

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(назва факультету)  
Технології машинобудування  
(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до дипломної роботи

**магістр**

(освітній рівень)

на тему: **Розроблення проекту дільниці механічного цеху для  
виготовлення корпусу УГ 250.31.00.007 з дослідженням і  
топологічною оптимізацією адитивних технологій виготовлення  
деталей**

Виконав: студент 6 курсу, групи МТм-61  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Ласько В.Р.</u> (підпис)	<u>Ласько В.Р.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Данильченко Л.М.</u> (підпис)	<u>Данильченко Л.М.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Ткаченко І.Г.</u> (підпис)	<u>Ткаченко І.Г.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Ярема І.Т.</u> (підпис)	<u>Ярема І.Т.</u> (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Міністерство освіти і науки України  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*

Кафедра *технології машинобудування*

Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність *131 «Прикладна механіка»*

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри *проф. Пилипець М.І.*

« 27 » *вересня* 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

*Лаську Віктору Романовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення проекту ділянки механічного цеху для виготовлення корпусу УГ 250.31.00.007 з дослідженням і топологічною оптимізацією адитивних технологій виготовлення деталей*

Керівник проекту (роботи) *Данильченко Лариса Миколаївна, к.т.н., доцент*  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від « 27 » *вересня* 2019 року № 4/7-855

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

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Креслення деталі, її технічна характеристика, Технічні вимоги, базовий технологічний процес її виготовлення.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Аналітична частина. Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва.*

*Аналіз конструкції деталі та базового технологічного процесу її виготовлення. Науково-дослідна частина. Технологічна частина. Вибір способу одержання заготовки. Розроблення операційного технологічного процесу. Розрахунок режимів різання. Нормування операцій. Конструкторська частина. Вибір, опис конструкції та принципу дії пристосувань. Спеціальна частина. Проектна частина. Обґрунтування економічної ефективності. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Екологія.*

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

*Заготовка – 1 А1. КТП – 2 А. КН – 1 А1. Наукові дослідження – 1 А1.*

*Складальні креслення верстатних пристроїв - 3 А1.*

*Креслення контрольного пристрою - 1 А1. План компоновки цеху та план ділянки – 1 А1.*



## РЕФЕРАТ

Тема магістерської роботи – спроектувати дільницю механічного цеху для виготовлення корпусу УГ 250.31.00.007 та розробити технологічний процес його оброблення. Деталь виготовляється литтям в кокіль із сірого чавуну марки СЧ20. Корпус призначений для кріплення шпindelної групи і в зібраному конструктивному варіанті має назву траверса шпindelна УГ 250.31.00.000 СБ. Траверса шпindelна є основним вузлом, в якому монтується шпindel верстату 6Г463.31.01.000 СБ.

Верстат моделі УГ250 призначений для оброблення деталей гравірувальними різцями, кінцевими, кутовими та фасонними фрезами по програмі деталей. Може використовуватися в механічних цехах машинобудівних заводів.

У даній роботі розглянуті варіанти можливого технологічного процесу, розроблений оптимальний технологічний процес на базі аналізу технологічних властивостей і базових можливостей деталі. Проведені практичні розрахунки режимів різання і норм технічного часу. Крім цього розроблено і розраховано фрезерні пристосування для фрезерування площини та основи. Спроектовано контрольний пристрій для контролю биття поверхонь одна відносно одної.

Дослідженні методи топологічної оптимізації деталей для виготовлення адитивними технологіями та розглянуто приклад на деталі корпус УГ 250.31.00.007. Завдяки топологічній оптимізації вдається зберегти жорсткість деталі при цьому зменшивши її масу до мінімуму що дозволяє зекономити на матеріалах виробництва в той же час не впливаючи на її експлуатаційні характеристики.

					<i>MP 18–382.00.00</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>РЕФЕРАТ</b>					
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>							3	1
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>						<i>ТНТУ, каф.ТМ, гр. МТМ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>								



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	8
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1. Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва.	9
1.2. Аналіз технічних вимог на виріб.	11
1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі.	13
1.4. Аналіз базового технологічного процесу.	17
1.5. Висновки та постановка задачі на магістерську роботу.	20
<b>2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	
2.1. Огляд методів топологічної оптимізації.	22
2.1.1. ESO – метод.	22
2.1.2. SIMP – метод.	24
2.1.3. Level-Set – метод.	27
2.2. Дослідження топологічної оптимізації корпусу УГ 250.31.00.007.	29
2.3. Порівняння топологічної оптимізації в різних програмних продуктах.	37
2.4. Сучасні тенденції у проектуванні деталей за допомогою топологічної оптимізації.	39
<b>3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	
3.1. Характеристика типу та організаційної форми виробництва.	40
3.2. Вибір і технічне обґрунтування способу одержання заготовки.	41
3.3. Розрахунки припуску на поверхню деталі аналітичним способом.	44
3.4. Розроблення маршрутного технологічного процесу механічного оброблення корпусу УГ250.31.00.007.	51

					<i>MP 18–382.00.00</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ЗМІСТ</b>					
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>							4	4
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>						<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>								

3.5. Методи забезпечення технологічних вимог в процесі оброблення деталі.	52
3.6. Опис проектного маршрутного технологічного процесу за операціями.	54
3.7. Розроблення операційного технологічного процесу.	56
3.7.1. Розрахунки режимів різання і нормування вертикально-фрезерної операції 005.	57
3.7.2. Розрахунки режимів різання і нормування плоскошліфувальної операції 035.	64
3.8. Визначення похибки базування заготовки.	69
<b>4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	
4.1. Проектування технологічного оснащення.	81
4.1.1. Вибір і обґрунтування принципу дії пристрою, структурної схеми.	81
4.1.2. Силовий розрахунок параметрів приводу.	83
4.1.3. Розрахунок пристрою на точність.	85
4.1.4. Опис конструкції та роботи пристрою.	86
4.2. Розрахунок спеціального різального інструменту.	87
4.3. Розрахунок на точність контрольного пристрою.	87
4.4. Розрахунок засобів автоматизації та механізації.	90
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	
5.1. Огляд сучасного програмного забезпечення для топологічної оптимізації деталей.	91
5.2. Методи вирішення проблем «шахової дошки» в процесі топологічної оптимізації за допомогою САПР.	94
<b>6. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА</b>	
6.1. Визначення річної потреби в технологічному обладнанні. Складання зведеної відомості обладнання.	101

6.2. Вибір типу і розрахунок кількості вантажопідіймальних і транспортних засобів.	102
6.3. Розрахунки чисельності промислово-виробничого персоналу.	103
6.3.1 Розрахунки дійсного річного фонду часу.	103
6.3.2. Розрахунки чисельності виробничих робітників.	104
6.3.3. Розрахунки чисельності допоміжних робітників, інженерно-технічних працівників (ІТП) та МОП.	106
6.4. Розрахунки необхідної виробничої площі та побудова схеми планування ділянки.	106
6.5. Вибір типу приміщень, компоновка цеху, планування ділянки.	112
<b>7. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ</b>	
7.1. Визначення технологічної собівартості виготовлення корпусу	113
7.1.1. Техніко-економічне обґрунтування способу одержання заготовки	113
7.1.2. Визначення фонду заробітної плати виробничих робітників і величини їх середньомісячного заробітку.	114
7.1.3. Розрахунки накладних витрат.	118
7.1.3.1. Розрахунки загальнопромислових витрат.	118
7.1.3.2. Розрахунки адміністративних витрат.	119
7.1.3.3. Розрахунки витрат на збут.	120
7.1.4. Розрахунки повної собівартості та ціни деталі.	120
7.2. Визначення економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу виготовлення корпусу.	121
<b>8. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	
8.1. Охорона праці при термічному, електрохімічному і електрофізичному обробленні металів.	126
8.2. Розрахунок повітряної завіси для проектованої ділянки механічного цеху.	129

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.3. Забезпечення безпечної експлуатації обладнання на проектованій ділянці.	132
8.4. Зменшення небезпеки виникнення пожеж на ділянці.	134
<b>9. ЕКОЛОГІЯ</b>	
9.1. Вплив складових машинобудівного комплексу на довкілля.	136
9.1.1. Забруднення атмосфери.	136
9.1.2. Забруднення гідросфери.	141
9.2. Обґрунтування заходів з охорони навколишнього середовища, вибір устаткування для вловлювання пилу, туману, очищення стічних вод.	143
9.3. Оцінка екологічної ефективності на ділянці механічного цеху для виготовлення корпусу.	145
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	149
<b>ДОДАТКИ</b>	150
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	195

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

Технічний прогрес машинобудування характеризується не лише покращенням конструкцій машин, але й безперервним удосконаленням технологій їх виробництва, важливо якісно, економічно і в задані терміни з мінімальними витратами виготовити машину. Розвиток нових прогресивних технологічних процесів оброблення спонукає до конструювання більш сучасних машин і зниження їх собівартості. Актуальним завданням підвищення якості машин, в першу чергу, є їх точність.

В розвитку технології оброблення металів за останні роки відбуваються принципові зміни технологічних процесів на основі використання високопродуктивного обладнання з ЧПК, створення роботизованих верстатних комплексів і гнучких виробничих систем з керуванням від ЕОМ, підвищення розмірної та геометричної точності, яка досягається при обробленні – таким є перелік найважливіших напрямів розвитку технології механічного оброблення в машинобудуванні.

Переважною тенденцією розвитку технології в автоматизованому виробництві є запровадження маловідходної та малоопераційної технології, використання точних заготовок, близьких за формою і розмірами до готових виробів, що сприяє економії металу, зменшенню працемісткості механічного оброблення, скороченню виробничого циклу виготовлення деталей і зниженню собівартості продукції в цілому.

Сприяють цій тенденції швидкий розвиток адитивних технологій та освоєння машинобудівними підприємствами нової технології проектування, що дозволяє знизити матеріаломісткість деталі до мінімуму, при цьому не зменшуючи її жорсткості та покращуючи їх техніко-експлуатаційні показники.

					<i>MP 18–382.00.00</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВСТУП</b>					
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>							8	1
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>						<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>								

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва.

Корпус УГ 250.31.00.007 призначений для кріплення шпindelної групи і в зібраному конструктивному варіанті має назву траверса шпindelна УГ 250.31.00.000 СБ. Траверса шпindelна є основним вузлом, в якому монтується шпindel верстату 6Г463.31.01.000 СБ.

Верстат моделі УГ250 призначений для оброблення деталей гравірувальними різцями, кінцевими, кутовими та фасонними фрезами по програмі деталей. Може використовуватися в механічних цехах машинобудівних заводів.

- Розміри робочої поверхні столу, мм:  
довжина - 500h14;  
ширина - 250h14.
- Відстань від торця шпindelа до робочої поверхні столу, мм:  
найменша - 15;  
найбільша - 265.
- Величина найбільших робочих переміщень, мм:  
столу (вісь X) – 320;  
повзуна (вісь Y) – 250;  
консолі (вісь Z) 250.
- кількість робочих подач – безступінчасте регулювання;
- граничні частоти обертання шпindelа, об/хв. - 1250...20000±8%;
- кількість швидкостей шпindelа – 13;
- тип системи ЧПК – контурна;

					<i>MP 18-382.00.00</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>				9	13
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>			<b>АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b> <i>ТНТУ, каф.ТМ, гр. МТМ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>					

- ручне переміщення шпинделя – 10 мм;
- кліматичне виконання верстату – УЗ.ГОСТ15150-69.

Конус шпинделя - спеціальний для безпосередньої установки цанги.  
 Передбачено комплект з шести цанг діаметрами: 6; 8; 10; 12; 14; 16 мм.

Схему вузла з специфікацією представлено на рисунку 1.1.

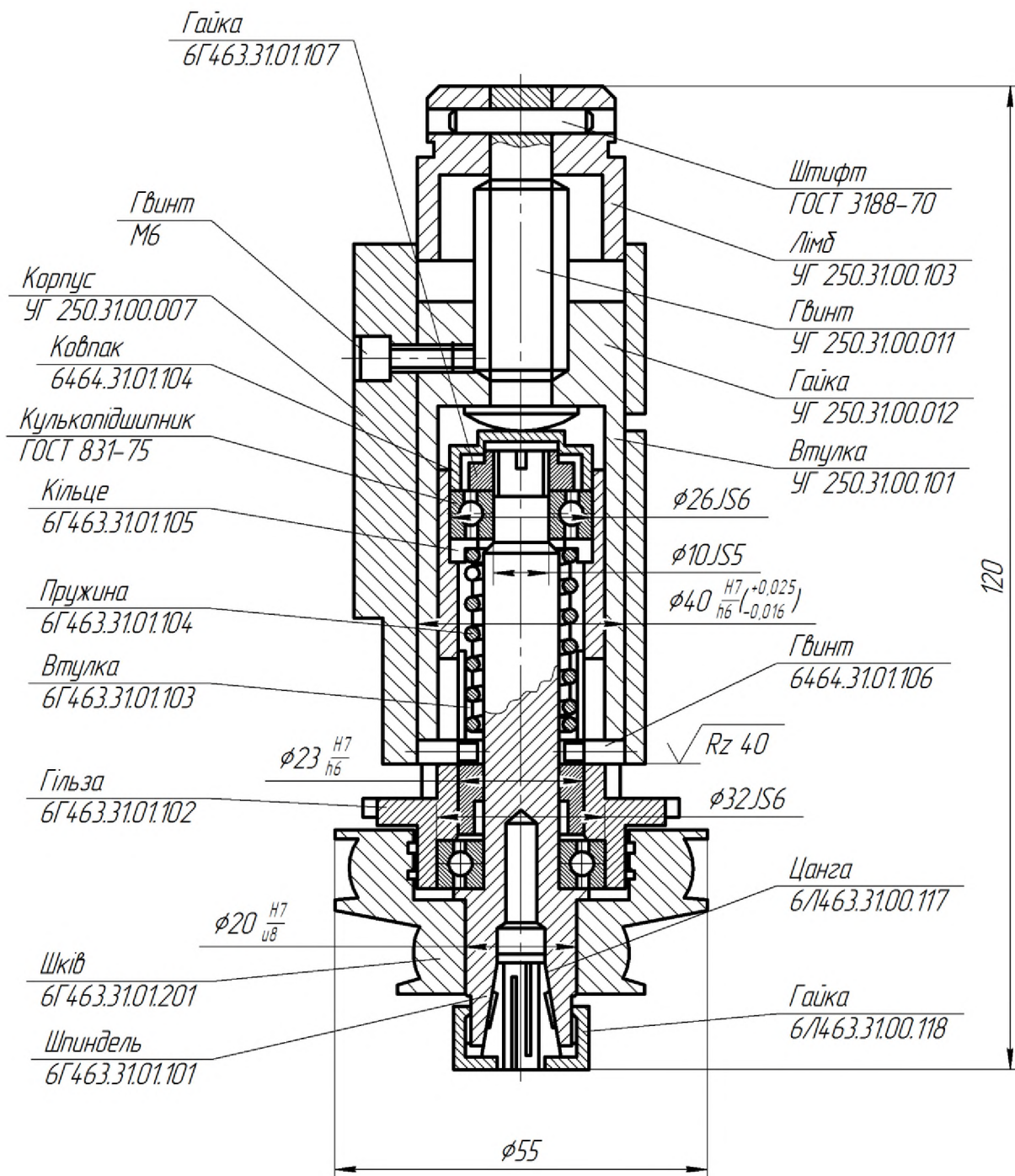


Рисунок 1.1 – Схема вузла верстата моделі УГ250

										Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

MP 18-382.00.00

## 1.2. Аналіз технічних вимог на виріб.

Матеріал деталі «корпус УГ 250.31.00.007» - сірий чавун СЧ20. Найбільший діаметральний розмір -  $\varnothing 40H7$  мм, довжина – 210js14 мм.

Виходячи з того, що корпус є основною базовою деталлю вузла, до нього висуваються підвищені вимоги параметрів точності. Так площина А є базовою, оскільки безпосередньо до неї кріпиться повзун і утримується вузол за допомогою кріпильних гвинтів. Площина А повинна бути виконана гладкою і прямолінійною та мати шорсткість не менше  $Ra = 1,25$  мкм. Цю площину ми будемо використовувати як базову для оброблення центрального отвору  $\varnothing 40H7^{(+0,025)}$ , який має вимоги - допуск паралельності відносно базової площини повинен не перевищувати 0,01 мм. Шорсткість отвору  $\varnothing 40H7$ ,  $Ra=1,25$  мкм, яка також зумовлена технічними вимогами складального креслення для запресовування гільзи шпинделя.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ20 і заготовку на деталь відповідно одержують литтям. Сірий чавун має добрі ливарні властивості, добре піддається механічному обробленню. Крім, цього чавун є стійким до вібрації, відносно дешевим матеріалом. Тож зміну матеріалу в даному проводити не доцільно.

Для кріплення шпиндельного вузла в корпусі передбачено отвір  $\varnothing 40H7^{(+0,025)}$  мм, шорсткість оброблення якого повинна бути не менша  $Ra=1,25$  мкм. Для фіксації положення шпинделя передбачено кріплення гвинтами М8 через розрізаний паз, як зображено на рисунку 1.2.

Траверса шпиндельна кріпиться до торця повзуна за допомогою 6 гвинтів М8 і фіксується на 2 штифти  $\varnothing 6$  мм, для чого в корпусі передбачено два отвори  $\varnothing 5,8$  мм під розвертання під штифт  $\varnothing 6$  мм. Схему кріпильних отворів показано на рисунку 1.3.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



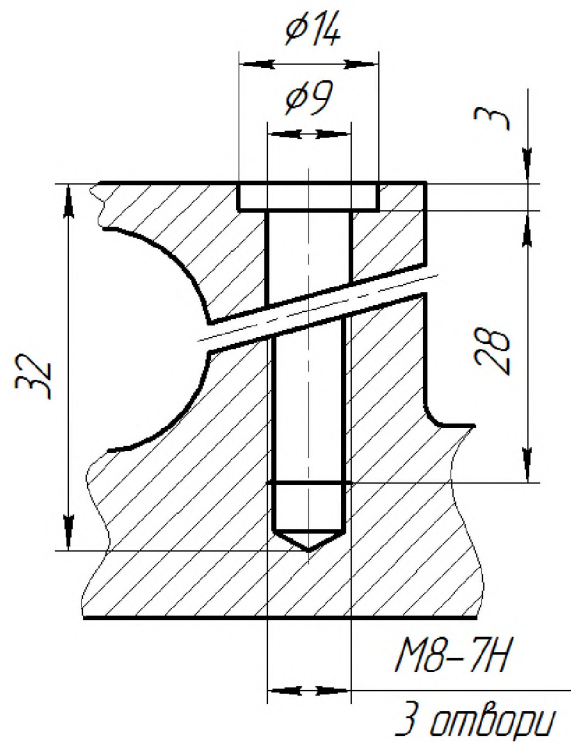


Рисунок 1.2 – Схема кріплення шпинделя

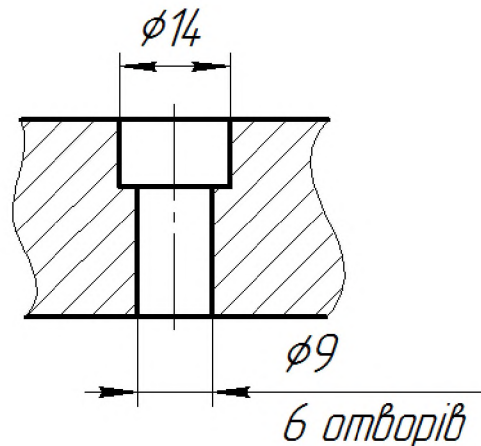


Рисунок 1.3 – Схема кріплення траверси

В корпусі передбачено 2 фігурні вибірки  $B=50$  мм,  $R=10$  мм для монтажу направляючих повзуна при збиранні вузла.

Кріплення інструменту в шпинделі здійснюється цанговим затиском. Обертання шпинделя здійснюється від електродвигуна через трьохступеневу шківну передачу. Безпосередньо на шпинделі встановлюється двохступеневий шків.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі.

Деталь являє собою корпус з габаритними розмірами 210×105×57 (мм)і має циліндричну поверхню навколо отвору Ø40H7 мм та базову площину, яка повинна бути оброблена з шорсткістю Ra=1,25 мкм. Корпус виготовлено методом лиття із сірого чавуну марки СЧ20. Креслення деталі представлено одним рисунком з відповідною кількістю проєкцій та перерізів для чіткого уявлення про конструкцію деталі. Технічними умовами на деталь передбачено вилівку з класу групи Б згідно ОСТ 2МТ 21-2-83. Необроблені поверхні Е і Л вимагається фарбувати сіро-зеленою емаллю марки НЦ256 ГОСТ 25515-82 (УХЛ-4). Всі розміри на кресленні позначено з відповідними допусками за винятком вільних розмірів, які повинні бути виконані за 14 квалітетом Н14, h14 з допуском, крім того координати отвору Ø9/Ø14 мм розташовано з залежним допуском розміром 100 мм; координатами отворів Ø5,8 мм з залежним допуском розміром 194 мм та отворів М4 з координатами 3×60=180 мм, що вимагає оброблення отворів в кондукторі або на верстаті з ЧПК одночасно з спряженою деталлю - повзун - УГ250.31.00.014 або здійснювати обсвердлювання повзуна по корпусу УГ250.31.00.007, але це не економічно. Для досягнення паралельності отвору 40H7 мм до базової площини А необхідно спроектувати спеціальне оснащення та технологічно забезпечити розмірний ланцюг при призначенні припусків на оброблення поверхонь.

Якісний аналіз технологічності конструкції деталі та вузла.

Під технологічністю конструкції розуміють відповідність останнім вимогам мінімальної працемісткості й металомісткості. В ГОСТ 14203-73 розроблено правила виробу показників технологічності конструкції виробу, основними з яких є працемісткість його виготовлення, технологічна собівартість, а також додаткові показники: матеріаломісткість, коефіцієнти використання матеріалу, уніфікації конструктивних елементів, точності оброблення, шорсткості поверхні, використання типових технологічних процесів.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивні форми деталі мають зручну базу площини А для встановлення на неї для наступних операцій механічного оброблення, дозволяють застосувати високопродуктивні технологічні методи оброблення та інструменти. Деталь сконструйовано раціонально і має зручний підхід інструменту до поверхонь з мінімальними шляхами врізання. Отвори передбачено наскрізними, що дозволяє їх оброблення на прохід, це – простіше, ніж глухі отвори. Міжосьові відстані отворів - незначні з врахуванням можливостей використання багатошпindelних свердлильних головок. Ступінчасті отвори повинні мати послідовні діаметри ступенів, які зменшуються. Різь в отворах передбачено стандартною, що дозволяє застосовувати різальний інструмент згідно ГОСТу.

