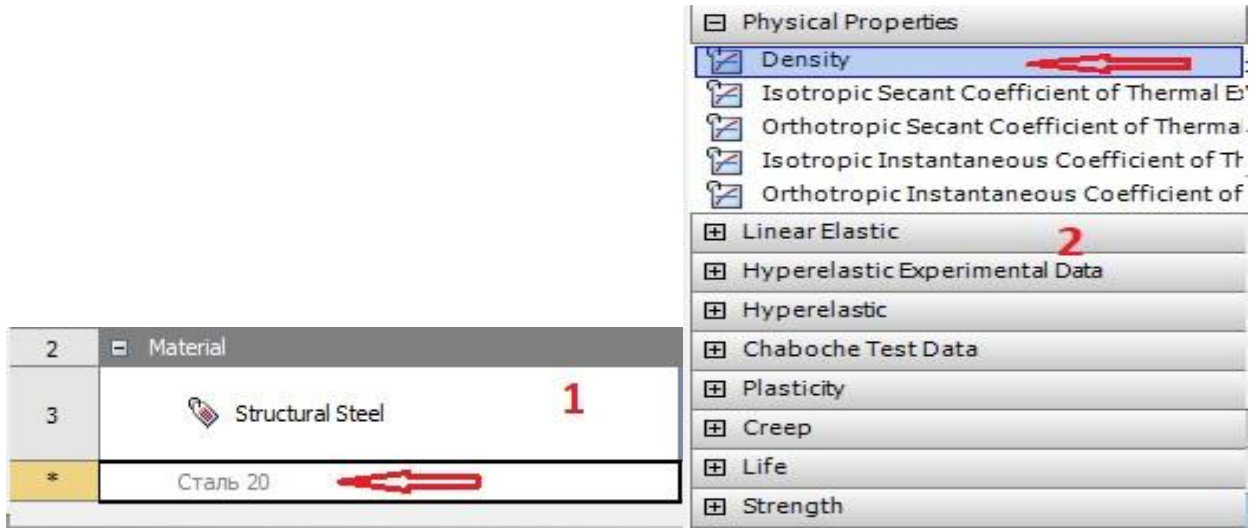


Рисунок 3.9 - Спосіб додавання нового матеріалу

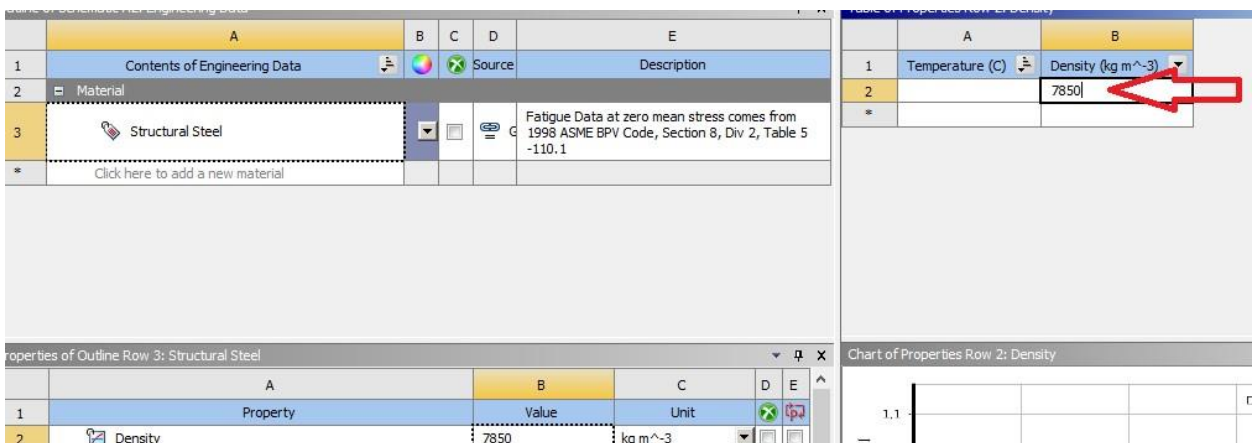


Рисунок 3.10 - Зміна густини матеріалу

Третій спосіб - це імпорт матеріалу з його характеристиками з іншого джерела (рис. 3.11).

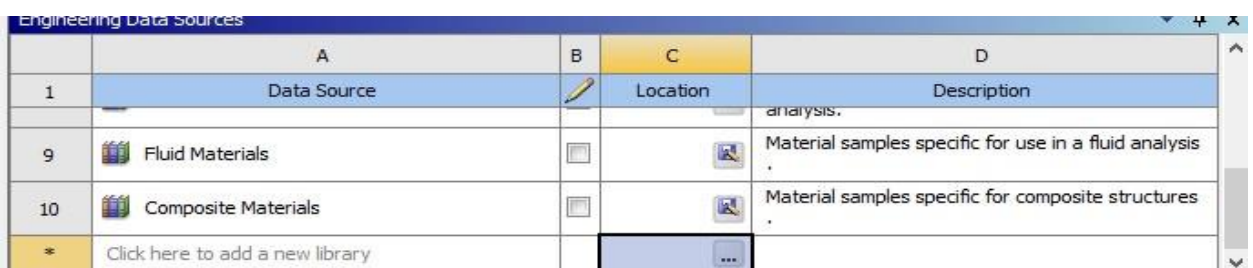
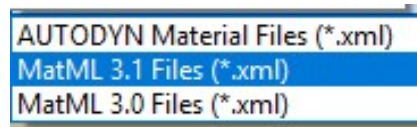


Рисунок 3.11 Спосіб додавання нового матеріалу

Формат файлів для додавання є таким:



### 3.4 Графічний інтерфейс програмного продукту

Етап побудови геометричної моделі реалізується елементом Geometry. Геометрична модель створюється в модулі Design Modeler, який реалізує сучасні методи моделювання плоскої і тривимірної геометрії. Крім стандартних інструментів геометричного моделювання Design Modeler (рис. 3.12) має ряд спеціальних функцій, що дозволяють підготувати модель до інженерного аналізу в ANSYS. Графічне вікно містить режим моделювання (побудова 3D геометрії), ескізний режим (перегляд побудованої геометрії) (рис. 3.13).