У вузлі найбільш точними є підшипникові з'єднання, де монтується шпindel верстату з цангою для кріплення інструменту. Для складання слід передбачити розмірне сортування деталей за технологічними допусками з можливістю застосування селективного складання.

Кількісна оцінка технологічності конструкції.

Для розрахунків коефіцієнта шорсткості та коефіцієнта точності використано параметри поверхонь, представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри поверхонь

Назва поверхні	Кількість	Квалітет точності	Шорсткість (мкм)
1	2	3	4
Внутрішні:			
1. Отвір $\varnothing 40H7$ мм.	1	7	1,25
2. Отвір ступінчастий			
1-ша ступінь:			
циліндрична поверхня $\varnothing 14$ мм;	6	9	2,5
торець $l = 8$ мм.	6	9	2,5

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## Закінчення таблиці 1.1

1	2	3	4
2-га ступінь:			
циліндрична поверхня $\varnothing 9$ мм.	6	9	2,5
3. Отвір $\varnothing 5,8$ мм.	2	9	10
4. Отвір різевий М8-7Н.	1	7	2,5
5. Циліндрична поверхня $\varnothing 14$ мм;	1	9	2,5
торець $l = 8$ мм.	1	9	2,5
6. Отвір ступінчастий			
1-а ступінь:			
циліндрична поверхня $\varnothing 14$ мм;	3	11	6
торець $l = 3$ мм.	3	11	6
2-а ступінь:			
циліндрична поверхня $\varnothing 9$ мм;	3	11	6
торець $l = 8$ мм.	3	11	6
3-я ступінь:			
різевий отвір М8-7Н;	3	7	2,5
торець $l = 32$ мм.	3	7	2,5
7. Отвір різевий М4-7Н	4	7	2,5
Лінійні:			
1. Торець $l = 25$ мм.	1	11	1,25
2. Торець $l = 105$ мм.	2	11	6
3. Торець $l = 210$ мм.	2	11	6
4. Фаска $30 \times 45^\circ$ .	2	11	6
5. Заниження $h = 8,5$ мм	1	11	6
6. Паз під кутом $10^\circ$ $b = 3$ мм.	1	11	6
7. Паз вертикальний $b = 3$ мм.	1	11	6
Всього	56	214	95

Коефіцієнт шорсткості дорівнює:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}}, \quad (1.1)$$

де  $B_{cp}$  - середня шорсткість поверхонь, мкм;

$$B_{cp} = (1,25 \cdot 2 + 2,5 \cdot 31 + 6 \cdot 21 + 10 \cdot 2) / 56 = 4,04 \text{ мкм.}$$

Тоді

$$K_{ш} = \frac{1}{4,04} = 0,25.$$

Розраховане значення коефіцієнта шорсткості є меншим від припустимого ( $0,25 < 0,32$ ), отже за даним параметром деталь є технологічною.

Коефіцієнт точності

$$K_{Tч} = 1 - \frac{1}{A_{CP}}, \quad (1.2)$$

де  $A_{CP}$  - середня точність поверхонь;

$$A_{CP} = (7 \cdot 12 + 9 \cdot 22 + 11 \cdot 22) / 56 = 9,36;$$

$$K_{Tч} = 1 - \frac{1}{9,36} = 0,89.$$

Розраховане значення коефіцієнта точності - більше необхідного ( $0,90 > 0,8$ ), отже, за даним параметром деталь є технологічною.

Коефіцієнт використання заготовки

$$K_3 = \frac{m_0}{m_3}, \quad (1.3)$$

					MP 18-382.00.00	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $m_d$  - маса деталі, кг;

$m_3$  - маса заготовки, кг.

Маса деталі дорівнює 5,50 кг; маса заготовки, отриманої методом литва в землю при машинній формувці по металевим моделям – 7,99 кг;

$$K_3 = \frac{5,50}{7,99} = 0,69 < 0,7.$$

Отже, за цим показником деталь є нетехнологічною.

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_M = \frac{m_d}{m_3 + m_{BB}}, \quad (1.4)$$

де  $m_{BB}$  - маса відходів виробництва, кг;

$$K_M = \frac{5,50}{7,99 + 1,5} = 0,58 < 0,64;$$

за цим показником деталь є нетехнологічною.

Виходячи з якісних і кількісних оцінок технологічності деталі можна зробити висновок, що деталь є нетехнологічною, тому її складно виготовити.

#### 1.4. Аналіз базового технологічного процесу.

005 Вертикально-фрезерна 6P13.

На цій операції проводиться чорнове фрезерування базової площини з дотриманням розміру  $25,3 \pm 0,1$  мм на вертикально-фрезерному верстаті 6P13. Деталь встановлюється в двомісне пристосування для фрезерування площини.

010 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Здійснюється чорнове фрезерування торцевих поверхонь в розмір  $210 \pm 0,1$  мм на горизонтально-фрезерному верстаті 6P81Ш.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

015 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Здійснюється чорнове фрезерування бокових поверхонь в розмір  $105 \pm 0,1$  мм на горизонтально-фрезерному верстаті 6P81Ш. Деталі встановлюються в двомісне пристосування і обробляються одночасно.

020 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Фрезеруються фаски з дотриманням розміру  $30 \times 30$  під кутом  $45^\circ$ .

025 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Під час даної операції проводиться чорнове фрезерування заниження з дотриманням розмірів 30 мм та 8,5 мм. Деталь закріплюється в чотирьохмісному пристосуванні для фрезерування уступів.

030 Копіювально-фрезерна.

Відбувається фрезерування вибірки в розмір  $h = 8,5$  мм по копію, витримуючи розмір  $R = 10$  м,  $L \times B = 24 \times 33$  мм. Деталь закріплюється в спеціальному двомісному пристосуванні з гідрозатиском. Фрезерування відбувається на верстаті мод. 6520К.

035 Вертикально-свердлильна 2Н135.

На даній операції свердляться кріпильні отвори з циковками. Після чого нарізаються різі. Свердління відбувається по розмітці без спеціальних пристосувань.

Переходи:

1. Свердлити 6 отворів  $\varnothing 9$  послідовно, наскрізь.
2. Цикувати 6 отворів  $\varnothing 9 / \varnothing 14$  послідовно, витримуючи глибину циковки 8 мм.
3. Свердлити 2 отвори  $\varnothing 5,8$  послідовно, наскрізь.
4. Свердлити отвір  $\varnothing 6,6$  наскрізь.
5. Цекувати отвір  $\varnothing 6,6 / \varnothing 12$  витримуючи глибину цековки 8 мм.
6. Свердлити 4 отвори  $\varnothing 3,2$  послідовно, витримуючи глибину 15 мм.
7. Зенкувати 4 отвори  $\varnothing 3,2$  послідовно.
8. Нарізати різь М8-7Н в отворі.
9. Нарізати різь М4-7Н послідовно в чотирьох отворах.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

040 Вертикально-свердлильна 2Н135.

Свердяться, розсвердлюються та цекуються 3 отвори, після чого в них нарізається різь М8-7Н.

Переходи:

1. Свердлити 3 отвори  $\varnothing 6,7$  витримуючи глибину свердління 32 мм.
2. Розсвердлити 3 отвори до  $\varnothing 9$  витримуючи глибину свердління 15 мм.
3. Цекувати 3 отвори  $\varnothing 9/\varnothing 14$  витримуючи глибину цекування 8 мм.
4. Нарізати різь М8-7Н в 3 отворах.

045 Плоскошліфувальна 3Б722.

На цій операції спочатку проводиться чорнове, а потім чистове шліфування базової площини з дотриманням розмір  $25,3 \pm 0,1$  мм. Деталь закріплюється на магнітній плиті верстату.

050 Горизонтально-розточувальна 2629В.

Виконується розточування отвору  $\varnothing 40$  після чого послідовно чорнове та чистове розвертування отвору, після чого зенкуються 2 фаски.

Переходи:

1. Установити, закріпити, зняти.
2. Розточити отвір  $\varnothing 40$  в розмір  $39,5^{+0,05}$ .
3. Розвернути отвір  $\varnothing 40$  в розмір 39,95 на чорновий прохід..
4. Розвернути отвір  $\varnothing 40$  в розмір на чистовий прохід.
5. Зенкувати фаски в розмір  $1,5 \times 45^\circ$ .

055 Вертикально-фрезерна 6Р13.

Фрезерується горизонтальний паз шириною 3 мм, витримуючи розмір 28 мм.

060 Вертикально-фрезерна 6Р13.

На цій операції фрезерується паз шириною 3 мм під кутом  $10^\circ$ , витримуючи розмір 32 мм.

					MP 18-382.00.00	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.5. Висновки та постановка задачі на магістерську роботу.

Враховуючи завдання на дипломну роботу, програму випуску та технічні вимоги, які висуваються до деталі та зібраного вузла, слід розробити проект дільниці мехальноскладального цеху з детальним розробленням технологічного процесу виготовлення корпусу в умовах визначеного типу виробництва, аналізуючи особливості технічного контролю зібраних вузлів, необхідно вирішити питання контролю окремих підвузлів та вхідного контролю деталей при селективному комплектуванні деталей для ліквідації підгоночних робіт в окремих елементах конструкції. При виготовленні деталей вузла необхідно вирішити питання проектування раціональнішого методу одержання заготовок для зменшення ваги, вартості оброблення та затрат на матеріали.

Доцільно і необхідно вирішити питання механізації і автоматизації окремих операцій механічного оброблення для зменшення тривалості циклу оброблення, тобто зменшити працемісткість оброблення за рахунок зменшення допоміжного часу та часу на зняття стружки різанням. Така можливість забезпечується застосуванням оброблення на багатомісних механізованих пристроях, використанням багатоопераційних верстатів з застосуванням прогресивних режимів різання та прогресивних різальних інструментів, механізації транспортних переміщень між операціями та організації багатOVERстатного обслуговування, автоматизації процесів складання і контролю окремих елементів.

Отже, в дипломній роботі ставляться наступні задачі:

1. Спроекувати дільницю механоскладального цеху для виготовлення траверси шпindelної УГ250.31.00.000СБ, дільниці для механічного оброблення корпусу УГ250.00.007.
2. Розробити технологічний процес виготовлення корпусу УГ250.31.00.007.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Спроекувати технологічне оснащення для операцій механічного оброблення.

4. Розробити заходи з охорони праці та екології.

5. Провести розрахунок економічної ефективності проекту.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

## 2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Огляд методів топологічної оптимізації.

На теперішній час відомі наступні методи топологічної оптимізації:

- ESO (еволюційна структурна оптимізація);
- SIMP (твердий ізотропний матеріал з пеналізацією);
- Level-Set (метод встановлення рівня).

#### 2.1.1. ESO – метод.

ESO – метод (Evolutionary Structural Optimization), метод еволюційної оптимізації конструкції.

Запропонований 1992 року професорами Mike Xie та Grant Steven. Основою методу є визначення рівня напружень у випадковій частині конструкції методом скінченних елементів. Індикатором неефективного використання матеріалу є низький рівень напружень чи деформацій в тій чи іншій частині конструкції. В ідеалі рівень напружень має бути однаковим, близьким до максимального, проте задовольняти коефіцієнт безпеки. З цієї концепції виходить принцип видалення матеріалу, згідно з яким недостатньо напружений матеріал може бути видалений [33].

Рівень напруження кожного елемента визначається порівнюванням, наприклад критерій напружень Мізеса даного елемента  $\sigma_e^{vm}$  з критичним чи максимальним значенням напружень Мізеса в конструкції  $\sigma_{max}^{vm}$ .

В результаті скінченно-елементного аналізу елемент задовольняє умови:

					<i>MP 18–382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>					22	18
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>				<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТМ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

$$\frac{\sigma_e^{vm}}{\sigma_{max}^{vm}} < R_{Ri} \quad (2.1)$$

де  $R_{Ri}$  - максимальне значення при якому елемент видаляється (коефіцієнт відбракування).

Цикл аналізу скінченних елементів та їх видалення проводиться для декількох ітерацій з використанням одного й того ж порогового відношення до досягнення стійкого стану, тобто відсутності елементів, які відповідають цьому порогу видалення. Лише після цього коефіцієнт відбракування може бути збільшений відповідно до коефіцієнта еволюції  $H_i$ :

$$R_{R(i+1)} = R_{Ri} + H_i \quad (2.2)$$

Далі із збільшенням коефіцієнта відбракування цикл повторюється до нового стаціонарного стану. Ітераційний процес продовжується до тих пір, поки не буде досягнуто бажаного результату (наприклад, поки маса деталі не зменшиться на 50%).

Кількісною оцінкою зміни жорсткості конструкції в результаті видалення  $i$ -го елемента є індекс чутливості, який визначається для середньої податливості [34]:

$$a_i^l = \frac{1}{2} u_i^T K_i u_i \quad (2.3)$$

де  $u_i$  - вектор вузлів зміщення  $i$ -го елемента;

$K_i$  - матриця жорсткості елемента.

Математична основа методу ESO досить проста й зрозуміла, а його програмна реалізація не вимагає складних прийомів програмування, може застосовуватись як для 2D-, так і 3D-задач [35]. Видалення елемента відбувається через присвоєння його модулю нульового значення, що призводить до його ігнорування при наступних ітераціях. По мірі видалення

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів в ітераційному процесі кількість рівнянь зменшується, зменшуючи розрахункову працемісткість задачі [35].

Недоліком методу є те, що видалений на ранніх стадіях ітерацій матеріал може бути корисним для наступних, але метод ESO не дозволяє відновити його. Таким чином, в ряді випадків він не дозволяє отримати оптимальний варіант рішення конструкторської задачі. Цей недолік в значній мірі усувається методом BESO (Bidirectional Evolutionary Structural Optimization).

ESO класифікується як метод жорстокого знищення, який ітераційно видаляє кінцеву кількість матеріалу. Використовуються евристичні критерії, які можуть бути засновані на чітко визначеній інформації про чутливість. Таким чином, метод відносно простий в реалізації, що є перевагою для задач оптимізації топології зі складними фізичними процесами.

BESO – метод двонапрямленої еволюційної оптимізації конструкції, дозволяє одночасно видаляти та додавати матеріал в область проектування. Принципова різниця цього методу від ESO в тому, що індекс чутливості пустих елементів визначається шляхом лінійної екстраполяції поля зміщень, отриманого в результаті скінченно-елементного аналізу [31]. Після чого заповнені елементи з мінімальним значенням індексу чутливості видаляються із структури, а пусті елементи з найбільшим значенням чутливості – заповнюються матеріалом. Кількості видалених та доданих елементів на кожній ітерації визначаються двома незалежними один від одного параметрами: відношенням видалення  $R_R$  та відношенням додання  $R_I$ .

Не дивлячись на те, що методи ESO/BESO достатньо прості в реалізації, проте майже відсутня реалізація методу ESO для вирішення задач оптимізації топології, орієнтованих на виробництво.

### 2.1.2. SIMP – метод.

SIMP(Solid Isotropic Material with Penalization) – метод пеналізації для твердого ізотропного тіла. Основна ідея методу полягає у створенні поля

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віртуальної густини, яка представляє аналог реальної характеристики об'єкту. Основна задача алгоритму методу - зменшити податливість конструкції внаслідок перерозподілу матеріалу в заданій області за відомих граничних умов. Результатом SIMP-методу є отримання рівномірно міцного об'єкту в рамках заданої задачі.

В методі SIMP область проектування  $\Omega$  дискретизується за допомогою скінченних елементів. Властивості матеріалу є постійними в кожному елементі і залежать від відносної густини  $x_i$ . Відносна густина повинна дорівнювати 1 або 0 в розрахунковій області  $\Omega$  після оптимізації. Для обмеження проміжних значень відносної густини використовується фактор відбракування  $p$ .

Відношення між модулем пружності та відносною густиною визначається за залежністю [32]:

$$E(x_i) = E_{\min} + (x_i)^2 (E_o - E_{\min}) \quad (2.4)$$

де  $E_o$  - модуль пружності матеріалу, для числової стійкості  $E_{\min}$  приймається за  $E_o / 1000$ ;

$x_i$  – відносна густина  $i$ -го елемента;

$p$  – фактор відбракування.

Відносні густини елементів беруться в якості розрахункових змінних, а середня відповідність вибирається як цільова функція. Тоді задача оптимізації топології для мінімальної відповідності записується у вигляді [37]:

$$\text{Find} : X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}^T, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{Minimize} : C(X) = F^T U = U^T K U = \sum_{i=1}^n u_i^T k_i u_i = \sum_{i=1}^n (x_i)^p u_i^T k_o u_i; \quad (2.5)$$

$$\text{Subjekt to} : K U = F; \quad V = f_o V_o = \sum_{i=1}^n x_i v_i;$$

$$0 < x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \leq 1,$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $C$  – цільова функція, визначається як середня відповідність;  
 $X$  – вектор конструктивних змінних;  
 $x_{\min}$  та  $x_{\max}$  – мінімальна і максимальна відносна густина елементів відповідно;  
 $F$  – вектор навантаження;  
 $U$  – вектор глобальних зміщень;  
 $K$  – глобальний тензор жорсткості;  
 $k_i$  – тензор жорсткості елемента після інтерполяції густини;  
 $k_o$  – тензор жорсткості вузлів елементів;  
 $u_i$  – вектор зміщення вузлів елементів;  
 $V$  – об’єм матеріалу;  
 $V_o$  – початковий об’єм розрахункової області;  
 $F_o$  – задане об’ємне відношення [37].

Метою введення ненульового значення  $x_{\min}$  є уникнення сингулярності.

На сьогоднішній день SIMP-метод застосовується в усьому світі. Широке застосування метод отримав в адитивних технологіях (технологіях 3D друку), які здатні створювати об’єкти необхідної форми.

Окрім класичного SIMP-методу, існує гібридний метод під назвою ESO-SIMP, який об’єднує два попередні методи. При цьому в якості розрахункових змінних беруть відносні густини елементів, а в якості цільової функції вибирається середня відповідність. Тоді задача оптимізації для мінімальної середньої відповідності на основі алгоритму ESO-SIMP може бути записана [29]:

$$\text{Find} : X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}^T, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{Minimize} : C(X) = F^T U = U^T K U = \sum_{i=1}^n u_i^T k_i u_i = \sum_{i=1}^n (x_i)^p u_i^T k_o u_i; \quad (2.6)$$

$$\text{Subjekt to} : K U = F; \quad V = \sum_{i=1}^n x_i v_i \leq f_o V_o;$$

$$0 < x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \leq 1.$$

Різниця між методами ESO-SIMP та SIMP полягає в обмеженні об'єму. В процесі кожної ітерації елементи, відносна густина яких менша або дорівнює коефіцієнту відбракування, видаляються з області розрахунку, а ті, що залишились, вводяться в наступну ітерацію. Загальний об'єм всіх елементів, що залишились  $V$  повинен задовольняти умову:

$$V = \sum_{i=1}^m x_i v_i \leq f_o V_o$$

де  $m$  – кількість елементів, які залишились.

Було виявлено, що новий метод ESO-SIMP має багато переваг порівняно з методом ESO та методом SIMP з точки зору надійності та ефективності [29].

### 2.1.3. Level-Set – метод.

Level-Set – метод, який встановлює рівні чи множину рівнів для моделі. Основна ідея методу полягає в тому, щоб виразити криву чи поверхню в неявному вигляді. При цьому вони приймаються в якості встановленого нульового рівня багатовимірної функції. Потім відслідковується їх деформація за допомогою цієї функції.

Наприклад, в оптимізації топології структури криві або поверхні, які є її межами, деформуються з метою мінімізації енергії пружної деформації.

Для заданої області  $\Omega$  з гладкою межею передбачається існування неявної функції  $\varphi(x)$ , яка задовольняє умови:

$$\varphi(x) \begin{cases} > 0, & x \in \Omega^+ \text{ (пустота)} \\ = 0, & x \in \partial\Omega \text{ (межа)} \\ > 0, & x \in \Omega^- \text{ (матеріал)} \end{cases} . \quad (2.7)$$

Найчастіше в методі Level-Set використовують дві функції. А саме:

- Хевісайда  $H(\varphi)$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$H(\varphi(x)) = \begin{cases} 0 & \varphi \leq 0 \\ 1 & \varphi > 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

• дельта-функція Дірака  $\delta(\varphi)$ , яка дорівнює 0 всюди, окрім вузької смуги, яка є межею матеріалу:

$$\delta(\varphi(x)) = \frac{dH(\varphi(x))}{d\varphi} \quad (2.9)$$

Для функції  $f$  об'ємне та поверхневе інтегрування по межі можна представити у вигляді:

$$\int_{\Omega} f(x)H(\varphi(x))d\Omega; \quad (2.10)$$

$$\int_{\partial\Omega} f(x)d\Gamma = \int_{\Omega} f(x)\delta(\varphi(x))|\nabla\varphi(x)|d\Omega. \quad (2.11)$$

З точки зору обчислень в процесі оптимізації надається перевага згладженій функції Хевісайда.

Функція встановлення рівня виражається рівнянням типу Гамільтона-Якобі:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial e} + v_n|\nabla\varphi|; \quad (2.12)$$

де  $v_n$  - нормальна швидкість меж, що рухаються.

Задача оптимізації топології конструкції з обмеженою площею при мінімізації податливості описується наступним чином:

$$\begin{aligned} \min C(\varphi) &= \int_{\Omega} \frac{1}{2}E(\varphi)\varepsilon^T D\varepsilon d\Omega; \\ \nabla \cdot (E(\varphi)\varepsilon) &= f; \\ \int_{\Omega} H(\varphi)d\Omega &= V^*, \end{aligned} \quad (2.13)$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\Omega$  - область проектування;

$E$  – розрахункова змінна, яка визначається поверхнею рівня;

$$E(\varphi) = E_0 H(\varphi) + (1 - H(\varphi)) E_{\min} \quad (2.14)$$

де  $E_0$  – модуль пружності матеріалу;

$E_{\min}$  – мінімальний модуль пружності;

$D$  – матриця пружності;

$V^*$  - допустимий об'єм матеріалу.

Рівняння лінійної пружної рівноваги використовується для розрахунку поля розміщення дислокації  $u$ , тензора деформації  $\varepsilon$  і тензора напружень  $\sigma$ .

Задача оптимізації може бути вирішена з використанням методу критеріїв оптимальності, послідовного методу лінійного програмування або методу рухомої асимптоти:

$$\nabla \cdot (E(\varphi)\varepsilon) = f; \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} - \left[ \frac{1}{2} (E_0 - E_{\min}) \varepsilon^T D \varepsilon + \lambda \right] \delta(\varphi) \cdot |\nabla \varphi| = \alpha \Delta \varphi, \quad (2.16)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт демпфування, що стабілізує алгоритм вирішення.

## 2.2. Дослідження топологічної оптимізації корпусу УГ 250.31.00.007.

Дослідження топологічної оптимізації здійснено в 3 етапи. Перший етап – проведення статичного аналізу наявної деталі з метою порівняння з оптимізованою деталлю. Другий – проведення оптимізації. Третій етап – проведення статичного аналізу для геометрії, отриманої після топологічної оптимізації.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		







Проводимо статичний аналіз та отримуємо результати напружень по Мізесу, відхилень та коефіцієнту запасу міцності, зображені на рис. 2.4.

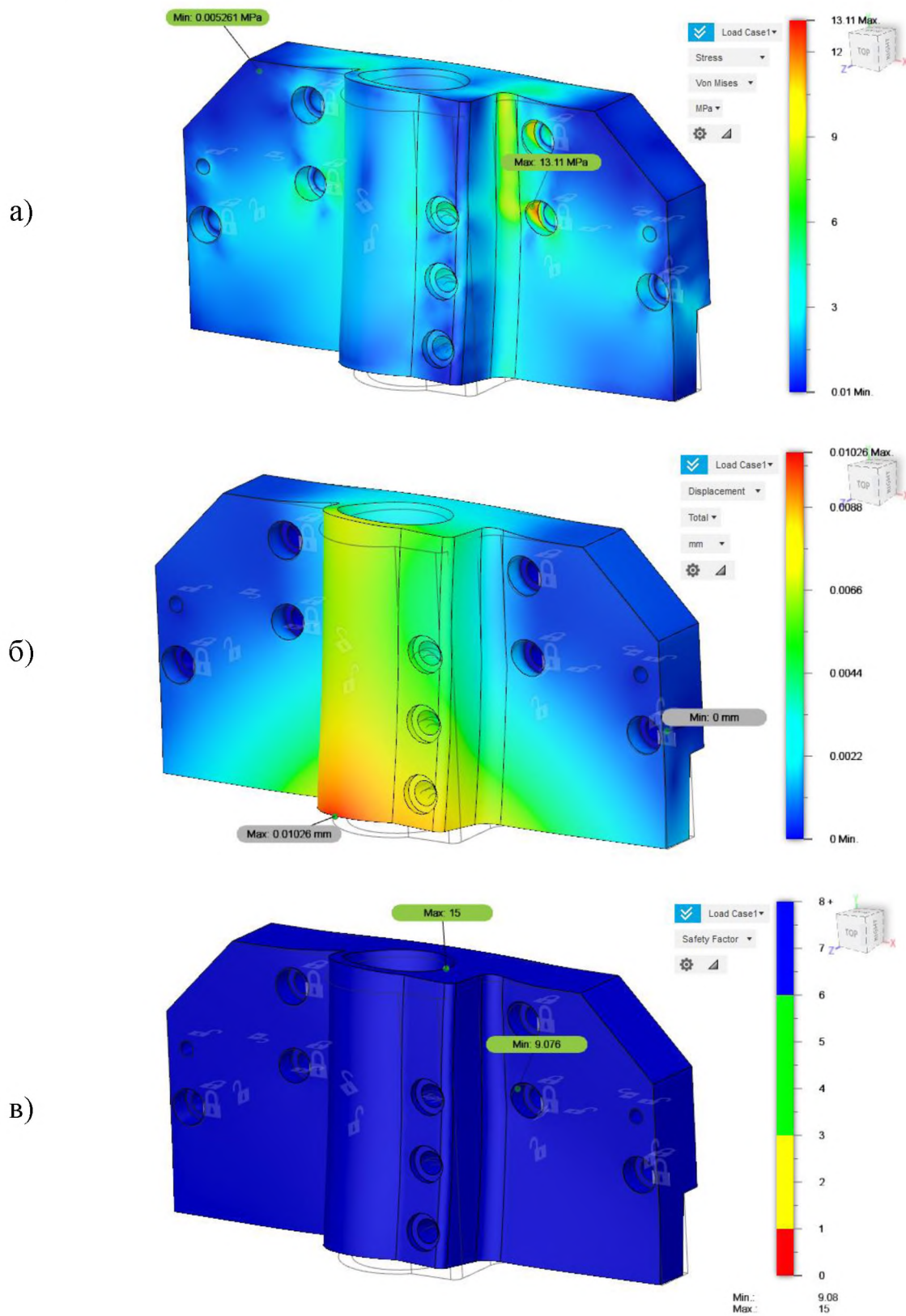


Рисунок 2.4 - Результати статичного аналізу деталі до оптимізації:  
 а) напруження по Мізесу; б) відхилення; в) коефіцієнт запасу міцності

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Отже, максимальне напруження по Мізесу становить 13,11 МПа, максимальне зміщення 0,01026 мм, мінімальний коефіцієнт запасу міцності 9,1.

Перед початком оптимізації потрібно зазначити об'єми, які не будуть враховані та залишаться незмінними. Такими об'ємами є посадочні місця та отвори для болтів.

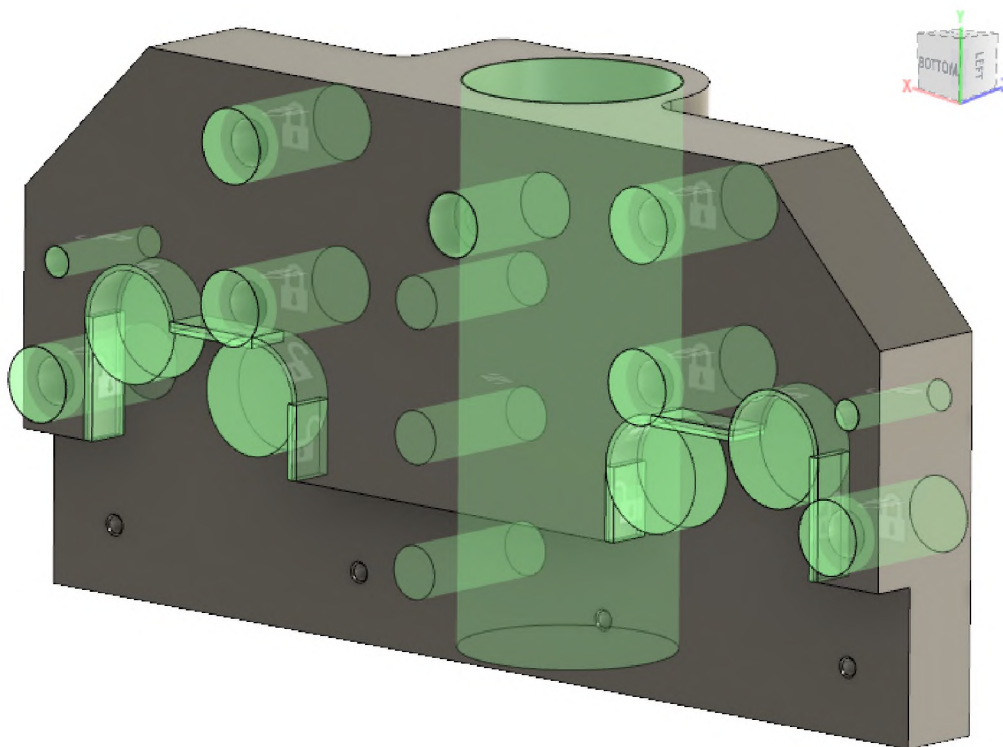


Рисунок 2.5 – Виділенні області об'єму які не будуть враховані при оптимізації

Топологічну оптимізацію проведено за максимізацією стійкості при зменшенні маси на 40% від початкової.

					MP 18-382.00.00	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



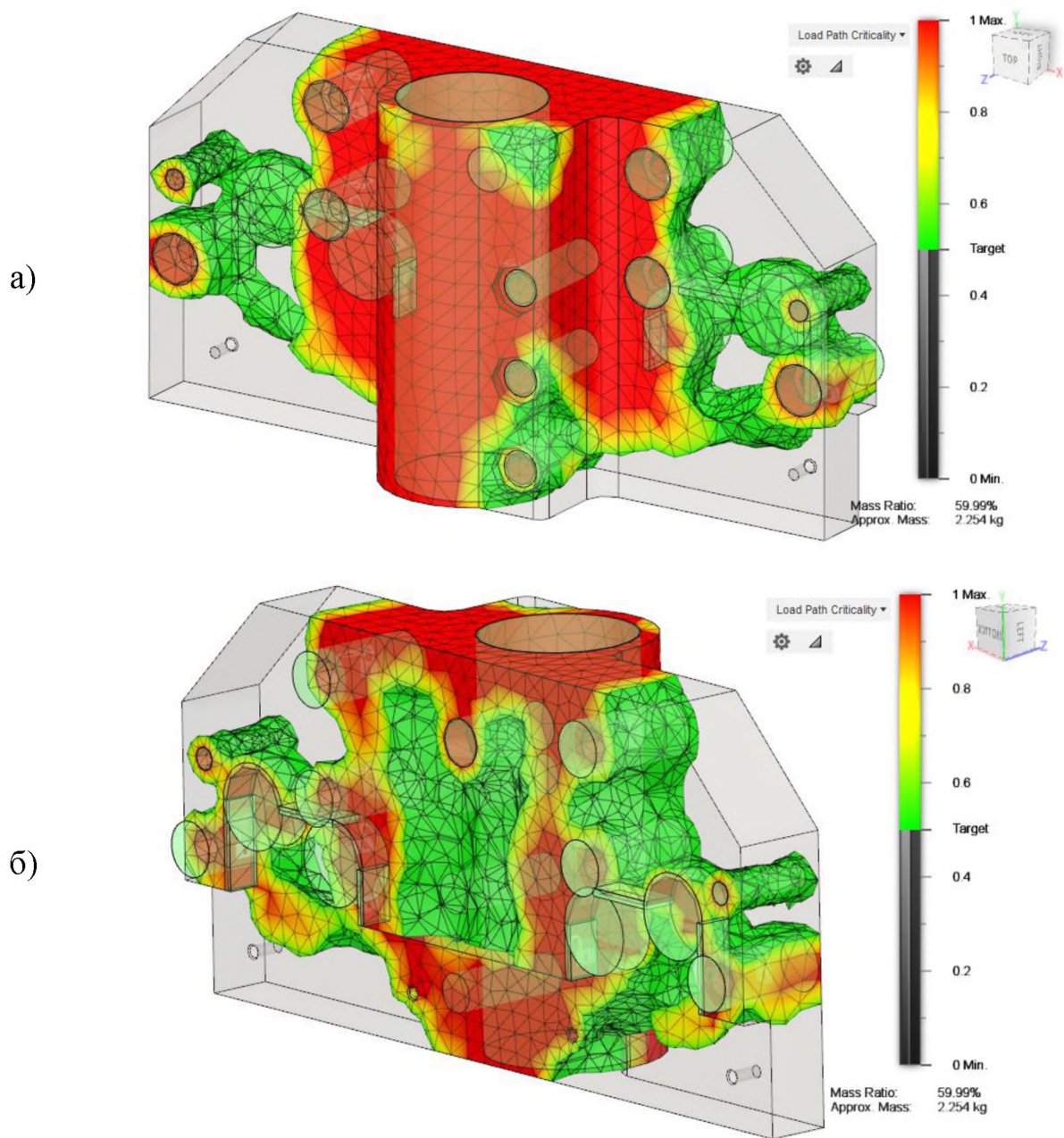
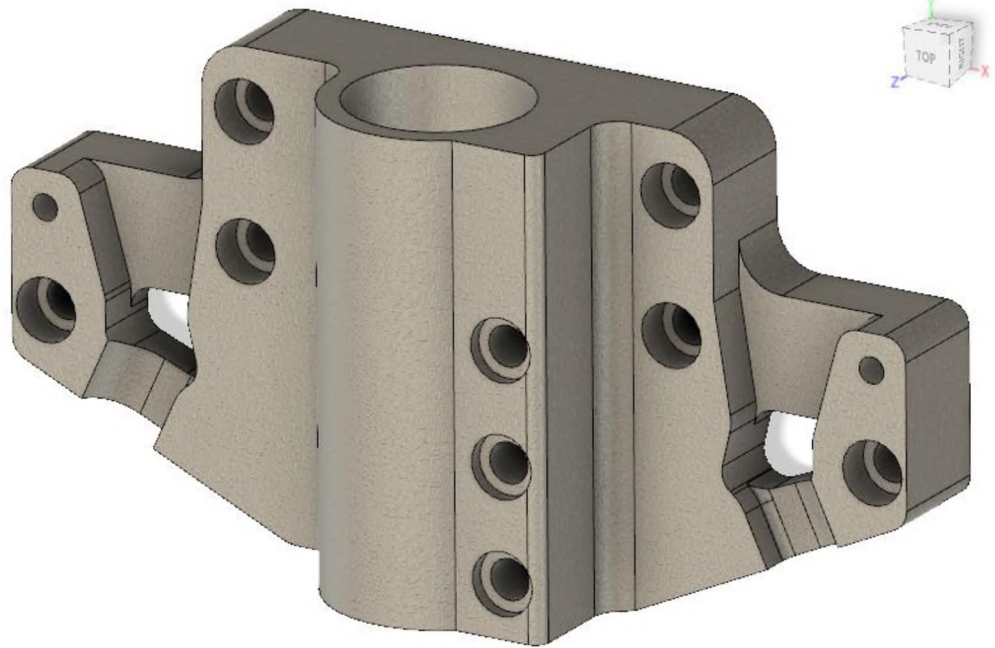


Рисунок 2.6 - Вигляд сітки скінченних елементів деталі після оптимізації: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду

Після оптимізації отримуємо поверхневе тіло, яке необхідно експортувати в тверде тіло (Solid). Виконуємо це вручну з максимальним спрощенням геометрії нової деталі з метою можливості її виконання класичними способами виготовлення. Перетворення в тверде тіло є можливим і в автоматичному режимі, але тоді геометрія деталі буде складною і виготовити її буде можливо лише за допомогою адитивних технологій.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

а)



б)

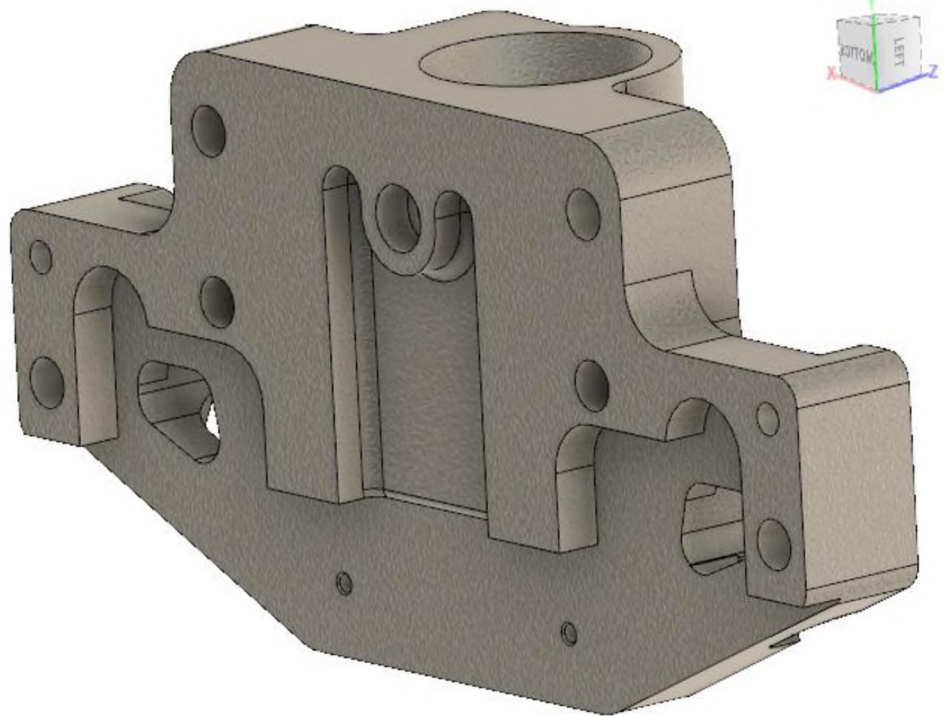


Рисунок 2.7 - Вигляд деталі після топологічної оптимізації та перетворення в тверде тіло: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду

Проводимо статичний аналіз для деталі після топологічної оптимізації. Навантаження задаємо аналогічні, як для деталі до оптимізації. Отримані результати показано на рис. 2.8.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



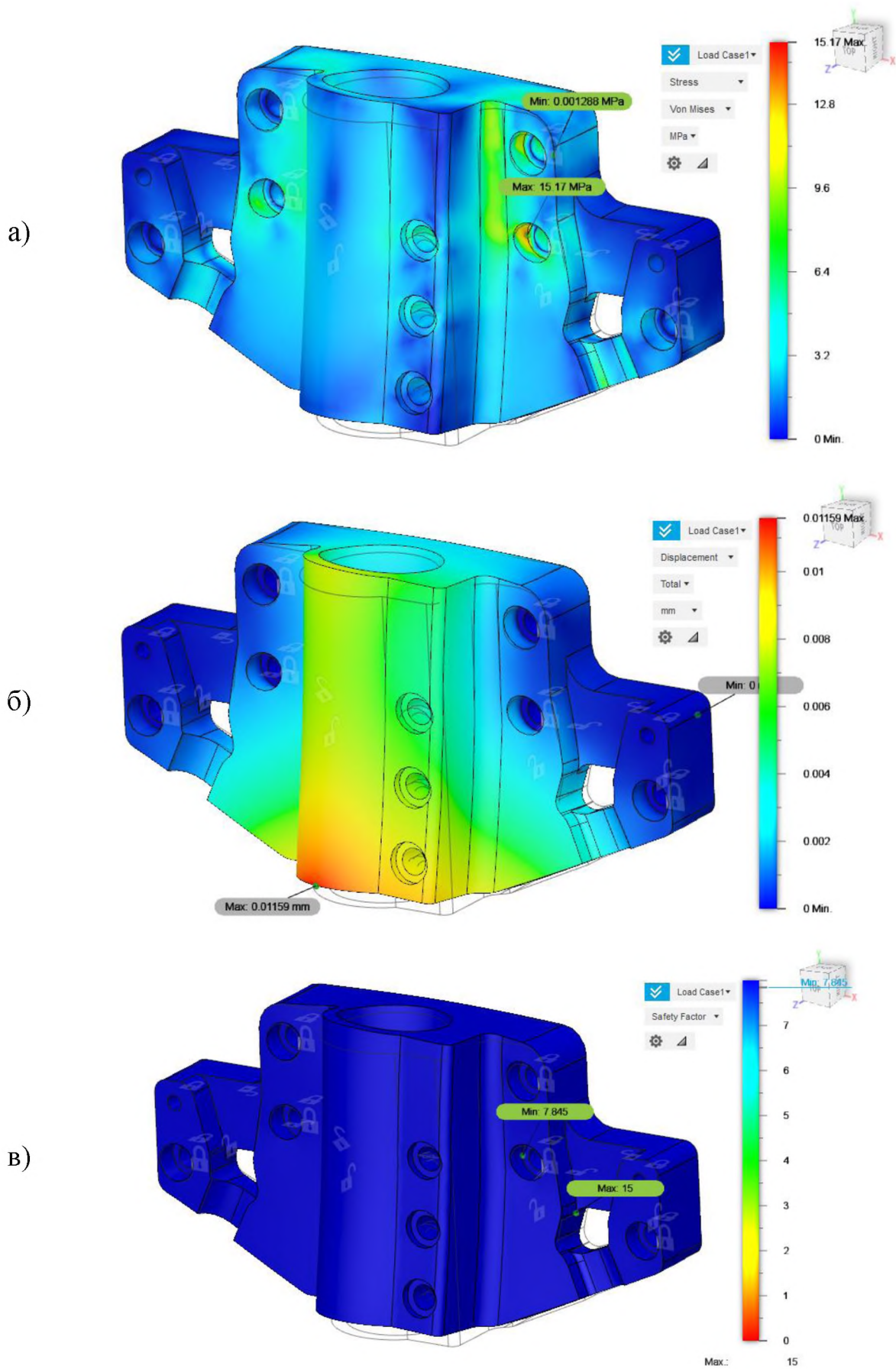


Рисунок 2.8 - Результати статичного аналізу деталі до оптимізації:  
 а) напруження по Мізесу; б) відхилення; в) коефіцієнт запасу міцності

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

MP 18-382.00.00

Здійснена топологічна оптимізація за критерієм маси дозволила знизити масу виробу з 3,393 кг до 2,459 кг (або на 27,52 %). Різниця в 0,934 кг є суттєвою економією матеріалу.

Незважаючи на зріст максимальних напружень 13,11 МПа до 15,17 МПа (на 15,71 %), коефіцієнт запасу міцності є достатнім для безпечного використання виробу, без поломок під час гарантійного терміну. З рис. 2.8 видно, що можна виконати оптимізацію і ще раз, але тоді редукція маси буде незначною, оскільки залишилось мало матеріалу з низьким рівнем навантаження.

Максимальне зміщення після оптимізації зросло від 0,01026 мм до 0,01159 мм (на 12,96 %). Різниця зміщення в 0,00133 мм для верстату нормальної точності, допуски для якого починаються від 0,010 мм, не є суттєвою.

Параметри	До оптимізації	Після оптимізації	Різниця	Відсоткова різниця
Максимальне напруження	13,11 МПа	15,17 МПа	2,06 МПа	15,71 %
Максимальне зміщення	0,01026 мм	0,01159 мм	0,00133 мм	12,96 %
Коефіцієнт запасу міцності	9,076	7,845	1,231	13,56 %
Маса	3,393 кг	2,459 кг	0,934 кг	27,52 %

### 2.3. Порівняння топологічної оптимізації в різних програмних продуктах.

Проведемо порівняння топологічної оптимізації деталі важільного механізму в програмному продукті Autodesk Fusion 360 з програмним продуктом ANSYS.