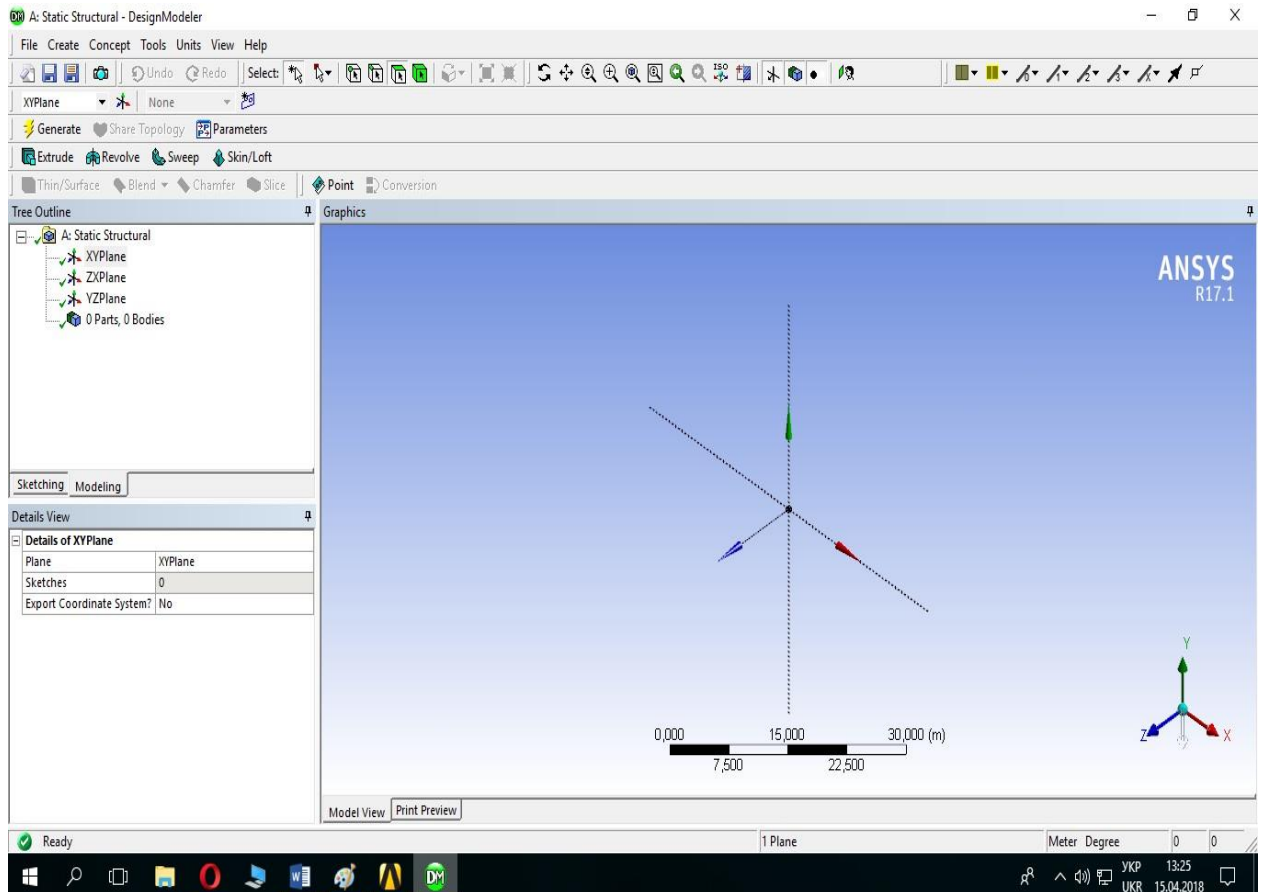


Рисунок 3.12 - Вікно графічного інтерфейсу

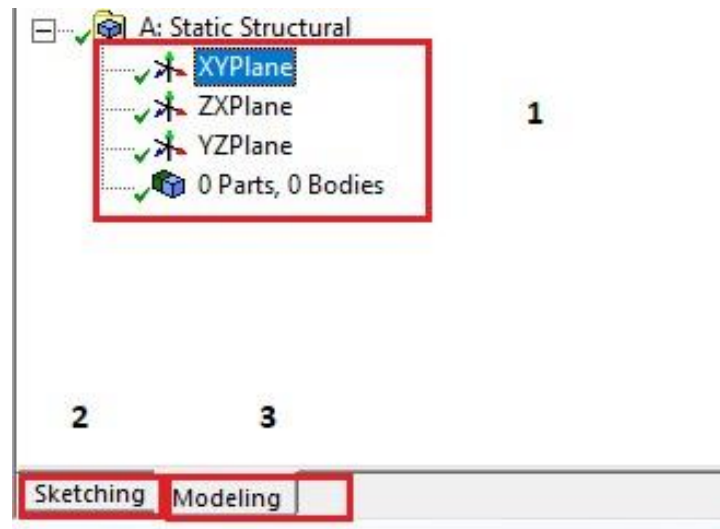


Рисунок 3.13 - Графічний інтерфейс:

1- площини для моделювання; 2- ескізний режим; 3 – режим моделювання

В режимі моделювання можна включити сітку для зручності моделювання (а), змінити величину розбивку сітки (b), змінити величину розбивки в одному квадраті (c) (рис. 3.14). Вибір одиниць вимірювання (створення/побудови) для геометричної моделі (рис. 3.15.). У режимі побудови ескізу вікно дерева побудови (Tree Outline) змінюється на вікно інструментів побудови (Sketching Tool boxes), яке містить наступні групи (рис. 3.16):

- Draw - інструменти рисування ескізу;
- Modify - інструменти редагування ескізу;
- Dimensions - інструменти для завдання розмірів ескізу;
- Constraints - інструменти для задання обмежень і геометричних умов між елементами ескізу;



Рисунок 3.14 - Сітка для моделювання і її розбивка



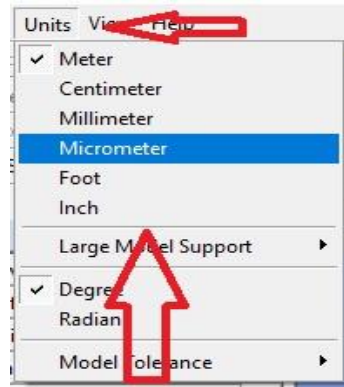


Рисунок 3.15 - Вибір одиниць для середовища

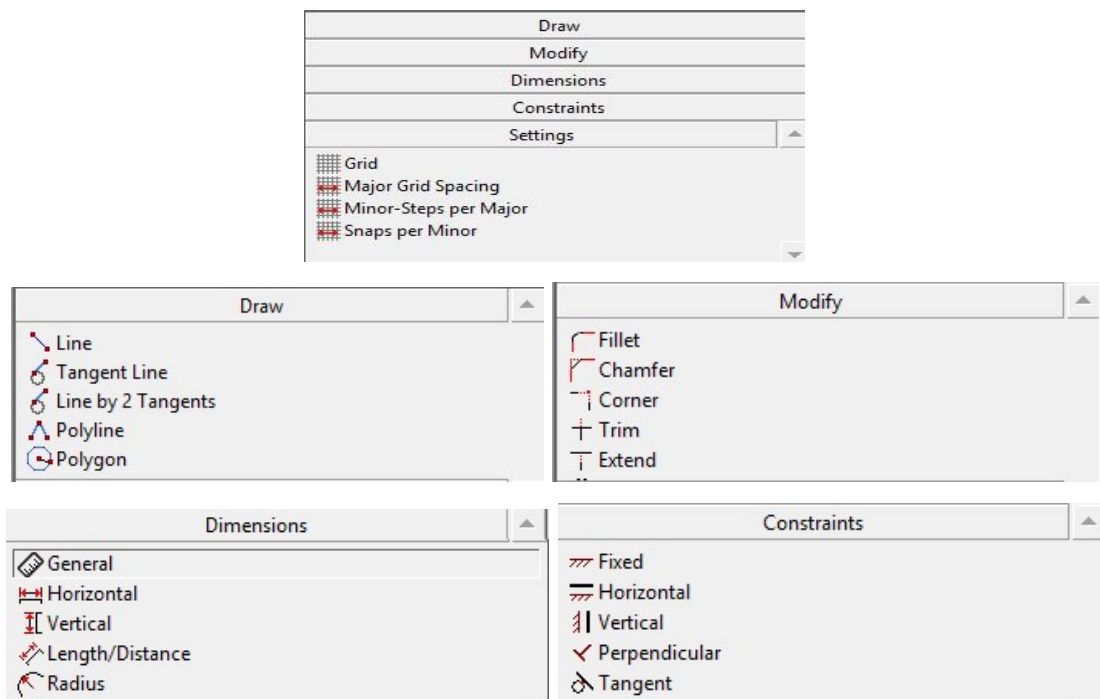


Рисунок 3.16 - Меню графічного середовища та інструменти для побудови, редагування, розмірів і задання обмежень між елементами

Design Modeler реалізує стандартні команди для малювання найпростіших елементів ескізу. Коротка характеристика команд групи Draw представлена в наступному переліку:

- простий відрізок (Line). Дозволяє побудувати відрізок шляхом вказівки початкової і кінцевої точки;
- відрізок, дотичний до об'єкта (Tangent Line). Дозволяє побудувати відрізок по дотичній до заданого об'єкту в обраній точці. Натиснувши і утримуючи

- ліву кнопку миші на обраній точці об'єкта, потрібно перетягнути покажчик до кінцевої точки відрізка;
- відрізок, дотичний до двох об'єктів (Line by 2 Tangents). Аналогічно попередній команді будується відрізок по дотичній до двох вибраних об'єктів;
  - полілінія (Polyline). Дозволяє побудувати ламану лінію. Після побудови останньої ланки ламаної потрібно завершити команду, викликавши натисненням правої кнопки миші контекстне меню і вибравши пункт End. Якщо потрібно замкнути ламану, то потрібно вибрати пункт Closed End; - багатокутник (Polygon). Дозволяє побудувати правильний багатокутник з заданим числом кутів. Для побудови потрібно вказати лише його центр і задати число кутів;
  - прямокутник (Rectangle). Дозволяє побудувати прямокутник, вказавши дві крайні точки його діагоналі. Для побудови прямокутника по трьох точках потрібно вибрати команду Rectangle by 3 Points;
  - овал (Oval). Дозволяє побудувати фігуру, обмежену двома паралельними відрізками і дотичними до них дугами округлостей. Для побудови необхідно вказати центри дуги кола і їх радіус;
  - коло (Circle). Дозволяє побудувати окружність, вказавши її центр і радіус. Для побудови кола, дотичній до трьох об'єктах, необхідно скористатися командою Circle by 3 Tangents;
  - дуга (Arc by Tangent). Дозволяє побудувати дугу, дотичну до заданого відрізка в початковій і кінцевій точках. Для побудови необхідно задати початкову і кінцеву точки відрізка, при цьому має значення послідовність їх вказівки. Також дугу можна побудувати за трьома її точками (Arc by 3 Points) або вказавши центр дуги і дві її точки (Arc by Center);
  - еліпс (Ellipse). Дозволяє побудувати еліпс, вказавши його центр і дві точки;

- гладка крива (Spline). Дозволяє побудувати криву, вказавши її характерні точки перегину або заокруглення. Порядок побудови аналогічний команді Polyline. Для завершення команди потрібно визвати контекстне меню і вибрати один з наступних пунктів: незамкнута крива (Open End), незамкнута крива з характерними точками (Open End with Points), замкнута крива (Closed End), замкнута крива з характерними точками (Closed End with Points);
- геометрична точка (Construction Point). Дозволяє задати точку для геометричних побудов. Якщо потрібно задати точку, яка є перетином двох кривих, то потрібно вибрати команду Construction Point at Intersection, після чого вказати на об'єкти, які перетинаються.

Вибір команди побудови здійснюється натисканням на неї лівою кнопкою миші у вікні інструментів побудови ескізу (Sketching Tool boxes). Для скасування вибору потрібно натиснути клавішу Esc. Будь-яку побудову можна скасувати, повернувшись до попереднього стану, для цього потрібно натиснути кнопку Undo на панелі інструментів. Повторення скасованого кроку виконується натисканням кнопки Redo.

Стан команди геометричної побудови відображається в нижньому рядку вікна побудови. У ній даються інструкції щодо поточного кроку команди, тобто описуються дії, яких команда очікує від користувача. В процесі виконання команди геометричної побудови можливе повернення на один крок назад. Для цього потрібно викликати контекстне меню, натиснувши правою кнопкою миші в будь-якому місці вікна побудови, і вибрати пункт Back.



### 3.5 Інструменти для редагування ескізу

Інструменти редагування ескізу дозволяють змінювати створені геометричні об'єкти. Команди групи Modify і їх характеристика представлені в наступному переліку:

- заокруглення кута (Fillet). Виконує заокруглення кута, створеного двома відрізками. Для цього потрібно виділити відрізки, які утворюють кут і задати радіус заокруглення в параметрі Radius. Заокруглення може бути виконано і між непересічними відрізками. Вибравши команду і викликавши контекстне меню правою кнопкою миші, можна управляти параметрами побудови заокруглення: обсікати обидва відрізки (Trim Both), обсікати один та інший (Trim 1st, Trim 2nd), нічого не відсікати (Trim None), побудувати повне коло (Full Circle);
- фаска (Chamfer). Створює фаску виділеного кута. Довжина фаски задається параметром Length. Для виконання команди потрібно послідовно виділити два відрізки, що утворюють кут. Параметри побудови фаски задаються через контекстне меню і аналогічні команді заокруглення;
- Кут (Corner). Утворює кут з двох відрізків шляхом добудови або відсічення їх до точки перетину. Для виконання команди потрібно послідовно виділити два відрізки, після утворення кута виступаюча частина відрізка автоматично відсікається;
- Відсічення (Trim). Відсікає відрізок або криву до найближчої точки перетину з іншим відрізком або кривою; якщо такого перетину немає, то об'єкт видаляється повністю. Для виконання команди потрібно клікнути на частину, яка відсікається;
- продовження (Extend). Добудовує виділений відрізок до перетину з найближчим відрізком або віссю. Для виключення координатних осей використовується аналогічний параметр Ignore Axis;

- поділ (Split). Розділяє відрізок або криву на частини. Вибравши команду, необхідно викликати контекстне меню і вказати спосіб поділу: Split at Select - розділити, клікнувши мишкою за місцем розділення на необхідному об'єкті; Split Edges at Point - розділити на частини, вказавши існуючу точку на об'єкті; Split Edges at All Points - розділити на частини за існуючими точками на об'єкті;
- зміна (Drag). Змінює положення і розміри виділених об'єктів. Для виконання команди потрібно, натиснувши і утримуючи ліву кнопку миші на будь-якій точці об'єкта, переміщати покажчик. Зміна об'єкта залежить від накладених на нього обмежень. З допомогою цієї команди можна переміщати відрізки, змінювати їх довжину, напрямок, змінювати розміри геометричних фігур;
- вирізання (Cut). Видаляє виділені об'єкти в буфер для вставлення їх в інше місце ескізу. При цьому використовується поняття «точка прив'язки» (Paste Handle) - позиція, з якої зіставляються виділені об'єкти. Виконання команди відбувається в кілька етапів. Спочатку необхідно запустити команду, клікнувши на ній, і виділити об'єкти для видалення. Наступний крок полягає у виклику контекстного меню (правою кнопкою миші) і вказівці точки прив'язки: End/Set Paste Handle - завершити виділення і вказати точку прив'язки для нього, End/Use Plane Origin as Handle - завершити виділення і задати в якості точки прив'язки початок координат поточної площині, End/Use Default Paste Handle - завершити виділення і задати в якості точки прив'язки початкову точку першого виділеного об'єкту.