Деталь навантажена на робочу площину тиском в 1500 МПа. Схему фіксації та прикладеного навантаження зображено на рис. 2.9.

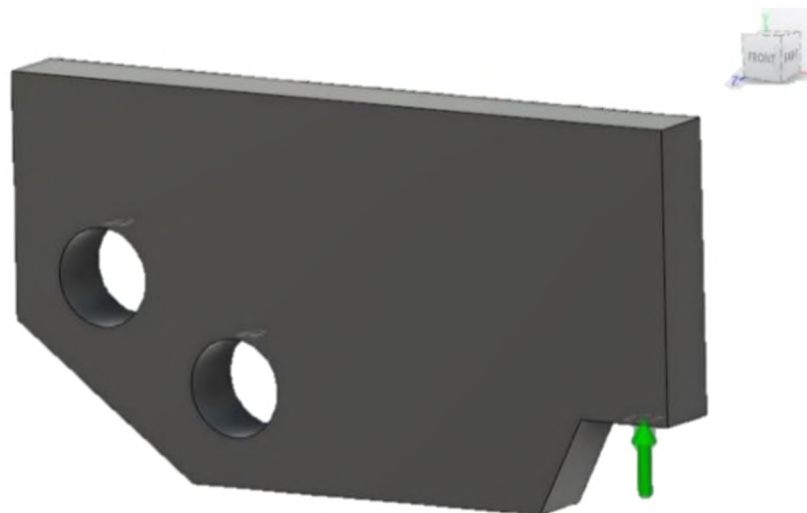


Рисунок 2.9 – Досліджувана заготовка з прикладеною силою та фіксацією

У двох програмах задавались ідентичні значення сітки розбиття заготовки на скінченні елементи. За критерій оптимізації взято зменшення маси деталі на 50% від початкової маси при збереженні стійкості та витривалості.

Результати топологічної оптимізації представлено на рис.2.10, де показано, що у Fusion 360 деталь має прямолінійні форми, у той час як у ANSYS – криволінійні. Окрім того, в Fusion 360 утворені пустоти, які в ANSYS мають тонкостінне ребро.

Деталі, отримані після оптимізації мають достатньо складну форму, яку виготовляти стандартними методами оброблення недоцільно, зазвичай використовують методи адитивних технологій такі як: SLM (Selective Laser Melting) або DMLS (Direct Method of Laser Sintering).

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

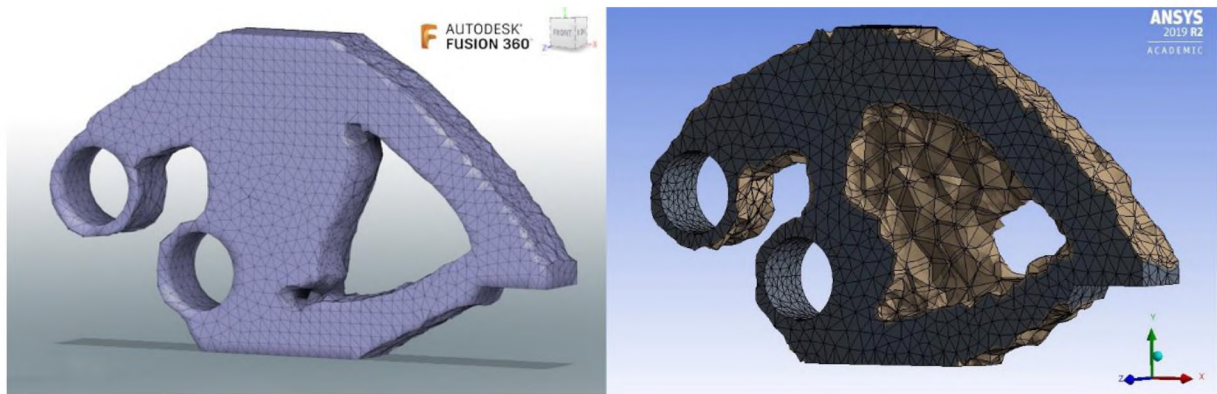


Рисунок 2.10 – Модель деталі після топологічної оптимізації в Autodesk Fusion 360 (зліва) та ANSYS (справа)

#### 2.4. Сучасні тенденції у проектуванні деталей за допомогою топологічної оптимізації.

За допомогою топологічної оптимізації в сучасному виробництві зменшують масу, не впливаючи істотно на напруження та деформацію деталі. Найбільшу популярність топологічна оптимізація здобула у авіа- та ракетобудуванні, де важливо зменшити масу всієї конструкції без втрати міцності та стійкості. Також застосовується в автомобілебудуванні (в гоночних болідах). З роками вона застосовується у все більшій кількості галузей промисловості. У [38] показано прототип мотоциклу BMW S1000RR, рама якого виготовлена за допомогою 3D-друку з топологічною оптимізацією, а також голландський міст MX3D, несуча основа якого топологічно оптимізована та виготовлена за допомогою адитивної технології WAAM.

Із зростанням обчислювальної потужності сучасних комп'ютерів удосконалюються методи топологічної оптимізації та підвищується їх точність.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Характеристика типу та організаційної форми виробництва.

У розробленому технологічному процесі задана річна програма випуску деталі складає 30000 штук на рік. Крупносерійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, виготовлених періодично повторюваними партіями та порівняно більшим обсягом випуску, ніж в одиничному типі виробництва.

В серійному виробництві використовуються автомати й напівавтомати, універсальні верстати, оснащені як спеціальними, так і універсальними та універсально-складальними пристосуваннями, що дозволяє знизити працемісткість і собівартість виробу. Також використовуються верстати з ЧПК, оброблювальні центри, знаходять застосування гнучкі автоматизовані системи верстатів з ЧПК, зв'язані з транспортуючими пристроями та керовані від ЕОМ, розташованими за технологічним процесом оброблення деталі. Застосовуються стандартні, рідше спеціальні різальні та спеціальні вимірювальні інструменти.

Крупносерійне виробництво характеризується диференційованим технологічним процесом, тобто поділенням на окремі самостійні операції, виконуваними на певних верстатах, розташованих за ходом технологічного процесу.

Застосовуються заготовки, виконані точним литтям по формах із сортового прокату та поковок, отриманих штампуванням.

Поряд із робітниками високої кваліфікації та наладчиками використовуються робітники-оператори, які працюють на налагоджених верстатах.

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архив</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>					40	41
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>				<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТМ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

Залежно від обсягу випуску та особливостей виробів забезпечується повна взаємозамінність складальних одиниць; однак, у ряді випадків при складанні застосовуються компенсація розмірів і пригонка на місці.

Основними проблемами крупносерійного типу виробництва є:

- підвищення якості виготовлення деталей;
- зниження собівартості виготовлення деталі;
- поліпшення умов праці працюючих.

Ці проблеми вирішуються в процесі розроблення технологічного процесу в магістерській роботі, при їх розв'язку необхідно керуватися перерахованими принципами.

### **3.2. Вибір і технічне обґрунтування способу одержання заготовки.**

Під час вибору способу отримання заготовки враховуємо конфігурацію, розміри, масу, матеріал заготовки, кількість одержуваних за програмою випуску деталей, необхідну точність, шорсткість і якість її поверхні, окрім цього, звертається увага на час, відведений на технологічну підготовку виробництва та наявність відповідного технологічного обладнання.

Найбільш наближеною за формою та розмірами заготовка до форми і розмірів деталі є економічною і найдоцільнішою при оптимальних значеннях міжопераційних припусків. Міжопераційний припуск залежить від точності попередньої операції, шорсткості поверхні на попередній операції і глибини поверхні дефектного шару на попередній операції. Тому значення шорсткості, точності й величини дефектного шару заготовки є великими і доцільно досягати ці показники з економічним обґрунтуванням прийнятих рішень. Враховуючи конфігурацію і матеріал деталі (сірий чавун), доцільно одержувати заготовку методом лиття. Лиття може здійснюватися різними способами залежно від конфігурації деталі та типу виробництва.

Для одержання заготовки з отвором необхідні відповідні стержні з припуском під механічне оброблення. Вирізняємо 2 методи: лиття в земляні

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

форми при машинному формуванні по металевим моделям і лиття в кокіль. На підприємстві заготовку одержують методом лиття в земляні форми. При ручному формуванні по дерев'яним моделям забезпечуються лише третя ступінь точності та завищені припуски й нерівності. Для вибору оптимального варіанту порівнюємо економічно вибрані витрати, виходячи із собівартості виготовлення цих заготовок.

Собівартість заготовки знаходимо за формулою:

$$S_{заг} = \left( \frac{C_1}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_m \cdot K_n \right) - (Q - q) \frac{S_{від}}{1000}, \quad (3.1)$$

де  $C_i$  – базова вартість 1т заготовок, гр. од.;

$Q$  – маса заготовки, кг;

$q$  – маса деталі, кг;

$S_{від}$  – ціна 1т відходів, гр. од.;

$K_m, K_c, K_b, K_m, K_n$  – відповідно коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу, обсягу виробництва заготовок.

Розрахунок собівартості проведемо наближено. Базову вартість 1т заготовок приймаємо станом на 2019 рік. Значення коефіцієнтів приймаємо згідно рекомендацій [23]. Для зручності порівняння розрахунки зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Параметри, які залежать від виду лиття

Параметри	$C_i$	$Q$	$K_\tau$	$K_c$	$K_B$	$K_m$	$K_n$
Вид лиття							
В кокіль	19600	6,92	1,1	1	0,65	1	0,83
В землю при машинній формовці	16400	7,9	1,1	1	0,75	1	0,83

Група складності виливків визначається за коефіцієнтом габаритного об'єму  $K_v$ :

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_v = A \cdot B \cdot B / Q, \quad (3.2)$$

де  $A, B, B$  – габаритні розміри виливка, см;

$Q$  – маса виливка, кг.

Щоб точніше визначити масу заготовок, отриманих різними методами, поступаємо наступним чином.

За таблицею 4.5, ст.47 [23] приймаємо класи точності розмірів для виливків:

в кокіль – 7т;

в земляні форми при машинному формуванні – 9т.

З табл. 4.8 [23] знаходимо припуски на механічне оброблення. Розраховуємо розміри заготовок для двох методів лиття і заносимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Допуски й припуски заготовки

Розмір деталі, мм	Допуск		Припуск		Розмір заготовки	
	7т	9т	7т	9т	7т	9т
210	1,2	2,4	2,2	3,4	214,4	216,8
105	1,1	2,2	2,0	3,2	109	111,4
40	0,8	1,6	1,8	2,8	36,4	34,4
30	0,7	1,4	1,5	2,4	33	34,8
25	0,7	1,4	1,5	2,4	28	29,8

Густина чавуну  $\rho = 7,5 \text{ г/см}^3$ .

Знаходимо об'єм заготовки, виготовленої литтям в кокіль  $V_1$  і в земляні форми  $V_2$ :

$$V_1 = 214,4 \cdot 109 \cdot 28 + 3,14 \cdot 28^2 \cdot 109 + \frac{1}{2} \cdot 25^2 \cdot 109 = 923129 \text{ мм}^3 = 923,1 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = 216,8 \cdot 111,4 \cdot 29,8 + 3,14 \cdot 29,8^2 \cdot 11,4 + \frac{1}{2} \cdot 25^2 \cdot 111,4 = 1065318 \text{ мм}^3 = 1065,3 \text{ см}^3$$

Відповідно маси заготовок дорівнюють:

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 923,1 \cdot 7,5 = 6923,25 \text{ г} = 6,92 \text{ кг};$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = 1065,3 \cdot 7,5 = 7989,75 \text{ г} = 7,99 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт габаритного об'єму

$$K_v = 2,1 \cdot 1,05 \cdot 0,57 / 6,92 = 0,166;$$

отже група складності 2.

Собівартість заготовок дорівнює:

$$S_1 = \left( \frac{19600}{1000} \cdot 6,92 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,65 \cdot 0,83 \right) - (6,92 - 5,5) \cdot \frac{3500}{1000} = 69,08 \text{ гр. од.};$$

$$S_2 = \left( \frac{16400}{1000} \cdot 7,99 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,75 \cdot 0,83 \right) - (7,99 - 5,5) \cdot \frac{3500}{1000} = 73,83 \text{ гр. од.}$$

З розрахунків видно, що собівартість лиття в кокіль дешевше, отже вибираємо метод виготовлення заготовки - лиття в кокіль.

### 3.3. Розрахунки припуску на поверхню деталі аналітичним способом.

Для розрахунків припусків аналітичним способом обрано зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 40H7 (+0,025)$ . Маршрут оброблення поверхні наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Основні розрахункові дані

Найменування операції (переходу)	Квалітет точності, який досягається	Параметр шорсткості Ra
1	2	3
Заготовка	15	80
Зенкерування чорнове	11	12,5

1	2	3
Зенкерування чистове	9	6,3
Розверстування чорнове	8	4,0
Розверстування чистове	7	1,25

Вибір елементів припусків за переходами.

1. Висота мікронерівностей Rz і дефектного шару  $h$ , мкм:

заготовка	$Rz = 320; h = 320;$
чорнове зенкерування	$Rz = 50; h = 50;$
чистове зенкерування	$Rz = 25; h = 25;$
чорнове розверстування	$Rz = 16; h = 16;$
чистове розверстування	$Rz = 6,3; h = 6,3.$

2. Значення просторових відхилень форм.

Величину короблення  $\rho_{кор}$  знаходимо по формулі:

$$\rho_{кор} = \Delta k \cdot l \quad (3.3)$$

де  $l = 105$  мм – довжина оброблюваного отвору;

$\Delta k = 0,7 \dots 3$  мкм / мм (для плит) – питома величина короблення, приймаємо

$\Delta k = 1$  мкм/мм;

$$\rho_{кор} = 1 \cdot 105 = 105 \text{ мкм.}$$

3. Похибка установки  $\Sigma$  у дорівнює:

заготівельна – 0;

чорнове зенкерування – 30 мкм;

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи, що оброблення отвору будемо проводити з однієї установки, похибку короблення і установки обраховуємо лише на першому технологічному переході.

#### 4. Розрахунки припусків.

Мінімальний припуск:

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + F_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi}) \quad (3.4)$$

де  $Rz_{i-1}$  – висота нерівностей профілю поверхонь на попередньому переході, мм;

$F_{i-1}$  – глибина дефективного поверхневого шару на попередньому переході, мм;

$\rho_{i-1}$  – сумарні відхилення форми, взаємного розташування поверхні на попередньому переході, мм;

$\varepsilon_{yi}$  – похибка установаження заготовки на виконуваному переході;

$$2Z_{\min(\text{чор.з})} = 2(320 + 320 + 105 + 30) = 2 \cdot 775 \text{ мкм} = 1550 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min(\text{чист.з})} = 2(50 + 50 + 0 + 0) = 2 \cdot 100 \text{ мкм} = 200 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min(\text{чор.р})} = 2(25 + 25 + 0 + 0) = 2 \cdot 50 \text{ мкм} = 100 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min(\text{чист.р})} = 2(16 + 16 + 0 + 0) = 2 \cdot 32 \text{ мкм} = 64 \text{ мкм}.$$

#### 5. Визначення допусків $Td$ :

$$Td_{\text{заг}} = 1000 \quad (37,325 \pm 0,5);$$

$$Td_{\text{чор.з}} = 160 \quad (+0,160);$$

$$Td_{\text{чист.з}} = 62 \quad (+0,062);$$

$$Td_{\text{чор.р}} = 39 \quad (+0,039);$$

$$Td_{\text{чист.р}} = 25 \quad (40^{+0,025}).$$

Результати, отримані в попередніх пунктах, зведено в табл. 3.4.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 - Вихідні та розрахункові дані

Технічні операції та переходи	Елементи припуску, мкм				Розрахункові припуски, мм			Розрахункові розміри, мм		
	$Rz_{i-1}$	$T_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\sum i$	$2Z_{min}$	$2Z_{ном}$	$2Z_{max}$	$D_{min}$	$D_{ном}$	$D_{max}$
Заготовка	320	320	105	-	-	-	-	36,825	37,325	37,825
Чорнове зенкерування	50	50	0	30	1,550	2,050	2,710	39,375	39,375	39,535
Чистове зенкерування	25	25	0	0	0,200	0,360	0,422	39,735	39,735	39,797
Чорнове розверстування	16	16	0	0	0,100	0,162	0,201	39,897	39,897	39,936
Чистове розверстування	6,3	6,3	0	0	0,064	0,128	0,103	40	40	40,025

Побудовано схеми розташування припусків і допусків на заданий розмір (рис. 3.1) і проведено розрахунки міжопераційних припусків. Загальний припуск на оброблення поверхні  $2Z_{н. заг}$  визначено за залежністю:

$$2Z_{н. заг} = \sum 2Z_{м.о. ном} \quad (3.5)$$

де  $2Z_{м.о. ном}$  - сума міжопераційних припусків (номінальних).

Розвертування - чистовий прохід

$$D_{min\ чист.р} = D_{ном.чист.р} + EI_{чист.р}; \quad (3.6)$$

$$D_{min\ чист.р} = 40,0 + 0 = 40,0 \text{ мм};$$

$$D_{max\ чист.р} = D_{ном.чист.р} + ES_{чист.р}; \quad (3.7)$$

$$D_{max\ чист.р} = 40,0 + 0,025 = 40,025 \text{ мм}.$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (3.4) визначено  $2Z_{\min(\text{чист.р})}$  :

$$2Z_{\min(\text{чист.р})} = 0,064 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max(\text{чист.р})} = 2Z_{\min(\text{чист.р})} + Td_{\text{чист.р}} + Td_{\text{чор.р}}; \quad (3.8)$$

$$2Z_{\max(\text{чист.р})} = 0,064 + 0,025 + 0,039 = 0,128 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чист.р})} = 2Z_{\min(\text{чист.р})} + Td_{\text{чор.р}}; \quad (3.9)$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чист.р})} = 0,064 + 0,039 = 0,103 \text{ мм}.$$

Розвертування - чорновий прохід

$$D_{\min \text{чор.р}} = D_{\text{ном.чор.р}} = D_{\max \text{чист.р}} - 2Z_{\max(\text{чист.р})}; \quad (3.10)$$

$$D_{\min \text{чор.р}} = 40,025 - 0,128 = 39,897 \text{ мм};$$

$$D_{\max \text{чор.р}} = D_{\text{ном.чор.р}} + ES_{\text{чор.р}}; \quad (3.11)$$

$$D_{\max \text{чор.р}} = 39,897 + 0,039 = 39,936 \text{ мм}.$$

За формулою (3.4) визначено  $2Z_{\min(\text{чор.р})}$  :

$$2Z_{\min(\text{чор.р})} = 0,100 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max(\text{чор.р})} = 2Z_{\min(\text{чор.р})} + Td_{\text{чор.р}} + Td_{\text{чист.з}}; \quad (3.12)$$

$$2Z_{\max(\text{чор.р})} = 0,100 + 0,039 + 0,062 = 0,201 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чор.р})} = 2Z_{\min(\text{чор.р})} + Td_{\text{чист.з}}; \quad (3.13)$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чор.р})} = 0,100 + 0,062 = 0,162 \text{ мм}.$$

Зенкерування - чистовий прохід

$$D_{\min \text{чист.з}} = D_{\text{ном.чист.з}} = D_{\max \text{чор.р}} - 2Z_{\max(\text{чор.р})}; \quad (3.14)$$

$$D_{\min \text{чист.з}} = 39,936 - 0,201 = 39,735 \text{ мм};$$

$$D_{\max \text{чист.з}} = D_{\text{ном.чист.з}} + ES_{\text{чист.з}}; \quad (3.15)$$

$$D_{\max \text{чист.з}} = 39,735 + 0,062 = 39,797 \text{ мм}.$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (3.4) визначено  $2Z_{\min(\text{чист.з})}$ :

$$2Z_{\min(\text{чист.з})} = 0,200 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max(\text{чист.з})} = 2Z_{\min(\text{чист.з})} + Td_{\text{чист.з}} + Td_{\text{чор.з}}; \quad (3.16)$$

$$2Z_{\max(\text{чор.з})} = 0,200 + 0,062 + 0,160 = 0,422 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чист.з})} = 2Z_{\min(\text{чист.з})} + Td_{\text{чор.з}}; \quad (3.17)$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чист.з})} = 0,200 + 0,160 = 0,360 \text{ мм}.$$

Зенкерування - чорновий прохід

$$D_{\min \text{чор.з}} = D_{\text{ном.чор.з}} = D_{\max \text{чист.з}} - 2Z_{\max(\text{чист.з})}; \quad (3.18)$$

$$D_{\min \text{чор.з}} = 39,797 - 0,422 = 39,375 \text{ мм};$$

$$D_{\max \text{чор.з}} = D_{\text{ном.чор.з}} + ES_{\text{чор.з}}; \quad (3.19)$$

$$D_{\max \text{чор.з}} = 39,375 + 0,160 = 39,535 \text{ мм}.$$

За формулою (3.4) визначено  $2Z_{\min(\text{чор.з})}$ :

$$2Z_{\min(\text{чор.з})} = 1,550 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max(\text{чор.з})} = 2Z_{\min(\text{чор.з})} + Td_{\text{чор.з}} + Td_{\text{заг}}; \quad (3.20)$$

$$2Z_{\max(\text{чор.з})} = 1,550 + 0,160 + 1,000 = 2,710 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чор.з})} = 2Z_{\min(\text{чор.з})} + Td_{\text{заг}} + EI_{\text{заг}}; \quad (3.21)$$

$$2Z_{\text{ном}(\text{чор.з})} = 1,550 + 1,000 + (-0,500) = 2,050 \text{ мм}.$$

Розміри вихідної заготовки

$$D_{\min \text{заг}} = D_{\max \text{чор.з}} - 2Z_{\max(\text{чор.з})}; \quad (3.22)$$

$$D_{\min \text{заг}} = 39,535 - 2,710 = 36,825 \text{ мм};$$

$$D_{\text{ном.заг}} = D_{\min \text{заг}} + EI_{\text{заг}}; \quad (3.23)$$

$$D_{\text{ном.заг}} = 36,825 + 0,500 = 37,325 \text{ мм};$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{\max \text{ заг}} = D_{\text{ном. заг}} + ES_{\text{ заг}} ; \quad (3.24)$$

$$D_{\max \text{ чор. р}} = 37,325 + 0,500 = 37,825 \text{ мм.}$$

За формулою (3.5) визначено сумарний припуск на оброблення поверхні:

$$2Z_{\text{н. заг}} = 0,103 + 0,162 + 0,360 + 2,050 = 2,675 \text{ мм.}$$

Побудовано схему розташування припусків і допусків на  $\varnothing 40\text{H7} (+0,025)$  (рис. 3.1).