### **3.6 Генерація скінчено-елементної моделі, дискретизація її скінченоелементною сіткою**

Присвоєння геометрії характеристик матеріалу, дискретизація скінченим елементом, задання сили і закріплення і вивід результатів показані на рис. 3.17.

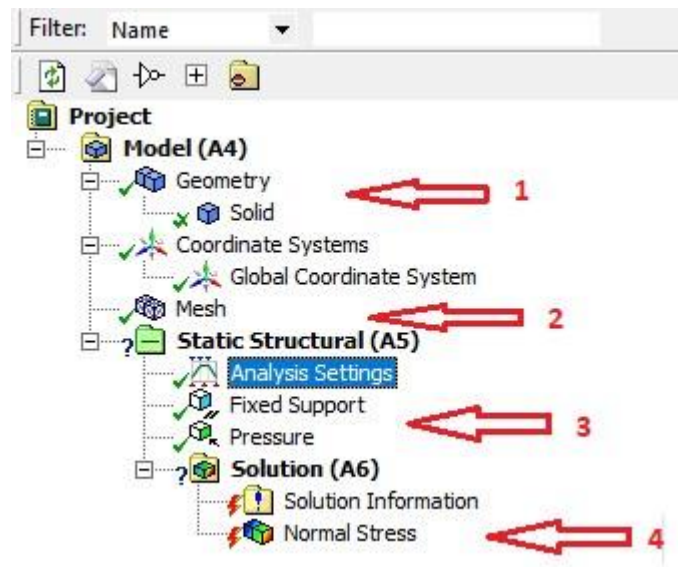


Рисунок 3.17 - Меню скінчено-елементної сітки та симуляції:  
 1-задання характеристик матеріалу на об'єкті; 2 – дискретизація моделі скінчено-елементною сіткою; 3 – задання даних симуляції; 4 – виведення потрібних результатів.

Дискретизацію в Ansys можна провести виконавши наступне (рис. 3.18).  
 Size Function – розбивка елемента, General Mesh – побачити розбивку елемента скінченим елементом.

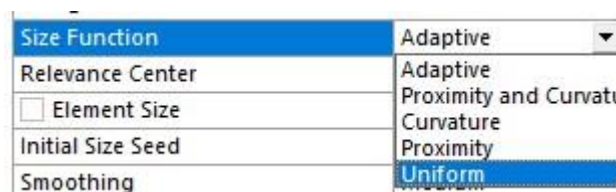
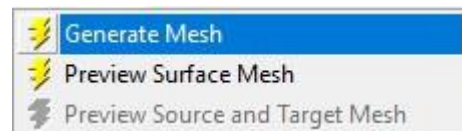




Рисунок 3.18 - Режими розбивки скінчено-елементною сіткою в середовищі Ansys

Щоб збільшити/зменшити розмір скінчених елементів потрібно вказати їх величину Element Size = 0 (рис. 3.19):

Details of "Mesh"	
Physics Preference	Mechanical
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
<b>Sizing</b>	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
<input checked="" type="checkbox"/> Element Size	0
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse

Рисунок 3.19 - Розмір скінченного елемента

Задання навантаження на модель і закріплення  ;  
 можна задавати на всю модель, площину, грань, точку .

Кількість кроків навантаження і розбивка їх на підкроки: Number of Steps - Current Step - Number Auto Time Stepping - Define by - Initial Substeps - Minimum Substeps - Maximum Substeps (рис. 3.20).




Number Of Steps	1, <b>1</b>
Current Step Number	1, <b>2</b>
Step End Time	1, s 
<b>Auto Time Stepping</b>	On 
Define By	Substeps 
Initial Substeps	1,
Minimum Substeps	1, <b>3</b>
Maximum Substeps	10, <b>4</b>
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled

Рисунок 3.20 - Розбивка кроків/підкроків:

1-загальна кількість кроків; 2- обраний крок; 3 - мінімальна кількість підкроків в 1 кроці; 4 - максимальна кількість підкроків в 1 кроці.

Результати розрахунку Ansys показують по максимальному і мінімальному значеннях напружень, деформацій та ін. На рис. 3.21 показані результати, які може вивести користувач.

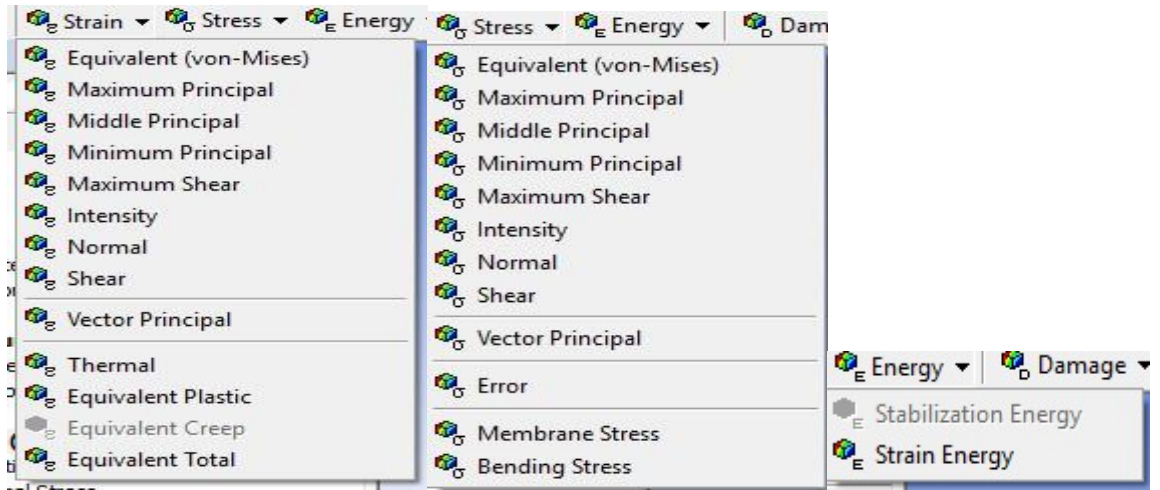


Рисунок 3.21 - Результати розрахунку (напруження, деформації, енергія)

Приклад дискретизації моделі наведено на рис. 3.22 а результати обчислення деформацій і напружень на рис. 3.23 і 3.24.