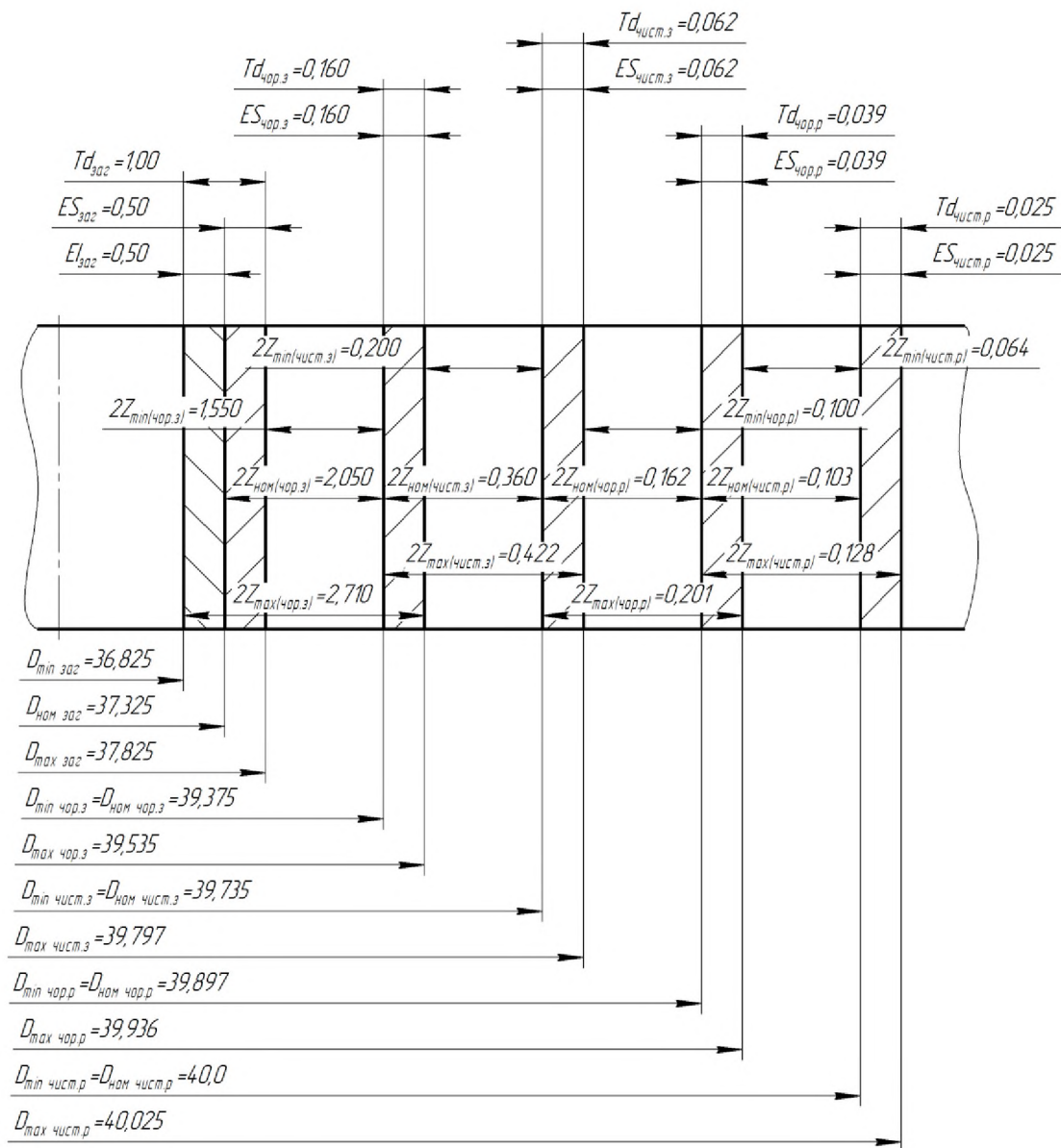


Рисунок 3.1 – Схема розташування припусків і допусків на розмір  $\varnothing 40\text{H7} (+0,025)$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

### 3.4. Розроблення маршрутного технологічного процесу механічного оброблення корпусу УГ250.31.00.007.

В табл. 3.5, 3.6 представлено послідовність виконання операцій базового та проектного варіантів технологічного процесу оброблення деталі.

Таблиця 3.5 - Базовий технологічний процес оброблення корпусу

№ операції	Операція	Устаткування
005	Вертикально-фрезерна	Верстат 6P13
010	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш
015	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш
020	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш
025	Копірувально-фрезерна	Верстат 6520К
030	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш
035	Вертикально-свердлильна	Верстат 2H135
040	Вертикально-свердлильна	Верстат 2H135
045	Плоско-шліфувальна	Верстат 3B722
050	Горизонтально-розточна	Верстат 2629В
055	Вертикально-фрезерна	Верстат 6P13
060	Вертикально-фрезерна	Верстат 6P13

Таблиця 3.6 - Проектний технологічний процес оброблення корпусу

№ операції	Операція	Устаткування
1	2	3
005	Вертикально-фрезерна	Верстат 6P13
010	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш
015	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш
020	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6P81Ш



1	2	3
025	Копірувально-фрезерна	Верстат 6520К
030	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6Р81Ш
035	Плоско-шліфувальна	Верстат 3Б722
040	Горизонтально-розточна	Верстат 2629В
045	Вертикально-свердлильна	Верстат 2Н135
050	Вертикально-свердлильна	Верстат 2Н135
055	Вертикально-свердлильна	Верстат 2Н135
060	Вертикально-свердлильна	Верстат 2Н135
065	Вертикально-свердлильна	Верстат 2Н135
070	Різенарізна	Верстат мод. 2026
075	Різенарізна	Верстат мод. 2026
080	Горизонтально-фрезерна	Верстат 6Р81Ш
085	Вертикально-фрезерна	Верстат 6Р13

### 3.5. Методи забезпечення технологічних вимог в процесі оброблення деталі.

Точність оброблення поверхні визначається чотирма факторами:

- дотриманням розмірної точності;
- дотриманням вимог шорсткості поверхні;
- дотриманням допусків форми й розташування поверхонь;
- дотриманням вимог твердості поверхні.

Розмірна точність забезпечується достатньою кількістю стадій оброблення, добром устаткування та різального інструменту, жорсткістю закріпленням деталі, застосуванням відповідної ЗОР.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На деталі є поверхні, виконані за 14-9 квалітетом, для заданої розмірної точності цих поверхонь достатньо однієї стадії оброблення: торці деталі, фаски  $30 \times 45^\circ$ , кріпильні отвори з цековками ( $\varnothing 9 \varnothing 14 H11$ ) та ін.

До точних розмірів деталі відносяться розміри, виконані за 7-8 квалітетом, а саме, розмір  $\varnothing 40 H7$ . Для досягнення цієї точності необхідно чотири стадії оброблення: чорнове та чистове зенкерування, чорнове та чистове розвертування.

Дотримання вимог шорсткості.

За вимогами дотримання заданої шорсткості всі поверхні можна поділити на групи:

- поверхні із шорсткістю  $R_a = 10$  мкм;
- поверхні із шорсткістю  $R_a = 6$  мкм;
- поверхні із шорсткістю  $R_a = 2,5$  мкм;
- поверхні із шорсткістю  $R_a = 1,25$  мкм.

Шорсткість поверхонь  $R_a = 3,2$  мкм,  $R_a = 6$  мкм,  $R_a = 10$  мкм досягається на чорновій стадії оброблення. Використовуваний інструмент дозволяє одержати шорсткість вищого класу, тому ці вимоги шорсткості впливають на вибір режимів різання.

Дотримання вимог шорсткості для отвору  $\varnothing 40 H7$  та на площині забезпечується в першу чергу вибором оптимальних режимів оброблення (зокрема, подачі та швидкості різання), правильним вибором різального інструменту (матеріал, геометрія), а також твердістю технологічної системи ВПД (необхідно забезпечити жорстке закріплення різального інструменту, заготовки і пристосування на верстаті).

Дотримання допусків форми й розташування поверхні.

Креслення деталі містить один позиційний допуск – допуск паралельності осі отвору  $\varnothing 40 H7$  щодо бази А, установочна площина (допуск становить 0,05 мм).

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Установочна поверхня пристосування має жорсткі вимоги площинності. При встановленні пристосування проводиться вивірка індикатором для того, щоб установочна база була перпендикулярною до траєкторії переміщення супорта верстату при вертикальній подачі. Допуск - в межах 0,05 мм на 100 мм ходу.

Вимоги до твердості поверхні.

Конструкторською документацією не передбачено додаткове зміцнення поверхні деталі. Твердість поверхні корпусу отримується на заготівельній операції.

### **3.6. Опис проектного маршрутного технологічного процесу за операціями.**

005 Вертикально-фрезерна 6P13.

На цій операції проводиться чорнове фрезерування базової площини з дотриманням розміру  $25,3 \pm 0,1$  мм на вертикально-фрезерному верстаті 6P13. Деталь встановлюється в двомісне пристосування для фрезерування площини.

010 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Здійснюється чорнове фрезерування торцевих поверхонь в розмір  $210 \pm 0,1$  мм на горизонтально-фрезерному верстаті 6P81Ш.

015 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Здійснюється чорнове фрезерування торцевих поверхонь в розмір  $105 \pm 0,1$  мм на горизонтально-фрезерному верстаті 6P81Ш. Деталі встановлюються в двомісне пристосування і обробляються одночасно.

020 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Проводиться чорнове фрезерування заниження з дотриманням розмірів 30 мм та 8,5 мм. Деталь закріплюється в чотирьохмісному пристосуванні для фрезерування уступів.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

025 Копірувально-фрезерна.

Відбувається фрезерування вибірки в розмір  $h = 8,5$  мм по копіру з дотриманням розміру  $R = 10$  м,  $L \times B = 24 \times 33$  мм. Деталь закріплюється в спеціальному двомісному пристосуванні з гідрозатиском.

030 Горизонтально-фрезерна 6P81Ш.

Фрезеруються скоси з дотриманням розміру  $30 \times 30$  під кутом  $45^\circ$ .

035 Плоскошліфувальна 3Б722.

На цій операції спочатку проводиться чорнове, а потім чистове шліфування базової площини з дотриманням розміру  $25,3 \pm 0,1$  мм. Деталі закріплюються на магнітній плиті верстату.

040 Горизонтально-розточна 2620В.

Виконується послідовно зенкерування чорнове та чистове з наступним розвертуванням отвору, після чого зенкуються 2 фаски.

Переходи:

1. Установити, закріпити, зняти.
2. Зенкерувати отвір  $\varnothing 40$  в розмір  $39,5^{+0,05}$  на прохід начорно.
3. Зенкерувати отвір  $\varnothing 40$  в розмір  $39,5^{+0,05}$  на прохід начисто.
4. Розвернути отвір  $\varnothing 40$  в розмір  $39,95$  на прохід начорно.
5. Розвернути отвір  $\varnothing 40$  в розмір на прохід начисто.
6. Зенкувати фаски в розмір  $1,5 \times 45^\circ$ .

045 Вертикально-свердлильна 2Н135.

На цій операції свердляться 4 отвори  $\varnothing 9$  з цековками  $\varnothing 14$  одночасно з дотриманням глибини цековки  $8^{+0,1}$ . Свердління виконується за допомогою спеціальної чотирьохшпіндельної головки.

050 Вертикально-свердлильна 2Н135.

На цій операції свердляться 2 отвори  $\varnothing 9$  з цековками  $\varnothing 14$  одночасно з дотриманням глибини цековки  $8^{+0,1}$  та 2 отвори  $\varnothing 5,8$  для штифтів. Свердління виконується за допомогою спеціальної чотирьохшпіндельної головки.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

055 Вертикально-свердлильна 2Н135.

Свердяться 4 отвори під різь  $\varnothing 3,2$  одночасно з дотриманням розміру  $15^{+0,1}$ . Свердління виконується за допомогою спеціальної чотирьохшпindelної головки.

060 Вертикально-свердлильна 2Н135.

На цій операції свердяться 3 отвори комбінованим свердлом  $\varnothing 6,7$  та  $\varnothing 9$  з дотриманням розміру 32 мм, а потім цекуються  $\varnothing 14$  мм.

065 Вертикально-свердлильна 2Н135.

Виконується отвір  $\varnothing 6,6$  мм з цековкою  $\varnothing 12$  мм з дотриманням глибини цековки 7 мм.

070 Різенарзна.

Нарізається різь М8-7Н в попередньо просвердлених трьох отворах з дотриманням розміру 31 мм.

075 Різенарзна.

На цій операції виконується нарізання різі в 4 отворах М4-7Н з дотриманням глибини 13 мм.

080 Горизонтально-фрезерна 6Р81Ш.

Фрезерується горизонтальний паз шириною 3 мм в з дотриманням розміру 28 мм.

085 Вертикально-фрезерна 6Р13.

На цій операції фрезерується паз шириною 3 мм під кутом  $10^\circ$  з дотриманням розміру 32 мм.

### 3.7. Розроблення операційного технологічного процесу.

Параметри режимів різання визначаються з метою досягнення найвищої продуктивності праці з найнижчою собівартістю даної технологічної операції. Ці умови можливо виконати за допомогою інструменту раціональної конструкції, оптимальної геометрії та максимального використання всіх експлуатаційних можливостей верстату.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Режими різання складаються із наступних параметрів: глибина різання  $t$  (мм), подача  $S$  (мм/об або мм/хв.), швидкість  $V$  (мм/хв. або мм/с).

### 3.7.1. Розрахунки режимів різання і нормування вертикально-фрезерної операції 005.

Вертикально-фрезерна операція 005 призначена для оброблення площини  $h = 25 \pm 0,1$  мм, виконується на верстаті моделі 6P13.

#### 1. Паспортні дані верстату:

Площа поверхні стола  $1600 \times 400$ . Потужність двигуна  $N_D = 10$  кВт; к.к.д. верстату  $\eta = 0,85$ . Частота обертання шпинделя, об/хв: 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600. Швидкість поздовжнього й поперечного руху подачі стола, мм/хв: 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250. Швидкість вертикального руху подачі стола, мм/хв: 8; 10,5; 13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,5; 66,6; 83,3; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 400. Максимальна сила різання, допустима механізмом руху подачі, Н: поздовжнього - 20000, поперечного - 12000, вертикального - 8000.

#### 2. Різальний інструмент.

Р.І.: Торцева фреза діаметром  $D=160$  мм, 2214-0159, ГОСТ9473-80 з вставними ножами, оснащеними пластинами з твердого сплаву ВК8,  $Z=12$ .

3. Операційний ескіз оброблення деталі на вертикально-фрезерній операції 005 представлено на рис. 3.2.

#### 4. Глибина різання:

При фрезеруванні площини глибина різання дорівнює припуску на механічне оброблення 3 мм.

#### 5. Вибір подач.

Подачу  $S$  вибираємо з таблиці 34, с. 283 [25]:

$$S_{ZT} = 0,1 \text{ мм/зуб.}$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

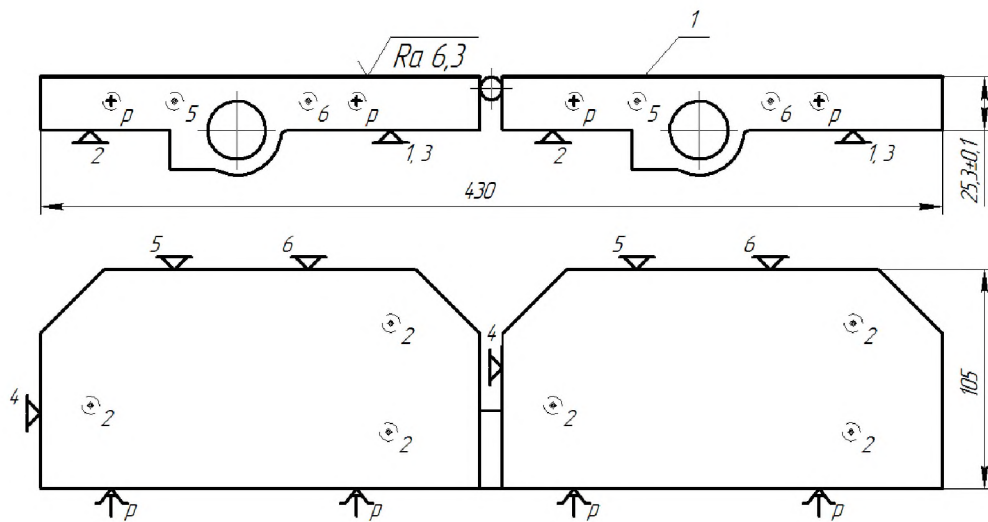


Рисунок 3.2 - Операційний ескіз оброблення деталі

### 6. Вибір швидкості різання.

Швидкість різання розраховуємо згідно формули:

$$V_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot Z^n \cdot B^z} \cdot K_{Mv} \cdot K_{Pv} \cdot K_{Iv}, \quad (3.25)$$

де  $C_v = 176,5$  [25, табл.39];

$x, m, q, n, y, z$  – показники степенів [25, табл. 39];

$x=0,2; m=0,35; y=0,56; z=0,15; q=0,25; n=0;$

$T$ - період стійкості інструменту,  $T=225$  [25, табл. 40];

$K_{Mv}$  - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу,  $K_{Mv} = 1,0$  [25, табл. 1-4];

$K_{Pv}$  - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки,  $K_{Pv} = 0,95$  [25, табл. 5];

$K_{\varphi}$  – коефіцієнт, який враховує вплив марки оброблюваного матеріалу на швидкість фрезерування,  $K_{\varphi}=1,18$  [25, табл. 6].

Швидкість фрезерування дорівнює:

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_T = \frac{176,5 \cdot 160^{0,25}}{225^{0,35} \cdot 3^{0,2} \cdot 0,1^{0,56} \cdot 12^0 \cdot 105^{0,15}} \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1,18 = 131,09 \text{ м/хв.}$$

7. Визначення частоти обертання шпинделя:

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв;} \quad (3.26)$$

$$n_T = \frac{1000 \cdot 131,09}{\pi \cdot 160} = 260,9 \text{ об/хв;};$$

коригуємо для верстату  $n_\phi = 250$  об/хв.

8. Визначення фактичної швидкості різання:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000}, \text{ м/хв;} \quad (3.27)$$

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot 160 \cdot 250}{1000} = 130 \text{ м/хв.}$$

9. Визначення хвилинної подачі:

$$S_M = S_Z \cdot Z \cdot n_\phi, \text{ мм/хв;} \quad (3.28)$$

$$S_M = 0,1 \cdot 12 \cdot 250 = 300 \text{ мм/хв;};$$

коригуємо для верстату  $S_M = 315$  мм/хв.

10. Визначення потужності різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{Mp} \quad (3.29)$$

де  $C_p$  і  $x, y, z, q$  визначено з таблиці 41 [25];  $C_p=70$ ;  $x=1,14$ ;  $y=0,7$ ;  $z=0,9$ ;  $q=1,14$ ;  $w=0$ .

$K_{Mp}$  - поправочний коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу,  $K_{Mp} = 1,14$  [25, табл. 9];

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$P_z = \frac{10 \cdot 70 \cdot 3^{1,14} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 105^{0,9} \cdot 12}{160^q \cdot 250^0} \cdot 1,14 = 2465,6 \text{ Н.}$$

Визначено потужність фрезерування:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_\phi}{60 \cdot 1020} = \frac{2465,6 \cdot 130}{60 \cdot 1020} = 5,29 \text{ кВт.}$$

11. Перевірка потужності приводу головного руху.

Необхідно виконати умову  $N_{\text{різ}} < N_{\text{шп}}$ . Потужність на шпинделі верстату визначено за формулою:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{ЕД}} \cdot \eta, \text{ кВт}; \quad (3.30)$$

$$N_{\text{шп}} = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт.}$$

Допускається перевищення потужності різання не більше, ніж на 5%. Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що оброблення можливе.

Таблиця 3.7 - Режими різання на операції 005

Елементи режиму різання	
Прийнята подача $S_z$ , мм/зуб	0,1
Розрахункова швидкість різання $V_T$ , м/хв.	131,09
Фактичні оберти шпинделя $n_\phi$ , об/хв.	250
Фактична швидкість різання $V_\phi$ , м/хв.	130
Потужність на шпинделі верстату $N_{\text{шп}}$ , кВт	8,5
Фактична потужність різання $N_{\text{різ}}$ , кВт	5,29
Хвилинна подача $S_M$ , мм/хв.	300

## 12. Визначення основного часу.

Основний час на вертикально-фрезерній операції розраховано за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S_M} \cdot i, \text{ хв}; \quad (3.31)$$

де  $L$  - довжина робочого ходу інструменту, мм;

$S_M$  - хвилинна подача, мм/хв.;

$i$  - кількість проходів;

$$L = (l + l_1 + l_2), \text{ мм};$$

де  $l$  – довжина оброблення деталі, мм;  $l = 450$  мм;

$l_1 = \sqrt{B \cdot (D - B)} = \sqrt{105 \cdot (160 - 105)} = 75,99 \text{ мм} \approx 76 \text{ мм}$  – довжина врізання інструменту для оброблення одночасно двох деталей;

$L_2 = 3$  мм – перебіг інструменту;

$$L = (450 + 76 + 3) = 529 \text{ мм};$$

$$T_o = \frac{529}{315} \cdot 1 = 1,74 \text{ хв.}$$

## 13. Визначення допоміжного часу на операцію.

Допоміжний час включає наступні складові:

- на установку-зняття деталі  $T_{ДУЗ} = 2,4$  хв.; [7, карта 18];
- на зміну режимів різання  $T_{ДРР} = 0,01$  хв.; [7, додаток 3];
- на вимірювання  $T_{ДВИМ} = 0,11$  хв.; [7, карта 86];
- пов'язане з переходом:  $T_{ДПЕР} = 0,05$  хв.; [7, карта 18].

Сумарний допоміжний час дорівнює:

$$\Sigma T_D = T_{ДУЗ} + T_{ДРР} + T_{ДВИМ} + T_{ДПЕР}, \text{ хв.}; \quad (3.32)$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Sigma T_D = 2,4 + 0,01 + 0,11 + 0,05 = 2,57 \text{ хв.}$$

Операційний час визначається за формулою:

$$T_{OP} = \Sigma T_O + \Sigma T_D, \text{ хв.}; \quad (3.33)$$

$$T_{OP} = 1,74 + 2,57 = 4,31 \text{ хв.}$$

14. Визначення підготовчо-заключного часу на партію.

Підготовчо-заключний час витрачається [25, карта 19]:

- на налагодження верстату, інструменту і пристосування;

$$T_{ПЗ1} = 14 \text{ хв.};$$

- на додаткові приймання  $T_{ПЗ2} = 2 \text{ хв.};$

- на одержання-здачу інструменту та пристосувань  $T_{ПЗ3} = 7 \text{ хв.}$

Сумарний підготовчо-заключний час дорівнює:

$$T_{ПЗ} = T_{ПЗ1} + T_{ПЗ2} + T_{ПЗ3}, \quad (3.34)$$

$$T_{ПЗ} = 14 + 2 + 7 = 23 \text{ хв.}$$

15. Визначення штучного та штучно-калькуляційного часу.

Штучний час визначається за формулою:

$$T_{шт} = T_{OP} + T_{OBC} + T_{ЛН}, \text{ хв.}; \quad (3.35)$$

де  $T_{OBC}$  - норма часу на обслуговування робочого місця, яка становить 3,5% від

$$T_{OP}, T_{OBC} = 0,15 \text{ хв.};$$

$T_{ЛН}$  - норма часу на відпочинок і особисті потреби, яка становить 3% від  $T_{OP}$ ,

$$T_{ЛН} = 0,13 \text{ хв.};$$

$$T_{шт} = 4,31 + 0,15 + 0,13 = 4,61 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час визначається згідно формули:

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{Ш-К} = T_{ШТ} + \frac{T_{ПЗ}}{n}, \text{ хв}; \quad (3.36)$$

де  $n$  - кількість деталей у змінній партії;

$$n = \frac{N \cdot a}{D}, \quad (3.37)$$

де  $N$  – кількість деталей в партії,  $N = 30000$ ;

$a = 3$  – періодичність запуску в днях;

$D$  - річна кількість робочих днів,  $D = 254$  дні;

$$n_1 = \frac{30000 \cdot 3}{254} = 402,3 \approx 402.$$

Враховуючи двозмінний режим роботи, за кожну зміну випускається по 200 деталей,  $n = 200$  шт.

$$T_{Ш-К} = 4,61 + \frac{23}{200} = 4,73 \text{ хв.}$$

Оскільки одночасно обробляємо дві заготовки, то  $T_{Ш-К}$  потрібно розділити на 2, щоб знайти час оброблення однієї деталі:

$$T_{Ш-К} = \frac{4,73}{2} = 2,36 \text{ хв.}$$

Значення, розраховані вище, наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Зведена таблиця складових часу на операцію

$T_0$	$T_D$	$T_{ОП}$	$T_{ПЗ}$	$T_{ШТ}$	$T_{Ш-К}$
1,74	2,57	4,31	23	2,30	2,36

### 3.7.2. Розрахунки режимів різання і нормування плоскошліфувальної операції 035.

Плоскошліфувальна операція 035 призначена для оброблення площини  $h = 25 \pm 0,1$  мм, виконується на плоскошліфувальному верстаті моделі ЗБ722.

#### 1. Паспортні дані верстату:

Площа поверхні стола  $1000 \times 320$ . Найбільші розміри оброблюваних виробів ( $D \times Ш \times B$ )  $1000 \times 360 \times 400$  мм. Потужність двигуна  $N_D = 10$  кВт; к.к.д. верстату  $\eta = 0,85$ . Частота обертання шпинделя - 1460 об/хв. Межі швидкостей поперечної подачі шліфувальної бабки – безступінчасте регулювання від 0,05 до 3,0 мм/хв. Автоматична поперечна подача на кожний хід стола - безступінчасте регулювання від 1 до 30 мм/хід. Автоматична вертикальна подача шліфувальної бабки 0,005..1 мм. Найбільший допустимий крутний момент на шпинделі – 67 Нм.

#### 2. Розроблення операційного ескізу оброблення деталі (рис.3.3).

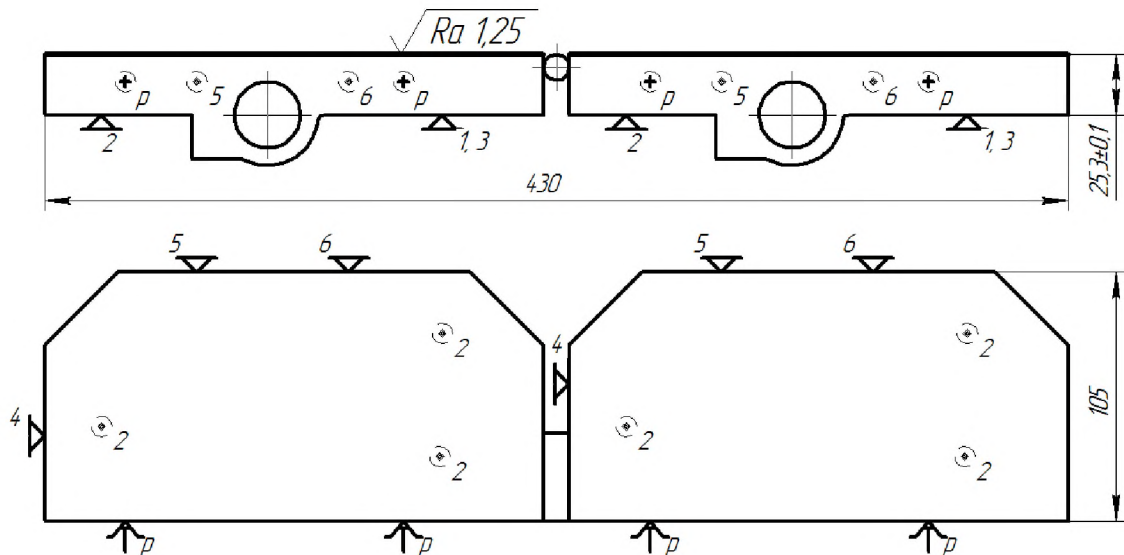


Рисунок 3.3 - Операційний ескіз оброблення деталі

#### 3. Різальний інструмент.

Шліфувальний круг прямого профілю розміром  $\varnothing 450 \times 63 \times 205$ . Матеріал круга – карбід кремнію чорний 54С, зернистість круга 40, структура середня

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№7. Зв'язка керамічна К1. Маркування круга: Круг ПП42С4ОПСМ227К1А – 35м/с ГОСТ 2424-80.

4. Глибина різання.

При чорновому шліфуванні глибина різання  $t_1 = 0,2$  мм.

При чистовому шліфуванні глибина різання  $t_2 = 0,1$  мм.

5. Вибір подач.

При чорновому та чистовому шліфуванні приймаємо з таблиці 55 [25]:

$S_{tx} = 0,01$ мм;  $S_B = 12,6$  мм/хід.

6. Вибір швидкості різання.

Відповідно до таблиці 55 [25] вибираємо швидкість руху деталі в повздовжньому переміщенні рівною  $V_D = 10$  м/хв.

7. Визначення потужності різання:

$$N_{piz} = 1,77 \cdot (V_D \cdot S_B \cdot S_{tx}) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ кВт}; \quad (3.38)$$

де  $S_B$  – поперечна подача круга, мм/хід;

$S_{tx}$  – глибина шліфування;

$K_1, K_2, K_3$  – поправочні коефіцієнти на потужність згідно [25];

$K_1=1$ ;  $K_2=1,1$ ;

$$K_3 = \frac{F_3}{B_3 \cdot L_3} = \frac{420 \cdot 105}{420 \cdot 105} = 1;$$

де  $B_3$  – ширина заготовки;

$F_3$  – сумарна площа шліфування;

$L_3$  – довжина шліфування;

$$N_{piz} = 1,77 \cdot (10 \cdot 12,6 \cdot 0,01) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 2,33 \text{ кВт.}$$

8. Перевірка потужності приводу головного руху.

Необхідно виконати умову  $N_{piz} < N_{ун}$ . Потужність на шпинделі верстату визначається за формулою (3.30):

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{ум} = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт.}$$

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що оброблення можливе.

Таблиця 3.9 - Режими різання на операції 035

Елементи режиму різання	Стадії оброблення	
	Чорнова	Чистова
Глибина шліфування	0,2	0,1
Прийнята поперечна подача круга $S_B$ , мм/хід	12,6	12,6
Прийнята вертикальна подача круга $S_{гх}$ мм/хід	0,02	0,01
Прийнята швидкість різання $V_D$ , м/хв.	10	10
Потужність на шпинделі верстату $N_{ум}$ , кВт	8,5	
Фактична потужність різання $N_{різ}$ , кВт	2,33	

#### 9. Визначення основного часу.

Основний час на плоскошліфувальній операції визначається за формулою:

$$T_m = \frac{B \cdot L \cdot h}{1000 V_D \cdot S_B \cdot S_{гх}} \cdot K \quad (3.39)$$

де  $B$  – сумарна ширина шліфування поверхні деталі.

$$B = 105 + 63 + 5 = 173 \text{ мм,}$$

$L$  – довжина повздовжнього ходу,  $L = 420 + 15 = 435 \text{ мм;}$

$S_B$  – поперечна подача круга,  $S_B = 12,6 \text{ мм;}$

$h$  – припуск на шліфування,  $h_{чор} = 0,2 \text{ мм; } h_{чист} = 0,1 \text{ мм;}$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_{tx}$  – глибина шліфування – вертикальна подача для чорнового шліфування 0,02 мм; для чистового – 0,01 мм.

Знаходимо машинний час для чорнового та чистового шліфування:

$$T_{\text{Очор}} = \frac{173 \cdot 435 \cdot 0,2}{1000 \cdot 10 \cdot 12,6 \cdot 0,02} \cdot 1,25 = 7,46 \text{ хв};$$

$$T_{\text{Очист}} = \frac{173 \cdot 435 \cdot 0,1}{1000 \cdot 10 \cdot 12,6 \cdot 0,01} \cdot 1,4 = 8,36 \text{ хв};$$

$$\sum T_o = 15,82 \text{ хв.}$$

На одну деталь  $T_o$  дорівнює:

$$T_o = \frac{7,46 + 8,36}{2} = 7,91 \text{ хв.}$$

10. Визначення допоміжного часу на операцію.

Допоміжний час включає наступні складові:

- на установку-зняття деталі  $T_{\text{ДВЗ}} = 2,4$  хв.; [7, карта 18];
- на вимірювання  $T_{\text{ДВИМ}} = 0,2$  хв.; [7, карта 86];
- пов'язане з переходом:  $T_{\text{ДПЕР}} = 0,4$  хв.; [7, карта 18];
- час на правку круга  $T_{\text{ДПР}} = 3,0$  хв.; [7, карта 91].

Сумарний допоміжний час знаходимо за формулою (3.32):

$$\sum T_{\text{Д}} = 2,4 + 0,2 + 0,4 + 3,0 = 6,0 \text{ хв.}$$

Операційний час визначається за формулою (3.33):

$$T_{\text{оп}} = 15,82 + 6,0 = 21,82 \text{ хв.}$$

11. Визначення підготовчо-заклучного часу на партію.

Підготовчо-заклучний час витрачається згідно [7, карта 19]:

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- на налагодження верстату, інструменту і пристосування,  
 $T_{ПЗ1} = 13$  хв.;
- на додаткові приймання  $T_{ПЗ2} = 2$  хв.;
- на одержання-здачу інструменту та пристосувань  $T_{ПЗ3} = 6$  хв.

Сумарний підготовчо-заклучний час визначено за формулою (3.34):

$$T_{ПЗ} = 13 + 2 + 6 = 21 \text{ хв.}$$

## 12. Визначення штучного та штучно-калькуляційного часу.

Штучний час визначається за формулою (3.35):

де  $T_{ОБС}$  - норма часу на обслуговування робочого місця, яка становить 3,5% від  $T_{ОП}$ ,  $T_{ОБС} = 0,80$  хв.

$T_{ЛН}$  - норма часу на відпочинок і особисті потреби, яка становить 3% від  $T_{ОП}$ ,  
 $T_{ЛН} = 0,68$  хв.;

$$T_{ШТ} = 22,82 + 0,80 + 0,68 = 24,3 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час визначається згідно формули (3.36):

де  $n$  - кількість деталей у змінній партії;  $n = 200$  шт;

$$T_{Ш-К} = 24,3 + \frac{21}{200} = 24,405 \text{ хв.}$$

Оскільки одночасно оброблюються дві заготовки, то  $T_{Ш-К}$  потрібно розділити на 2, щоб знайти час оброблення однієї деталі:

$$T_{Ш-К} = \frac{24,405}{2} = 12,2 \text{ хв.}$$

Значення, розраховані вище, наведено в таблиці 3.10.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.10 - Зведена таблиця складових часу на операцію, хв

$T_o$	$T_d$	$T_{оп}$	$T_{пз}$	$T_{шт}$	$T_{ш-к}$
7,91	6,0	22,82	21	12,15	12,2

### 3.8. Визначення похибки базування заготовки.

Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежать наступні чинники:

- фактична точність виконання розмірів;
- правильність взаємного розташування поверхонь;
- ступінь складності пристроїв різальних та вимірних інструментів;
- загальна продуктивність оброблення заготовки.

Основні положення, що стосуються класифікації та теорії базування, ґрунтуються на рекомендаціях ГОСТ 21495-76. Вихідними даними для вибору баз слугують: робоче креслення деталі, технічні умови на виготовлення, вид заготовки та стан її поверхонь, бажаний ступінь механізації та автоматизації процесу механічного оброблення.

Кожна заготовка має 6 степеней вільності при переміщенні по осях ОХ, ОУ, ОZ і 3 степені вільності при обертанні відносно цих осей, тому положення заготовки визначається 6 координатами і 6 опорними точками. Для розташування 6 опорних точок вимагається наявність у деталі трьох поверхонь, які називаються базовими поверхнями або базами. Бази розрізняють: конструкторські, технологічні та вимірювальні.

Технологічною базою є площина, яка використовується для визначення положення заготовки при її виготовленні. Згідно ГОСТ 21495-76 бази поділяється на установочні, направляючі та опорні.

За установчу базу приймаємо нижню поверхню А, яка має найбільші габаритні розміри, відповідає всім вимогам по площинності та шорсткості для досягнення необхідної геометричної точності взаємозв'язаних поверхонь. За

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

направляючі бази доцільно використати бокові площини, які є найдовшими при найменшій ширині і мають розмір 210×25. В якості опорних баз приймаємо торцеві поверхні розміром 105×25, які є найменшими у деталі. Допоміжною базою деталі є отвір Ø40, оскільки він призначений для розміщення в ньому шпindelного вузла.

Схему чистового базування деталі подано на рис. 3.4.

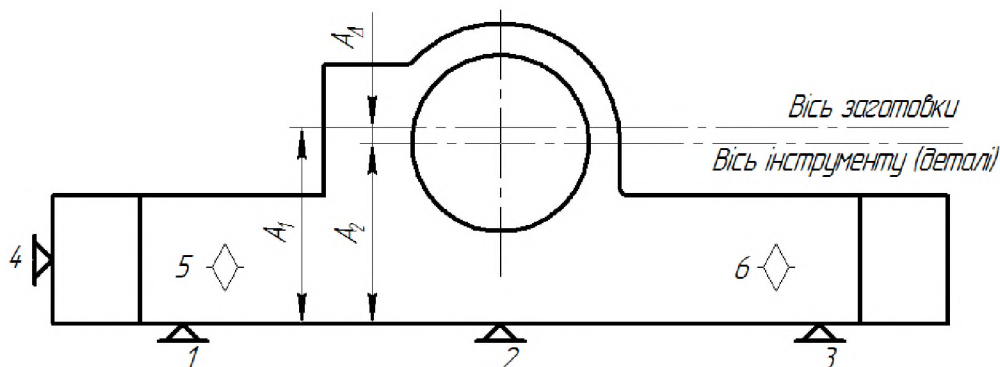


Рисунок 3.4 – Схема чистового базування

Основними завданнями при виборі чорнових баз є забезпечення мінімальної похибки розміру замикальної ланки  $A_{\Delta}$ .

Розглянемо три можливі варіанти базування оброблення чистових баз (рисунок 3.5).

Знайдемо похибки розміру замикальної ланки  $A_{\Delta}$  для кожного варіанту базування:

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2, \quad (3.40)$$

$$\omega_{A_{\Delta}} = \omega_{A_1} + \omega_{A_2} \quad (3.41)$$

$$\omega_{A_1} = \omega_{B_{\Delta}} + \omega_{A_2} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2} + \omega_{A_2} \quad (3.42)$$

де  $\omega_{A_2} = 60 + 10 = 70$  мкм - похибка настроювання інструменту;

$\omega_{B_1} = 100$  мкм - допуск заготовки;

$\omega_{\Gamma_2} = \omega_{B_2} = \omega_{B_2} = 0,025$  - допуск на зміщення отвору;

$\omega_{B_1} = 1100$  мкм;  $\omega_{\Gamma_1} = 64$  мкм.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



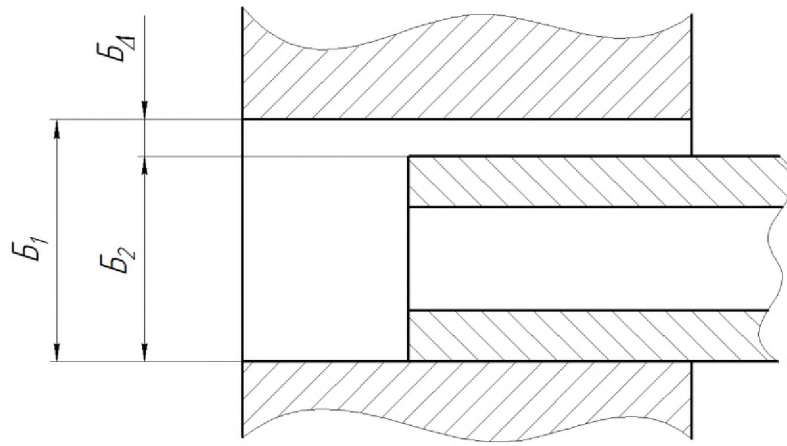


Рисунок 3.6 – Розмірний ланцюг з'єднання гільзи та отвору:

$B_1$  – розмір отвору;  $B_2$  – розмір гільзи;

$B_{\Delta}$  – вихідна або замикальна ланка

2. Визначаємо замикальну або вихідну ланку ланцюга. Номінальний розмір замикальної ланки повинен дорівнювати алгебраїчній сумі номінальних розмірів ланок ланцюга.

Рівняння розмірного ланцюга складальної одиниці має вигляд:

$$\bar{A}_{\Delta} = \bar{A}_1 - (\bar{A}_2 + \bar{A}_3). \quad (3.43)$$

У загальному вигляді це рівняння можна представити наступним чином:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \bar{A}_i. \quad (3.44)$$

3. Встановлюємо величину й допуск замикальної ланки розмірного ланцюга, виходячи з призначення і експлуатаційних особливостей складальної одиниці або виробу.

4. Розподіляємо допуск  $T_{\Delta}$  замикальної ланки серед ланок ланцюга, тобто, визначають допуск всіх ланок. При цьому вважають, що всі ланки однаково впливають на допуск замикальної ланки і їх допуски можуть бути однаковими. Середній допуск для кожної ланки ланцюга визначається за формулою:

						<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
							72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$T_{cp} = TA_{\Delta} / (m - 1). \quad (3.45)$$

5. Вибираємо метод рішення розмірного ланцюга, тобто спосіб складання.

6. Встановлюємо відхилення ланок ланцюга:

$$B_1 = 40,025 \text{ мм};$$

$$B_2 = 39,984 \text{ мм};$$

$$\Delta B = B_1 - B_2 = 40,025 - 39,984 = 0,041 \text{ мм} - \text{максимальний зазор.}$$

Отже, величина допуску замикальної ланки дорівнює 0,041 мм. Допуск розбиваємо на 3 підгрупи і забезпечуємо можливість повної взаємозаміни деталей у заданих підгрупах при визначеній посадці  $40 \frac{H7(+0.025)}{h7(-0.016)}$ .

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.11 - Розрахунок режимів різання і вибір моделей верстатів

№ п/п	Назва та зміст операції	Інструмент, його призначення	T <sub>о</sub> , хв	Розрахунокова довжина	Значенні режимів				Верстати	
					t	S <sub>хв</sub>	N <sub>p</sub>	V		n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	Вертикально-фрезерна Фрезувати пов.31	Торцева фреза ВК8, Z=12; D=160 мм	1,74	523	2,5	300	5,29	130	250	6РВ 7,5 кВт
010	Горизонтально-фрезерна Фрезувати пов.1,21	Набір фрез дискових Ø180 ВК8 ГОСТ 5348-75	0,86·2	300	2,5	175	5,4	170	300	6Р81Ш 5,5 кВт
015	Горизонтально-фрезерна Фрезувати пов.2,11	Набір фрез дискових Ø180 ВК8 ГОСТ 5348-75	1,46·2	510	2,5	175	5,4	170	300	6Р81Ш 5,5 кВт
020	Горизонтально-фрезерна Фрезувати уступ пов.18	Набір фрез дискових Ø125 ВК8 ГОСТ 5448-75	0,96·2	480	8,5	125	5,4	96	250	6Р81Ш 5,5 кВт
025	Копіювально-фрезерна Фрезувати пов.12	Фреза кінцева Ø20 Z=4 ГОСТ 20537-75	2,64	185	8,5	75	2,7	60	950	6520К
030	Горизонтально-фрезерна Фрезування скосів	Набір дискових кутових фрез ∠45° ВК8 Ø125	0,5·2	125	3,5	125	4,5	96	250	6Р81Ш 5,5 кВт

MP 18-382.00.00

Арк.