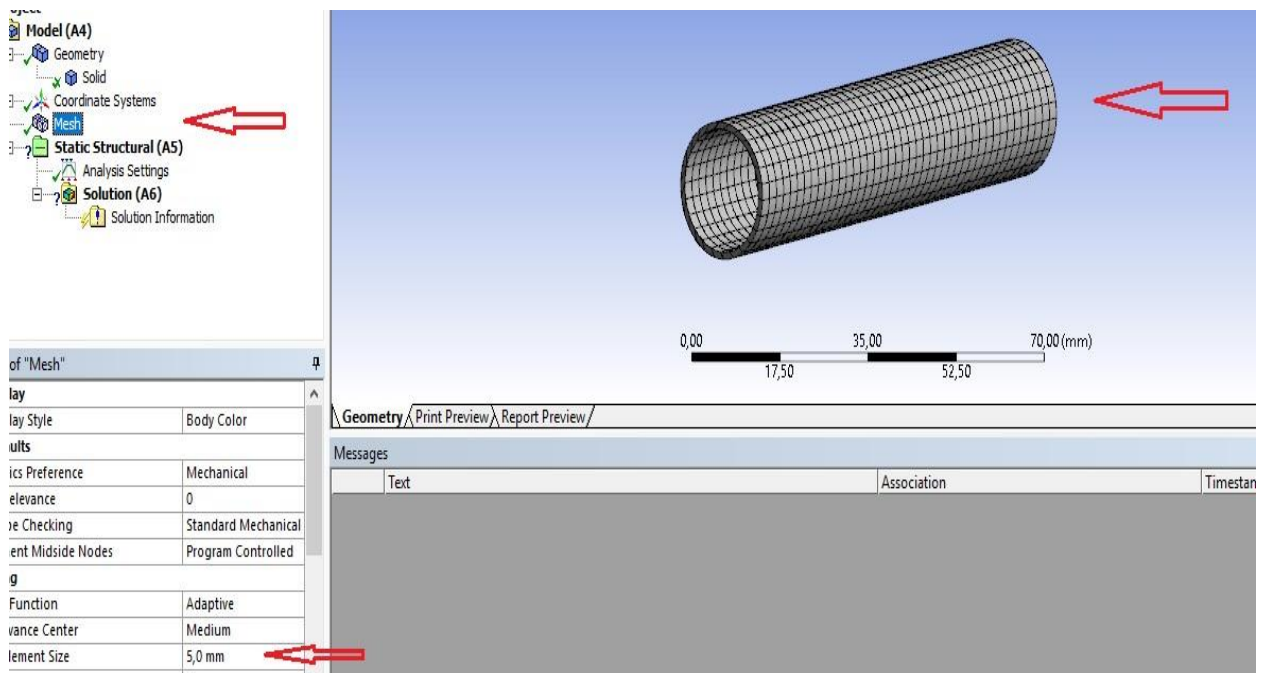


Рисунок 3.22 - Приклад дискретизації моделі

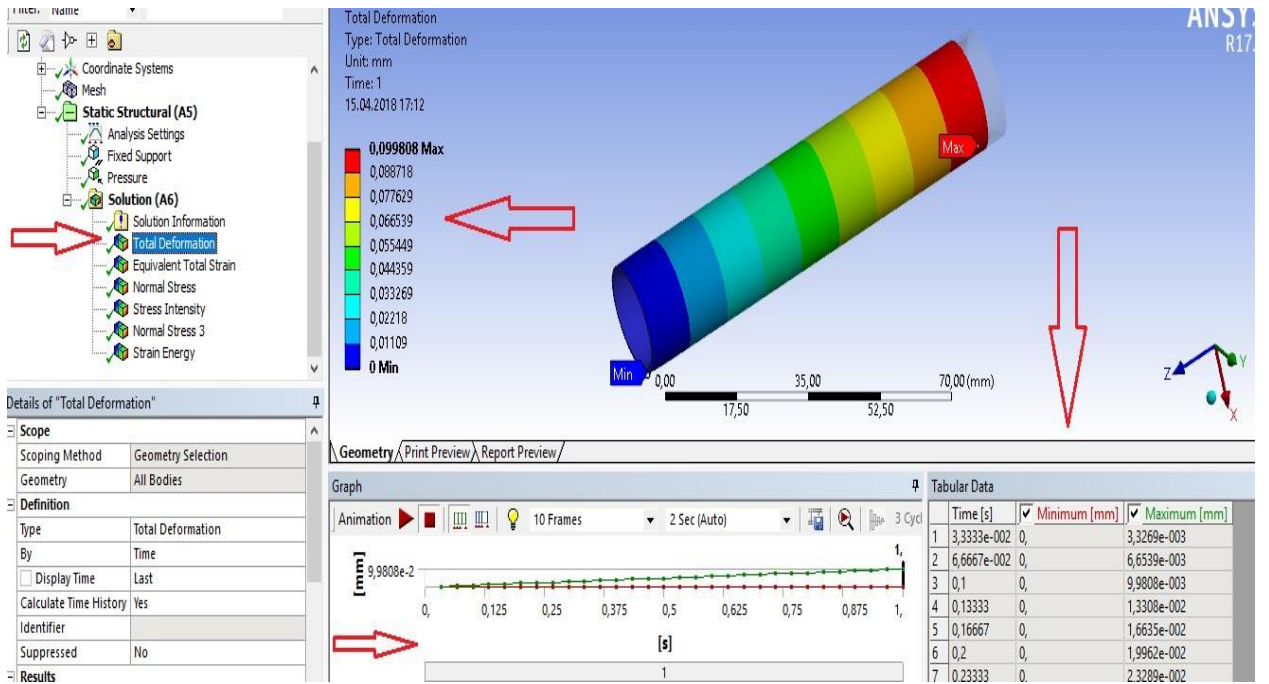


Рисунок 3.23 - Значення max і min деформацій в мм

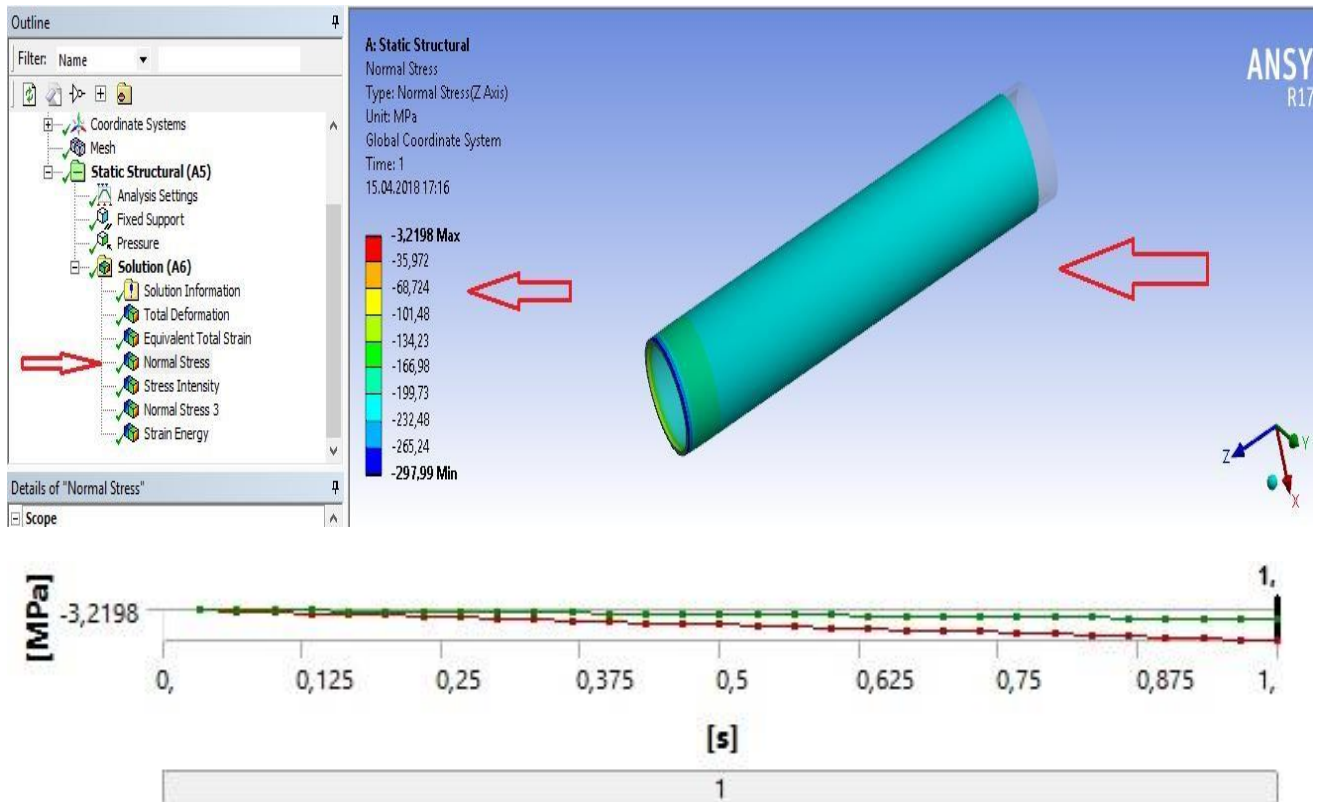


Рисунок 3.24 - Нормальні напруження по осі z в МПа і залежність напружень від часу

## 4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 4.1 Розрахунок економічної ефективності запропонованого технологічного процесу

#### 4.1.1 Визначення вихідних даних для економічного порівняння варіантів

Економічна ефективність запропонованого варіанту технологічного процесу визначається шляхом економічного порівняння з базовим варіантом, або однієї операції, або груп операцій, або всього технологічного процесу.

Вихідні дані для економічного порівняння варіантів треба звести в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічного порівняння варіантів.

Найменування даних	Буквені позначення	1-й варіант (базовий)	2-й варіант (запропонований)
		065	075
		2B440A	GD125x16
Річний приведений обсяг випуску, шт.	$N_{пр}$	20800	20800
Тип та модель верстата		2B440A	GD125x16
Норма штучно-калькуляційного часу	$T_{шк}$	42,5	19,13
Кількість верстатів, шт.	$n_{пр}$	4	2
Коефіцієнт використання	$K_в$	0,94	0,86
Площа верстата за габаритами, м. кв.	$S$	5,5	7,2
Оптова ціна верстата	$Ц_в$	60000	130000
Чисельність робітників верстатників	$P_{пр}$	8	2
Розряд робітників верстатників		3	2
Коефіцієнт багатостатності	$K_б$	1	0,65

Вихідні дані для базового варіанта визначаються таким чином:

а) річний приведений випуск  $N_{np}$  буде однаковим з запропонованим варіантом

б) тип, модель верстата (верстатів), кваліфікацію робітників та  $T_{шк}$  треба брати згідно з базовим технологічним процесом.

в) кількість верстатів та коефіцієнт їх використання визначити за формулами 2.2.1 та 2.2.4.

г) чисельність робітників-верстатників визначається за формулою 2.3.2.