74

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Продовження таблиці 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
035	Плоско-шліфувальна 1.Шліфування чорн. 2.Шліфування чист.	Шліфувальний круг ПШ54С40ПСМ227К1А ГОСТ 2424-80	3,78·2 4,18·2	l=435 B=173	0,2 0,1	$S_{\alpha}=0,01$ $S_B=12,6$	2,33 10	10	-	3Б722 10 кВт
040	Горизонтально- розточна 1.Зенкерування чорн. 2.Зенкерування чист. 3.Розвертання чорн. 4.Розвертання чист. 5.Зенкування фасок з перустановкою	Зенкера $\phi 39,5$ ; 39,8 ВК8 ГОСТ 3231-71 Розвертка $\phi 39,95$ ; 40 ГОСТ 11175-80 Зенківка кутова $\phi 50$ $\angle 45^\circ$ ГОСТ 14953-69	0,63 0,63 0,9 0,82 0,06	128 128 145 155 3	1,47 0,2 0,1 0,045 0,5	$S_{об}$ 0,4 0,4 0,8 0,95 0,1	1,2 1,2 1,2 1,2 1,2	63 63 210 210 500	500 500 200 200 500	2620В 8,3 кВт
045	Вертикально-свердл. Свердлиги, цекувати отв. 5-8	Чотирьохшпindelна головка. Свердло комбіноване $\phi 9 / \phi 14$	0,35	30	4,5	0,15	1,3	18	575	2Н135 4 кВт
050	Вертикально-свердл. Свердлиги, цекувати отв. 9, 10, 19, 20	Чотирьохшпindelна головка. Свердло комбіноване $\phi 9 / \phi 14$ ; $\phi 5,8$	0,35	30	4,5	0,15	1,3	18	575	2Н135 4 кВт



Продовження таблиці 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
055	Вертикально-свердл. Свердлиги отв.14-17	Чотирьохшпindelна головка. Свердло ø3,3 Р6М5 ГОСТ 886-77	0,12	18	1,65	0,1	0,1	17	1600	2Н135 4 кВт
060	Вертикально-свердл. 1.Свердлиги отв.45- 47 2.Цекувати отв.36-38	Свердло комбіноване ø6,7/ø9. Зенківка ø9/ ø14	0,2 0,02	35 4	3,35 2,5	0,2 0,2	0,3 0,3	20 20	900 900	2Н135 4 кВт
065	Вертикально-свердл. Свердлиги, цюкувати отв.23	Свердло-ціквівка комбіновані ø6,6/ø12	0,08	15	3,3	0,2	0,3	20	950	2Н135 4 кВт
070	Різенарізна Нарізати різь в отв.42-44	Мітчик М8х1,25 ГОСТ 3266-80. Патрон різенарізний	0,4	21	0,65	1,25	0,65	6,3	250	2026 1,5 кВт
075	Різенарізна Нарізати різь в отв.14-17	Мітчик М4х0,7 ГОСТ 3266-80. Патрон різенарізний	0,42	15	0,35	0,7	0,4	8	400	2026 1,5 кВт

Закінчення таблиці 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
080	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати паз 33	Фреза дискова прорізна Ø125x3 ГОСТ 2679-73	0,8	120	3	110	0,4	50	150	6РВ1Ш 5,5 кВт
085	Вертикально-фрезерна Фрезерувати паз 32 під кутом 10°	Фреза дискова прорізна Ø125x3 Z=160 2254-0903 ГОСТ 2679-73	1,1	165	3	110	0,4	50	150	6Р13 7,5 кВт

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

MP 18-382.00.00

Арк.

77

Таблиця 3.12 - Нормування технологічного процесу

№ опер.	Назва та зміст операції	$T_o$	$T_{доп}$				$\Sigma T_{доп}$	$T_{он}$	$T_{обс} + T_{тех}$	$T_{від}$	$T_{шт.}$	$T_{н.з}$	$\frac{T_{шт.-к}}{n}$	$T_{шт.к}$
			$T_{у.з.}$	$T_{з.в.}$	$T_{у.}$	$T_{вим}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
005	Вертикально-фрезерна Фрезувати пов.31	1,74	2,4	0,03	0,05	0,2	2,68	4,42	0,15	0,13	4,61	23	4,73	2,36
010	Горизонтально-фрезерна Фрезерувати пов.1,21	0,86·2	2,4	0,03	0,05	0,2	2,68	4,4	0,15	0,13	4,69	23	4,8	2,4
015	Горизонтально-фрезерна Фрезувати бокові пов.2,11	1,46·2	2,4	0,03	0,05	0,2	2,68	5,6	0,2	0,17	5,96	23	6,075	3,03
020	Горизонтально-фрезерна Фрезувати пов.18	0,96·4	3,6	0,03	0,05	0,4	4,08	7,92	0,28	0,24	8,43	23	8,55	2,13
025	Копіювально-фрезерна Фрезувати заниження	2,64	1,2	0,1	0,05	0,1	1,38	4,12	0,14	0,12	4,39	21	4,5	4,5
030	Горизонтально-фрезерна Фрезувати скоси 3,4	0,5·2	2,4	0,03	0,05	0,2	2,68	3,68	0,13	0,11	3,92	23	4,04	2,02
035	Плоскошліфувальна 1.Шліфувати начорно пов.31 2.Шліфувати начисто пов.31	7,91·2 3,73·2 4,18·2	2,4	0,2	0,2	0,1	3,0	22,82	0,8	0,69	24,3	21	24,4	12,2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

MP 18-382.00.00

Арк.

78

Продовження таблиці 3.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
040	Горизонтально-розточна 1.Зенкування чорнове 2.Зенкувати начисто 3.Розвернути начорно 4.Розвернути начисто 5.Зенкувати фаску	3,04 0,63 0,63 0,9 0,82 0,06	2,4	0,09	0,15	0,6	2,84	5,88	0,24	0,24	6,36	18	6,44 1	6,44
045	Вертикально-свердлильна Свердлиги отв. 5-8	0,35	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	1,73	0,05	0,05	1,84	18	1,93 1	1,93
050	Вертикально-свердлильна Свердлиги отв. 9,10,19,20	0,35	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	1,73	0,05	0,05	1,84	18	1,93 1	1,93
055	Вертикально-свердлильна Свердлиги отв. 14-17	0,12	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	1,5	0,045	0,045	1,6	18	1,69 1	1,69
060	Вертикально-свердлильна 1.Свердлиги отв.45-47 2.Цикувати отв.36-38	0,22 0,2 0,02	1,2	0,03	0,05	0,2	1,48	1,7	0,05	0,05	1,81	18	1,9 1	1,9

Змн.	Ар к.	№ докум.	Підпис	Дата
------	----------	----------	--------	------

MP 18-382.00.00

Арк.

79

Закінчення таблиці 3.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
065	Вертикально-свердлильна Свердлили отв.23	0,08	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	1,46	0,04	0,04	1,56	18	<u>1,65</u>	1,64
070	Різенарізна Нарізати різь в отв.42-44	0,4	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	1,78	0,05	0,06	1,89	18	<u>1,98</u>	1,98
075	Різенарізна Нарізати різь в отв.14-17	0,42	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	1,81	0,05	0,06	1,93	18	2,04	2,04
080	Горизонтально-фрезерна Фрезувати паз 33	0,8	1,2	0,03	0,05	0,1	1,38	2,18	0,07	0,07	2,32	18	2,41	2,41
085	Вертикально-фрезерна Фрезувати паз 32 під кутом 10°	1,1	2,4	0,03	0,05	0,2	2,68	3,78	0,12	0,12	4,01	18	<u>4,12</u>	2,06

Змн.	Ар к.	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

MP 18-382.00.00

Арк.

80

## 4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1. Проектування технологічного оснащення.

#### 4.1.1. Вибір і обґрунтування принципу дії пристрою, структурної схеми.

Пристрій призначений для фрезерування нижньої площини 31 при одночасному кріпленні двох деталей. Пристрій використовується для оброблення заготовки на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6P13 торцевою фрезою.

Базування деталі в пристрої здійснюється на площину, протилежну площині оброблення, і бокові площини. В процесі фрезерування деталей пристрій повинен забезпечувати зручне і надійне встановлення заготовки, необхідну силу затиску.

Для полегшення умов роботи на робочому місці пристрій виготовляється механізованим із використанням елементів затиску пневмоприводу. Це також підвищує продуктивність праці за рахунок зменшення допоміжного часу.

Технічні вимоги для виготовлення запропонованого пристрою наведено на кресленні пристрою. Вони впливають із службового призначення пристрою і вимог до точності поверхонь, які обробляються при його використанні.

Наведемо кілька можливих схем компоновки пристрою. При цьому врахуємо, що базування в координатний кут, сила затиску направлена до упорної бази.

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>					81	10
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>				<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

Запропонований важільний механізм (рисунок 4.1, а) є простим за конструкцією. Він забезпечує постійність зусилля затиску. Цей механізм простий у виготовленні, практично безвідмовний, приводиться в дію пневмоциліндром. Збільшення зусилля здійснюється за важільним принципом.

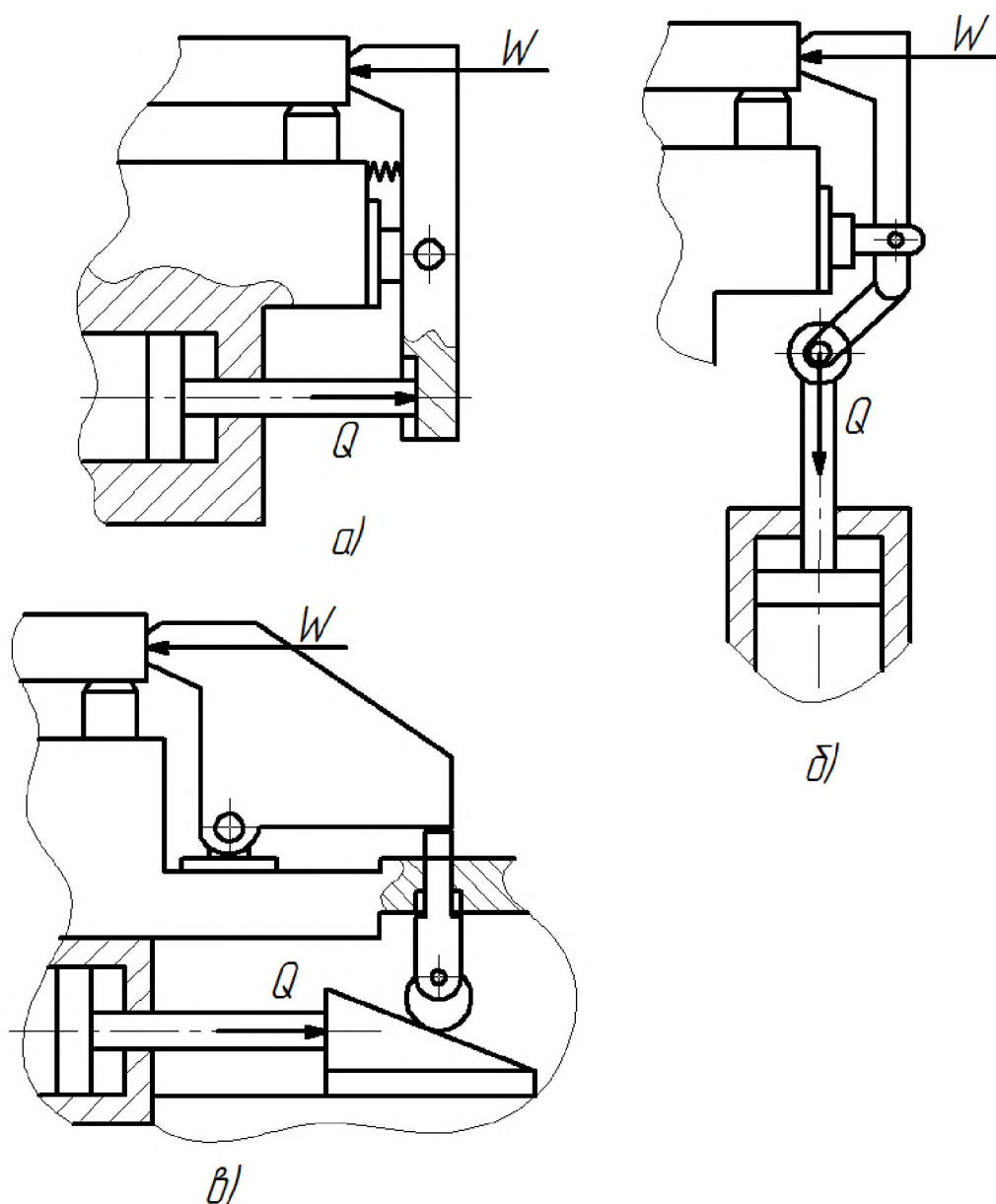


Рисунок 4.1 – Можливі схеми компоновки пристрою

Механізм, наведений на рисунку 4.1, б - клиновий з пневмоприводом. Він також забезпечує постійність сил затиску, компактний за конструкцією.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Проте, має деякий недолік на рахунок хорошого затиску від забруднення і попадання стружки.

Механізм, наведений на рисунку 4.1, в також є досить простим за конструкцією. Збільшення зусилля здійснюється за принципом важеля. Але такий механізм не забезпечує рівномірність сил затиску.

Проаналізувавши три варіанти, дійшли до висновку, що найдосконалішим є затискний механізм, представлений на рисунку 4.1, а.

#### 4.1.2. Силевий розрахунок параметрів приводу.

Для розрахунку зусилля закріплення розглянемо схему, подану на рисунку 4.2.

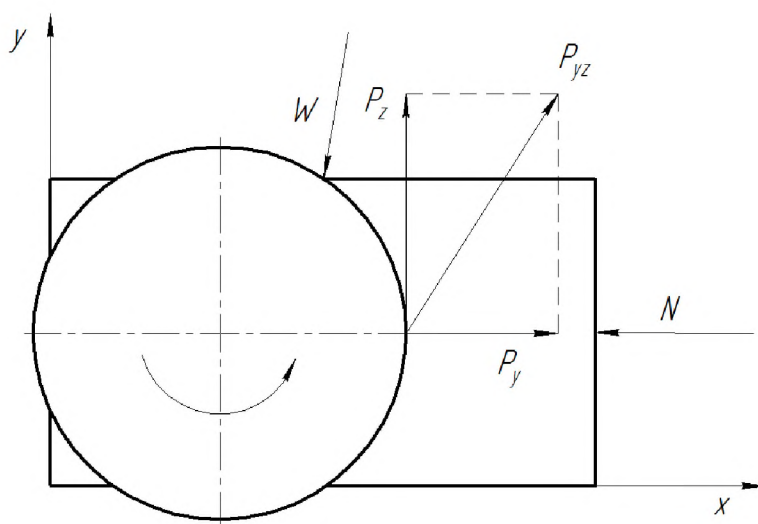


Рисунок 4.2 – Схема дії сил на даній операції

Згідно розрахунків режимів різання сила  $P_z = 2465$  Н на даній операції.

З усієї схеми сила затиску  $W = P_z = 2465$  Н.

Для розрахунку параметрів силового приводу зобразимо схему механізму затиску (рис. 4.3) із вказанням сил, які діють між її елементами.

Хід важільного механізму

$$S(P_z) = \Delta_{zap} + \Delta + P_z / i + \Delta S(P), \quad (4.1)$$



де  $\Delta_{\text{gap}} = 0,04$  мм – гарантований зазор для вільного встановлення заготовки;

$\Delta = 0,31$  мм – відхилення розміру заготовки;

$P_3 = W/2 = 2465/2 = 1233$  Н – сила затиску, яку здійснює один важіль;

$i = 2000$  Н/мм – жорсткість механізму;

$\Delta S(P) = 0,4$  мм – запас ходу важеля з врахуванням виготовлення механізму й зношення.

Отже,

$$S(P_3) = 0,4 + 0,31 + 1209/2000 + 0,4 = 1,7 \approx 2 \text{ мм.}$$

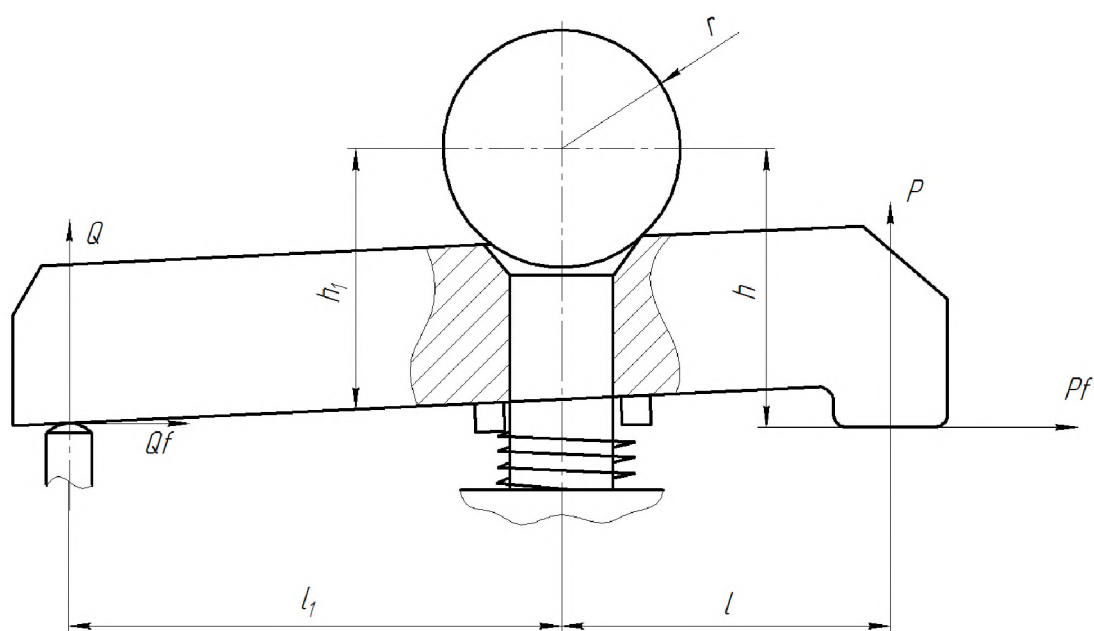


Рисунок 4.3 – Схема механізму затиску

Сила на штоці визначається за формулою:

$$Q = P_3 \cdot \frac{l + hf + rf_0}{l_1 + h_1 f_1 - rf_0} = 1233 \cdot \frac{50 + 70 \cdot 0,2 + 15,92}{55 - 60 \cdot 0,2 - 15,02} = 2096,1 \text{ Н,} \quad (4.2)$$

Хід приводу

$$S(Q) = S(P_3) \cdot l_1/l_2, \quad (4.3)$$

$$S(Q) = 2 \cdot 70/50 = 3 \text{ мм.}$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила, яку повинен розвивати пневмоциліндр:

$$Q = \frac{\pi D}{4} \cdot P \cdot \eta, \quad (4.4)$$

де  $D$  – діаметр циліндра;

$P$  – тиск повітря в пневмосистемі;  $P=0,4$  МПа;

$\eta=0,9$  – коефіцієнт корисної дії.

Далі визначаємо діаметр пневмоциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2096}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,9}} = 86,1 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D = 80$  мм, діаметр штока приймаємо з нормативного ряду  $d = 25$  мм [1].

#### 4.1.3. Розрахунок пристрою на точність.

На даній операції точність пристрою впливає на дотримання технологічного розміру від бази до оброблюваної поверхні, який рівний 25,3 мм. Сумарна похибка оброблення заготовки у пристрої з врахуванням рекомендацій [3] визначається за формулою:

$$\varepsilon = K \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_{p.n.}^2 + \varepsilon_{p.x.}^2 + \varepsilon_{\sigma}^2 + \varepsilon_s^2 + \varepsilon_{p.n.e.}^2 + \varepsilon_{n.d}^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{p.z.}^2 + \varepsilon_t^2 + \varepsilon_{3.n.}^2}, \quad (4.5)$$

де  $\varepsilon_B$  - похибка верстату в ненавантаженому стані;  $\varepsilon_B=0,03$  мм;

$\varepsilon_{p.n.} = 0,04$  мм – похибка розташування пристрою на верстаті;

$\varepsilon_{p.x.} = 0,02$  мм – похибка розташування установочних елементів;

$\varepsilon_{\sigma} = 0$  – похибка базування;

$\varepsilon_s = 0,09$  мм – похибка затиску;

$\varepsilon_{p.n.e.} = 0,03$  мм – похибка розташування напрямних елементів пристрою;

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\varepsilon_{n.d.} = 0,03$  мм – похибка пружних деформацій;

$\varepsilon_n = 0,02$  мм – похибка налагодження;

$\varepsilon_{p.z.} = 0,02$  мм – похибка розмірного спрацювання різального інструменту;

$\varepsilon_t = 0,02$  мм – температурна похибка;

$\varepsilon_{zn} = 0,02$  мм – похибка зношування;

$\kappa$  – коефіцієнт відносного розсіювання сумарної похибки, залежить від кількості складових розглянутої залежності, для нашого випадку  $\kappa = 1,0$ .

Отже, в даному випадку

$$\varepsilon = 1 \cdot \sqrt{0,03^2 + 0,04^2 + 0,02^2 + 0 + 0,09^2 + 0,03^2 + 0,03^2 + 0,02^2 + 0,02^2 + 0,02^2 + 0,02^2} = 0,128 \text{ мм.}$$

Допуск на оброблювані розміри по 11 квалітету точність становить для 25 мм  $T=0,15$  мм.

Отже,  $\varepsilon < T$  - пристрій забезпечує точність оброблення.

#### 4.1.4. Опис конструкції та роботи пристрою.

Пристрій складається із чавунного корпусу 1, в якому вмонтовано елементи кріплення і базування деталі, опори 12 7034-0376 ГОСТ 13442-68 і опори 3, планки 2 та 8-ми нижніх опор 7034-0281С ГОСТ 13440-68, які повинні бути розташовані в одній площині і мати не площинність не більше 0,02 мм на довжині 500 мм. Кріплення деталі здійснюється за допомогою 4-ьох прихватів 7, які утримуються на шпильках 6 та підпружинені пружинками Д81-1 2,5×22×50 (поз.18).