#### 4.1.2 Визначення капітальних вкладень по порівнюваним варіантам

Капітальні вкладення, які враховуються під час визначення ефективності верстатів з ЧПК складаються з наступних витрат:

$$K = K_{бал} + K_{пл} + K_{сл}, \text{ грн.} \quad (4.1)$$

де  $K_{бал}$  - балансова вартість верстата, грн.;

$K_{пл}$  - вартість виробничої площі, грн.;

$K_{сл}$  - вартість службово-побутових приміщень, грн.

$$K_1 = 276000 + 156000 + 84000 = 516000, \text{ грн.}$$

$$K_2 = 414000 + 161920 + 31500 = 607420, \text{ грн.}$$

Балансова вартість устаткування визначається за формулою:

$$K_{бал} = \sum_1^M (Ц_e \cdot n_{np}) \cdot K_{дм}, \text{ грн.} \quad (4.2)$$

де  $M$  - кількість типорозмірів верстатів за операціями, що враховуються в розрахунку ефективності, шт.;

$Ц_e$  - оптова вартість верстата, грн.;

$K_{дм}$  - коефіцієнт, враховуючий витрати на транспортування, встановлення верстата, пуско-налагоджувальні роботи (дорівнює 1,15).



$$K_{\text{бал.1}} = \sum_1^M (60000 \cdot 4) \cdot 1,15 = 276000, \text{ грн.}$$

$$K_{\text{бал.2}} = \sum_1^M (180000 \cdot 2) \cdot 1,15 = 414000, \text{ грн.}$$

Вартість виробничої площі визначається за формулою:

$$K_{\text{пл}} = C_{\text{пл}} \sum_1^M (S + S_y) \cdot n_{\text{пр}} \cdot \gamma, \text{ грн.} \quad (4.3)$$

де  $C_{\text{пл}}$  - вартість 1 м. кв. площі механічного цеху (для верстатів нормальної та підвищеної точності дорівнює 1200-1500; для верстатів високої та особливо високої точності, важких та унікальних дорівнює 2200 грн.);

$S$  - площа, яку займає станок за габаритами, м.кв.;

$S_y$  - площа, яку займають виносні та допоміжні прилади ЧПК, електрошафа, гідростанція, елеватор для прибирання стружки та ін. (дорівнює 1-3 м. кв.);

$\gamma$  - коефіцієнт, який враховує додаткову площу, його значення наведено в таблиці 4.2.

$$K_{\text{пл.1}} = 1500 \sum_1^M (5,5 + 1) \cdot 4 \cdot 4 = 156000, \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пл.2}} = 2200 \sum_1^M (7,2 + 2) \cdot 2 \cdot 4 = 161920, \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2.

Площа верстата за габаритами	2,5	2,6-5	5,1-9	9,1-14	14,1-20	20,1-40	40,1-75	>75
Коефіцієнт, що враховує додаткову площу, $\gamma$	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

Вартість службово-побутових приміщень визначається за формулою:

$$K_{\text{сл}} = C_{\text{пл.сл}} \cdot S_{\text{сл}} \cdot \left( \sum_1^M P_{\text{пр}} + \sum_1^M P_{\text{дод}} \right), \text{ грн.} \quad (4.4)$$

де  $C_{пл.сл}$  - вартість службово-побутових приміщень, грн. (1 м. кв. приймається 1500 грн.);

$S_{сл}$  - питома площа на одного виробничого робітника ( $S_{сл}=7$  м. кв.);

$P_{пр}$  - кількість виробничих робітників на даній операції, чол.;

$P_{доо}$  - додаткова робоча сила для одного верстата з ЧПК та витрата на підготовку ПК, налаштування інструменту поза станком, виготовлення ріжучого інструменту поверх звичайних нормативів, технічне обслуговування та ремонт приладів ЧПК, чол. (за укрупнених розрахунків можна прийняти  $P_{доо} = 0,5$ ), чол. на кожний верстат з ЧПК.

$$K_{сл.1} = 1500 \cdot 7 \cdot 8 = 84000, \text{ грн,}$$

$$K_{сл.2} = 2200 \cdot 7 \cdot (2 + 1) = 31500, \text{ грн.}$$

#### 4.1.3. Визначення технологічної собівартості річного випуску деталей за порівнюваними варіантами

До технологічної собівартості (собівартість механічної обробки) включаються витрати, що залежать від використовуваної техніки та технології, розмір яких є різним для порівнюваних варіантів.

Розмір технологічної собівартості річного випуску деталей розраховується за формулою:

$$C = Z_{в.р.} + A_{пл} + A_{сл} + A_{г}, \text{ грн.} \quad (4.5)$$

де  $Z_{в.р.}$  - річна заробітна плата верстатників (основна та додаткова), враховуючи відрахування до фонду соціального страхування, грн.

$A_{см}$  - річні амортизаційні відрахування на повне відновлення верстатів, грн.;

$A_{пл}$  - річні витрати на амортизацію та утримання приміщень, що відведені під верстати, грн.;

$A_{cl}$  - річні витрати на амортизацію та утримання службово-побутових приміщень, грн.

$$C = 1278995,16 + 26000 + 14000 + 53400 = 1372395,16 \text{ , грн.}$$

$$C = 467986,35 + 22080 + 6300 + 59800 = 579166,35 \text{ , грн.}$$

4.1.3.1 Річна заробітна плата виробничих робітників з відрахуванням у фонд соціального призначення визначається за формулою:

$$Z_{npp} = \sum (C_{zod} \cdot T_{шк} / 60) \cdot N_{np} \cdot (1 + K_{dod}) \cdot (1 + \frac{C_g}{100}) \cdot K_g \quad (4.6)$$

де  $C_{zod}$  - годинна тарифна ставка, грн.;

$K_{dod}$  - коефіцієнт, який враховує додаткову ЗП;

$C_g$  - ставка відрахувань у фонди соціального призначення.

$$Z_{npp.1} = \sum (56,7 \cdot 42,5 / 60) \cdot 20800 \cdot (1 + 0,252) \cdot (1 + \frac{22}{100}) \cdot 1 = 1278995,16$$

$$Z_{npp.2} = \sum (46,2 \cdot 19,13 / 60) \cdot 20800 \cdot (1 + 0,252) \cdot (1 + \frac{22}{100}) \cdot 1 = 467986,35$$

4.1.3.2 Річні амортизаційні відрахування на повне відновлення станків визначаються за формулою:

$$A_g = \sum_1^M K_g \cdot \alpha_B / 100, \text{ грн.} \quad (4.7)$$

де  $\alpha_B$  - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення верстата, % ( $\alpha_B = 20\%$ ).

$$A_{g.1} = \sum_1^M 276000 \cdot 20 / 100 = 53400, \text{ грн.}$$

$$A_{g.2} = \sum_1^M 414000 \cdot 20 / 100 = 82800, \text{ грн.}$$

4.1.3.3 Річні витрати на амортизацію та утримання приміщень, що займають верстати визначаються за формулою:

$$A_{nl} = H_{nl} \sum_1^M (S + S_y) \cdot n_{np} \cdot \gamma, \text{ грн.} \quad (4.8)$$

де  $H_{nl}$  - вартість амортизації та утримання м. кв. Площі механічного цеху, грн. (для верстатів нормальної та підвищеної точності дорівнює 200-250 грн., для станків високої та особливо високої точності, важких та унікальних дорівнює 250-300 грн.).

$$A_{nl.1} = 250 \sum_1^M (5,5 + 1) \cdot 4 \cdot 4 = 26000, \text{ грн.}$$

$$A_{nl.2} = 300 \sum_1^M (7,2 + 2) \cdot 2 \cdot 4 = 22080, \text{ грн.}$$

4.1.3.4 Річні витрати на амортизацію та утримання службово-побутових приміщень розраховуються за формулою:

$$A_{cl} = H_{nl} \cdot S_{cl} \cdot \left( \sum_1^M P_{np} + \sum_1^M P_{ood} \right), \text{ грн.} \quad (4.9)$$

$$A_{cl.1} = 250 \cdot 7 \cdot 8 = 14000, \text{ грн.}$$

$$A_{cl.2} = 300 \cdot 7 \cdot (2 + 1) = 6300, \text{ грн.}$$

4.1.4 Визначення річного економічного ефекту та строку окупності капітальних вкладень

Визначаємо капітальні вкладення та технологічну собівартість обробки річної продукції за порівнюваними варіантами, розраховуємо розмір приведених витрат (3) за варіантами:

$$3 = C + E_n \cdot K, \text{ грн.} \quad (4.10)$$

де  $C$  - технологічна собівартість річного випуску продукції за даним варіантом, грн.;

$K$  - капітальні вкладення за цим же варіантом;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,

дорівнює 0,15.

$$Z_1 = 1372395,16 + 0,15 \cdot 516000 = 1449795,16$$

$$Z_2 = 579166,35 + 0,15 \cdot 607420 = 559099,35$$

Розраховуємо річний економічний ефект ( $E_p$ ) як різницю приведених витрат двох варіантів:

$$E_p = Z_1 - Z_2 = (C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2), \text{ грн.} \quad (4.11)$$

$$E_p = Z_1 - Z_2 = 1449795,16 - 559099,35 = 890695,81$$

Якщо новий варіант технологічного процесу потребує більшої суми капітальних вкладень (являючись в той же час ефективним, тобто  $Z_1 > Z_2$ ), то слід визначати строк окупності додаткових капітальних вкладень за рахунок економії, отримуваної від зниження собівартості продукції за формулою:

$$T_{ф.ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2) < T_{н.ок} \quad (4.12)$$

Де  $T_{н.ок}$  - нормативний строк окупності додаткових капітальних вкладень, який дорівнює 6,7 років.

$$T_{ф.ок} = (607420 - 516000) / (1372395,16 - 579166,35) < 6,7 = 0,115 < 6,7$$

Отримані результати зводимо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. – Розрахунок величин приведених витрат, річного економічного ефекту та строку окупності додаткових капітальних вкладень

Найменування витрат	Буквені позначення	Сума, грн..	
		1-й варіант (базовий)	2-й варіант (проектний)
Капітальні вкладення	К	516000	607420
Технологічна собівартість	С	1372395,16	579166,35
Приведені витрати	З	1278992,16	467986,35
Річний економічний ефект	$E_p$	890695,81	
Строк окупності додаткових капітальних вкладень	$T_{ф.ок}$	0,115 < 6,7	

## 4.2 Техніко-економічні показники дільниці

Розрахунок показників за цим розділом проводиться в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Техніко-економічні показники дільниці

Найменування показника	Величина
1. Річний приведений обсяг продукції	
1.1 В натуральному виразі, шт. ( $N_{np}$ )	20800
1.2 По трудомісткості, н-г.	27723,7
1.3 За повною собівартістю, грн.	
2. Річний обсяг випуску деталі, шт.	1800
3. Кількість обладнання, шт.	9
4. Середній коефіцієнт використання обладнання	0,82
5. Виробнича площа, м <sup>2</sup>	
6. Загальна площа дільниці у розрахунку на одиницю обладнання, м <sup>2</sup>	
7. Чисельність працюючих, чол.	21
7.1 Основні виробничі працівники	12
7.2 Допоміжні працівники	5
7.3 Керівники	2
7.4 Спеціалісти	1
8. Продуктивність праці	
8.1 В натуральному виразі в розрахунку на одного основного робітника, шт.	1733,3
8.2 За трудомісткістю, н-г.	2310,3
8.3 За собівартістю, грн.	
9. Середньомісячна заробітна плата основних виробничих працівників, грн.	10408,9
10. Собівартість деталі, грн.	615,77
11. Ціна деталі, грн.	862,07
12. Матеріальні витрати на 1 грн. собівартості деталі	

## ВИСНОВКИ

У розробленому технологічному процесі були застосовані більш прогресивні методи обробки:

- застосування спеціальних ріжучих інструментів призвело до скорочення тривалості обробки деталі;

- застосування спеціальних вимірювальних інструментів дало можливість знизити витрати часу на контрольні вимірювання та підвищити точність вимірювань.

В першу чергу змінений спосіб отримання заготовки. Заводську заготовку зі сталі 40Х в даний час отримують поковкою кованою на молотах. Запропоновано отримання заготовки на горизонтально-кувальній машині (ГКМ). Це дозволило зменшити собівартість заготовки і отримувати заготовку максимально наближену за своїми розмірами до розмірів деталі.

Базовий технологічний процес був змінений таким чином:

1. Токарно-гвинторізна операція (обробка за два установи) замінюється на дві токарні з ЧПК і фрезерно-центрувальну, де обробка ведеться за один установ.

2. Токарна з ЧПК (на більш старих верстатах) замінюється на дві токарні з ЧПК (з новим верстатом).

Всі нововведення які були введені в базовий технологічний процес виготовлення деталі «Диск направляючий» спрямовані на зниження собівартості деталі та підвищення її конкурентоспроможності.

З огляду на вищеперераховане, підтвержене економічними розрахунками, можна зробити висновок, що розроблений технологічний процес є економічно ефективним.

На прикладі ряду деталей в роботі показано можливості використання сучасного програмного комплексу ANSYS для розрахунків деталей на міцність.

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Аніщенко М.В. Системи числового програмного керування.- Х.: НТУ ХП, 2012. – 312 с.
2. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р.І. Львів: Виробництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 380 с.
3. Вакуленко І.О. Технологія механічної обробки металевих матеріалів: навчальний посібник / І. О. Вакуленко, Т. М. Кадильникова, С. В. Проїдак. — Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т, 2014. — 176 с.
4. Взаємозамінність, основи стандартизації та технічних вимірювань: підручник / Г. О. Іванов, В. С. Шебанін, Д. В. Бабенко, П. М. Полянський ; за ред. Г.О. Іванова, В.С. Шебаніна. — вид. перероб. і доп. — Миколаїв : Миколаївський нац. аграрний ун-т, 2016. — 412 с.
5. Гайворонський В. А. Програмування автоматизованого обладнання. Технологічні основи обробки корпусних деталей : навчальний посібник // В. А. Гайворонський. – К. : Кондор, 2007. – 290с.
6. Григурко І.О. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування): навч. посіб. / І. О. Григурко, М. Ф. Брендюля, С. М. Доценко. — Львів : Новий Світ-2000, 2006. — 576 с.
7. Григурко, І.О. Брендюля М. Ф. Технологія обробки типових деталей та складання машин: Практикум / І. О. Брендюля М. Ф. Григурко, С. М. Доценко. — Львів : Новий Світ-2000, 2019. — 472с.
8. Єременко О.І. Інженерна механіка. Ч. 2. Теорія механізмів і машин. Вінниця: Нова Книга, 2009,
9. Карпусь В.Є. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авіаційному атрагатовбудуванні / В. Є. Карпусь, В. О. Границя. — Х. : ДП ХМЗ "ФЕД", 2009. — 228 с.
10. Кузнєцов Ю. М., Саленко О. Ф., Харченко О. О., Щетинін В. Т. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник



- для студентів вищих навчальних закладів / Ю. М. Кузнецов, О. Ф. Саленко, О. О. Харченко, В. Т. Щетинін. – Київ – Кременчук - Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. — 500 с.
11. Кушніров П. В. Методичні вказівки до практичних занять з курсу "Технологічна оснастка": для студ. за напрямом підготовки 6.050502 - «Інженерна механіка» (спец. "Технологія машинобудування", "Металорізальні верстати та системи", "Інструментальне виробництво") денної та заочної форм навчання. Ч.1 / П. В. Кушніров. – Суми : СумДУ, 2009. – 52 с.
12. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Кульпін Р.А. Динаміка й оптимізація машин. – К.: ЦП «Компринт», 2018. – 310 с.
13. Онофрейчук Н. В. Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням : підруч. / Н.В. Онофрейчук. — Львів : Світ, 2019. — 352 с.
14. Основи обробки матеріалів різанням та інструмент: Навчальний посібник для підготовки молодших спеціалістів та бакалаврів машинобудівних спеціальностей / Ю. Ф. Лебеденко, С. Є. Сліпченко. Харків: Факт, 2020. — 344 с.
15. Сєдінкін Л.М. Збірник тестових завдань з програмування обробки деталей на верстатах з ЧПК: навч. посіб. / Л. М. Сєдінкін. — Суми : СумДУ, 2007. — 119 с.
16. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 201 с.
17. Методичний практикум на тему: “Інженерний аналіз в Ansys Workbench” з дисципліни: “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів“ для практичних занять і М54 самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей. /Укладачі : Васильків В.В., Данильченко Л.М., Радик Д.Л., Дивдик О.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021.– 58 с.

18. Математичне моделювання систем та процесів. Комп'ютерний практикум: Навч. посіб. для студентів спеціальності 143 “Атомна енергетика” спеціалізації “Атомні електричні станції”/ О.В. Баранюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с.
19. Основи ANSYS. Лабораторний практикум: навч. посіб. / В.М. Грищенко, О.А. Свіргун, Є.І. Калінін, В.Б. Савченко – Харків : ХНТУСГ, 2020. 168с.
20. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD : підручник / І. А. Гришанова, Л. П. Згуровська, Ю. В. Киричук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 180 с.