Шток 10 підтискає прихват 6 за допомогою поршня, який вмонтовано в пневмоциліндрі і забезпечує односторонній притиск деталі за рахунок подачі повітря в без штокову порожнину циліндра і, таким чином, здійснюється затиск деталей. Оскільки циліндри підключені до одного

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пневморозподілюючого крану, то затиск двох деталей здійснюється одночасно і забезпечує надійне кріплення.

#### 4.2. Розрахунок спеціального різального інструменту.

В процесі механічного оброблення деталі використовуємо стандартний різальний інструмент, за винятком свердлильних операцій, де застосовуємо свердла-ціківки комбіновані  $\varnothing 9/\varnothing 14$ ;  $\varnothing 6,6/\varnothing 12$ . Ці свердла-ціківки оснащені пластинками з твердого сплаву ВК8 і стандартизовані, тому додаткових розрахунків не проводимо. Для оброблення отвору  $\varnothing 40H7$  також використовуємо подовжені зенкера і розвертки, оснащені пластинками з твердого сплаву ВК8, які є стандартизованими, тому спеціальне проектування не проводимо. Для оброблення площини використовуємо фрези торцеві та дискові трьохсторонні з пластинками твердого сплаву ВК8 відповідного діаметру із стандартними геометричними параметрами, які не потребують додаткових конструктивних доробок. На гідрокопірувальній операції використовуємо кінцеву фрезу  $\varnothing 20$  мм, оснащену пластинками з твердого сплаву ВК8, яка має подовжену різальну частину та відповідні геометричні параметри, що зумовлюються стандартами на кінцеві фрези. Для прорізання пазів  $B=3$  мм застосовуємо швидкорізальні дискові прорізні фрези з крупним зубом. Матеріал різальної частини - Р6М5. Геометричні параметри стандартизовані. Для шліфування площини використовуємо шліфувальний круг форми ПП, який в процесі затуплення правимо спеціальними алмазними олівцями, встановленими в державочних оправках, які є стандартизованими.

#### 4.3. Розрахунок на точність контрольного пристрою.

Контрольний пристрій використовується для перевірки дотримання допуску паралельності осі отвору 22 до площини 31.

Пристрій складається з стола 1, до якого прикріплено за допомогою шпильки 8 і гайки 6 державку 2. Орієнтування державки здійснюється за

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою упору 4, запресованого в корпус. У верхній частині державки затиском гвинта 3 кріпиться індикатор із щупом. На контрольній плиті пристрій базується ніжками 5.

В отвір деталі встановлюємо контрольну оправку 6, яка має триступеневе базування залежно від розміру отвору. Тому допуск на розмір ділимо на 3, тобто  $\delta_3 = 25:3 = 8,3$  мкм, кожен діаметр ступені має наступні розміри з допусками:  $\varnothing 40,0083$ ;  $\varnothing 40,0166$ ;  $\varnothing 40,025$ .

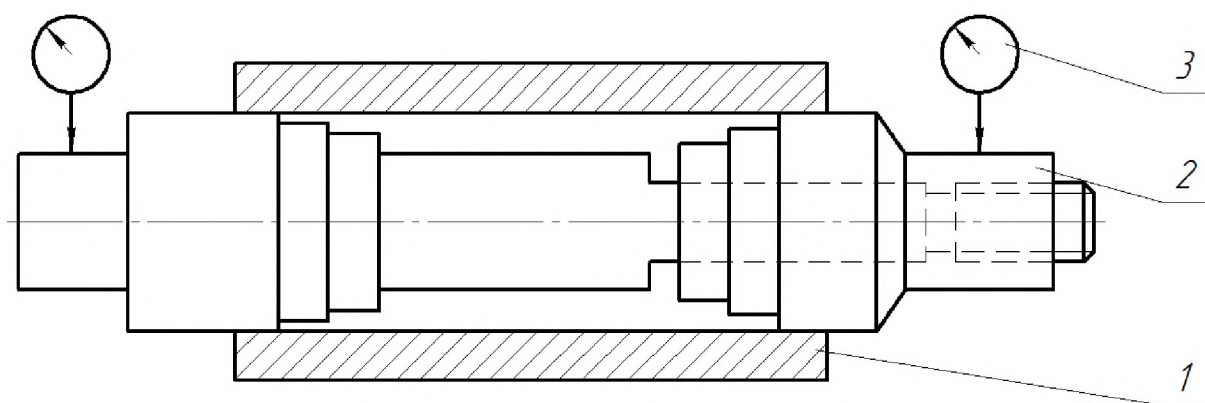


Рисунок 4.4 – Схема пристрою для контролю:

1 – деталь; 2 – оправка; 3 – індикатор

Оскільки приймаємо індикатор з ціною ділення  $Z = 0,002$  мм при допуску  $\Delta\delta = 0,01$  мм, то похибка вимірювання відсутня.

Розрахуємо на точність контрольний пристрій.

Розрахунок проведемо за формулою:

$$E_{\Sigma} = a \sqrt{E_i^2 \cdot E_6^2 \cdot E_3^2 \cdot E_{np}^2 \cdot E_{pn}^2 \cdot E_{zn}^2 \cdot E_{pni}^2 \cdot E_n^2 \cdot E_t^2}, \quad (4.6)$$

де  $a$  – поправочний коефіцієнт;

$E_i$  – похибка індикатора;

$E_6$  – похибка базування, оскільки конструкторська і вимірна технологічна база співпадають,  $E_6 = 0$ ;

$E_3$  – похибка укріплення індикатора на важелях [3, табл. 37, с. 183],

$E_3 = 0,012$  мм;

										Арк.
										88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$E_{np}$  – похибка розташування пристроїв [3, табл. 36, с. 182],  $E_{np} = 0,03$  мм;

$E_{pn}$  – похибка самого пристрою [3, табл. 37, с. 183],  $E_{pn} = 0,02$  мм;

$E_{zn}$  – похибка зношення;

$$E_{zn} = \beta \cdot N^n, \quad (4.7)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що залежить від типу виробництва [1, табл. 8, с. 36];

$N$  – річна програма випуску згідно завдання;

$n$  – коефіцієнт, що враховує вид установчих елементів [1, табл. 7, с. 36];

$\beta = 0,003$  мм,  $N = 30000$  шт.,  $n = 0,5$ ;

$$E_{zn} = 0,003 \cdot 30000^{0,5} = 0,098 \text{ мм};$$

$E_{pnn}$  – похибка розташування напрямних [1, с. 36];

$E_n$  – похибка налагодження [1, табл. 9, с. 37];

$E_t$  – похибка температурних деформацій [1, с. 41].

В нашому випадку приймаємо такі значення:

$a = 1,22$   $E_{p.n.} = 0,02$  мм;

$E_i = 0,012$  мм  $E_{z.n.} = 0,098$  мм;

$E_{\delta} = 0$  мм  $E_{pnn} = 0$  мм;

$E_z = 0,012$  мм  $E_n = 0,012$  мм;

$E_{np} = 0,03$  мм  $E_t = 0$  мм.

Отже, сумарна похибка

$$E_{\Sigma} = 1,22 \sqrt{0,012^2 \cdot 0,012^2 \cdot 0,03^2 \cdot 0,02^2 \cdot 0,098^2} = 0,016 \text{ мм}.$$

Висновок: спроектований контрольний пристрій забезпечує необхідну точність вимірювання.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.4. Розрахунок засобів автоматизації та механізації.

На дільниці цеху передбачаються конвеєри для транспортування стружки й передачі деталей із складу заготовок на кожне робоче місце. Для розрахунку конвеєра для переробки стружки приймаємо масу стружки рівною 10-15% від маси готової деталі.

Кількість стружки визначається:

$$Q = 5,5 \cdot 30000 \cdot 0,014 / 1000 = 0,31 \text{ т. стружки на рік.}$$

Якщо на 1 м<sup>2</sup> площі припадає 0,3-0,65 т стружки на рік, то рекомендується застосовувати лінійні конвеєри вздовж верстатної із спеціальною тарою в кінці конвеєра із заглибленнями на підйомнику. Заповнена стружкою тара вивозиться на накопичувану площадку або на дільницю перероблення стружки, де стружка брикетується в спеціальні брикети і вивозиться на пункт збирання металевих відходів.

Для подачі деталей на робоче місце використовуємо конвеєр періодичної дії, який приводиться в рух на вимогу працівника і по ньому пересувається тара, в якій укладено комплект деталей. За тару використовуються металеві ящики типу «Оргстанкинпром 1МП-2А», розміри 600×400×320, вантажопідйомністю 0,2т, яка встановлюється на спеціальних приймальних столиках біля кожного верстату.

Для перевезення деталей від одного робочого місця до іншого використовуємо каретку - оператор моделі С4057.26.-02, на якій встановлено ящик із деталями та використовуємо конвеєр, розташований на планувальній дільниці вздовж лінії оброблення та на дільниці складання. Швидкість переміщення транспортера приймаємо 50 м/хв.

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1. Огляд сучасного програмного забезпечення для топологічної оптимізації деталей.

Усе програмне забезпечення яке використовується в машинобудування поділяється на три основних групи: CAD, CAM, CAE.

CAD (Computer-Aided Design) – це програмний продукт для створення двовимірної та трьохвимірної проектування, їх модифікації, аналізу або оптимізації. Створення конструкторської та технологічної документації.

CAM (Computer-Aided Manufacturing) – це програмний продукт для підготовки технологічного процесу виготовлення та керуючих програм для верстатів з ЧПК.

CAE (Computer-Aided Engineering) – загальна назва для програмних продуктів або сукупності програмних продуктів призначених для різних інженерних задач: розрахунків, аналізу і симуляції фізичних процесів.

Більшість сучасних систем CAE інтегруються в CAD-системи, тоді виходять гібридні CAD/CAE-системи. Деякі CAD/CAE-системи реалізували методи топологічної оптимізації як модулі до своїх основних програмних

В магістерській роботі досліджено одні з найбільш вживаних CAD/CAE-систем котрі дозволяють топологічно оптимізувати деталь, а саме: ANSYS, SOLIDWORKS, Siemens NX, CATIA 3DEXPERIENCE та Autodesk Fusion 360.

ANSYS – багатофункціональна модульна система для проведення широкого спектру досліджень. Основними функціями є: статичний розрахунок, динамічний аналіз, тепловий розрахунок, акустичний розрахунок. Дозволяє моделювати деформацію конструкції під дією навантаження,

					<i>MP 18–382.00.00</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>				91	10
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>			<b>СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b> <i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТМ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>					



виникнення резонансів в конструкції, вплив вібрацій та гідродинамчний розрахунок. Бібліотека матеріалів містить як традиційні матеріали так і анізотропні – наприклад композити.

Дозволяється проводити оптимізацію двома методами, а саме: ESO-SIMP та Level-Set.

Можливо вибрати по якому параметру оптимізувати, а саме: обмеження по масі, об'єму, глобальних напруженнях по мізесу, локального напруження по мізесу, переміщенню, силі реакції, частоті резонансу, температурне та на відповідність певній формі.

Геометрію деталі можна імпортувати з систем CAD в форматі \*.STEP або \*.SLT. Також є можливість редагувати та створювати модель в модулі ANSYS SpaceClaim, модуль не дуже зручний для використання, тому перевага надається імпортуванню геометрії.

SOLIDWORKS – програмне забезпечення яке охоплює можливості CAD, CAM та CAE систем та дозволяє в одному середовищі проводити проектування, розрахунок на міцність та підготовлювати деталі до виготовлення.

Під час проведення топологічної оптимізації програма пропонує вибір однієї з трьох цілей:

- Найкраще відношення жорсткості до маси;
- Мінімізація зміщення при обмеженій масі;
- Мінімізація маси при обмеженні зміщення.

Siemens NX – універсальна комплексна система для проектування, інженерних розрахунків та підготовки керуючої програми для верстатів з ЧПК.

Топологічна оптимізації в рамках модуля NX CAE орієнтована на взаємодію деталей в вузлі. В робочий простір розміщується деталь, яку потрібно оптимізувати, потім до неї приєднуються інші деталі, які не будуть оптимізовуватись, але взаємодіють з деталлю для оптимізації. Зазначення кріплення та прикладених навантажень проводиться тільки в рамках збірки.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задаються також глобальні навантаження такі як прискорення та температура, які застосовуються для всієї моделі.

Доступно три типи оптимізації:

- Мінімізація енергії деформації під дією маси;
- Збільшення жорсткості деталей, зменшуючи масу до цільового значення;
- Кожний простір проектування має власну цільову масу.

CATIA 3DEXPERIENCE – CAD/CAE ситема складається із багатьох модулів, які називаються ролями. Це рішення для багатьох задач проектування, керування процесом розробки, симуляції та візуалізації. Одна з цих ролей - Functional Generative Designer, відповідає за топологічну оптимізацію.

Процес топологічної оптимізації в даній ролі відбувається наступним чином. Конструктор вводить вимоги та цільові показники, а алгоритм створює множину варіантів концепції. Після чого створені прототипи проходять розрахунок на міцність і порівнюються за ключовими показниками. Вибраними ключовими показниками можуть бути мінімізація податливості та мінімізація маси. Цільовими показниками можуть бути: жорсткість, маса, напруження та значення власних частот.

Результатом топологічної оптимізації являється фасетне тіло, яке потрібно згладити і допрацювати. Завдяки можливостям роботи CATIA зі складними поверхнями процес перетворення фасетного тіла в твердотільну модель стає простим та швидким.

Autodesk Fusion 360 – комплексний хмарний CAD/CAM/CAE інструмент для машинобудівного проектування. Програма розрахована для початківців, стартаперів та студентів, має зручний та інтуїтивний інтерфейс та знаходиться у вільному доступі для вище перелічених категорій осіб.

Топологічна оптимізація проводиться тільки по одному параметру – Зменшення маси на заданий відсоток при збереженні витрималості. Опрацювання результатів відбувається в хмарних сервісах компанії, що

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знижує системні вимоги машини EOM та збільшує швидкість розрахунків на слабких машинах.

Також Fusion 360 може читати файли усіх форматів компанії Autodesk та основні формати компаній SOLIDWORKS, Siemens NX, PTC Creo та інші часто вживані формати зберігаючи при цьому повну асоціативність.

## 5.2. Методи вирішення проблем «шахової дошки» в процесі топологічної оптимізації за допомогою САПР.

Ділянки у вигляді шахової дошки часто з'являються у результатах розрахунків методами SIMP та ESO що використовують метод скінченних елементів, що базуються на відносній густині (рис. 5.1)

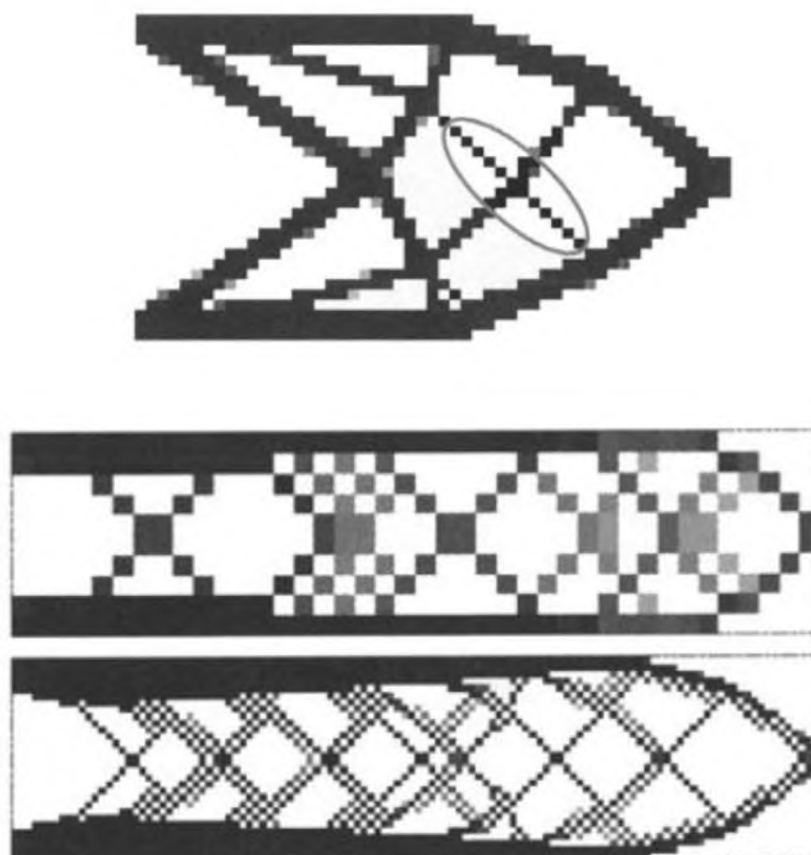


Рисунок 5.1 – Проблема «шахової дошки»

					MP 18–382.00.00	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У об'ємі «шахової дошки» щільність матеріалу яка призначена для суміжних скінченних елементів, вірюється періодично, оц похоче на шахматну дошку, яка складається з твердих та пустих елементів. Така проблема спостерігається також при просторовому розподілі тиску в аналізах скінченних елементах. Зрозуміло що проектування топології в шахматному порядку пов'язане з особливостями наближення сітки скінченних елементів до реальних розмірів, а також поганим чисельним моделюванням, що призводить до нескінченної жорсткості «шахової дошки».

Методи обмеження на геометрію (як правило з точки зору довжини межі), що дозволяють зменшити або видалити ефект «шахової дошки» не можуть бути використані при для досить тонкої сітки (вони можуть бути зроблені доволі ненадійно).

Є ситуації, коли не бажано застосовувати геометричні обмеження фіксованого розміру. Тоді коли бажано використовують чисельні методи для отримання поведінки оптимальної топології в досить малих масштабах, наприклад для макроскопічних представлень. Це має практичний інтерес при проектуванні структур з малим об'ємом, де можна отримати дуже корисну інформацію для проектування каркасних структур. Інша ситуація, коли геометричне обмеження небажане – це обчислення найменш навантажених топологій в структурах з композитних матеріалів. Також при вивченні пружних чи еластичних матеріалів коли це є частиною роботи механізму. Такі проблеми потрібно вирішувати використовуючи інші засоби, ніж геометричні обмеження.

Розглянемо методи вирішення проблем для 2D проектування вигляду плит, які можуть бути використані для уникнення випадків, коли геометричний масштаб не обмежується.

Для видалення ефекту «шахової дошки» застосовується стратегія контролю «шахової дошки» в сітці з 4-ох елементів прямокутної форми з сталими властивостями матеріалу в межах елемента. Таким чином, підтримуючи викристання елементів нижчого порядку. Кінцевим результатом

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є введення певного елемента вищого порядку, так як метод може привести до «супер-елементу» для функції густини та зміщення в 4-х сусідніх елементах. Прийнемо що вигляд площини оптимізації  $\Omega$  має прямокутну форму. Розіб'ємо ділянку за допомогою рівномірної сітки із квадратів, що містить 4 вузли iso-параметричних елементів  $K_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, 2M$ ,  $j = 1, \dots, 2N$ , де  $2M$  та  $2N$  кількість елементів на стороні прямокутника.

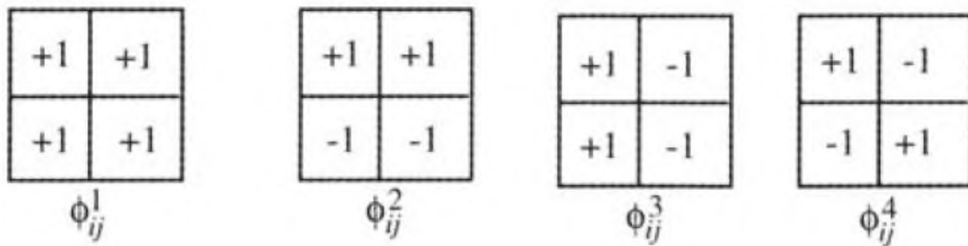
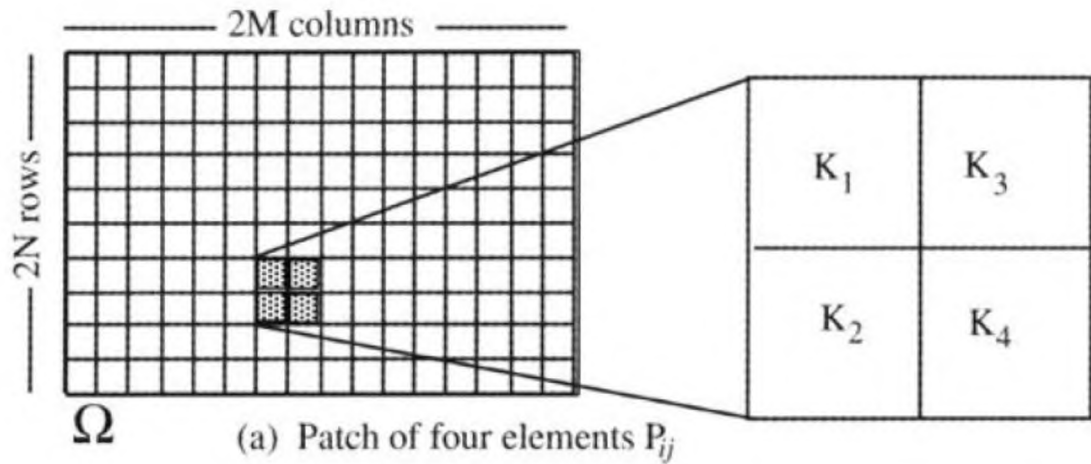


Рисунок 2.2 - Площина та базис-функція що використовується для контролю «шахової дошки»

Розглянемо площину  $P_{ij}$  для непарних значень  $i$  та  $j$  для чотирьох сусідніх елементів  $K_1 = K_{i,j}$ ,  $K_2 = K_{i+1,j}$ ,  $K_3 = K_{i,j+1}$  та  $K_4 = K_{i+1,j+1}$ , як показано на рис. 2.2.

$$P_{ij} = K_1 \cup K_2 \cup K_3 \cup K_4 \quad (2.1)$$

Пов'язані з  $P_{ij}$  вводимо базис-функції  $\phi_{ij}^1, \phi_{ij}^2, \phi_{ij}^3$  та  $\phi_{ij}^4$ , яка приймає значення  $\pm 1$  в  $P_{ij}$  згідно шаблону показаного на рис. 2.2, та нуловими значеннями за межами  $P_{ij}$ . З цього випливає що:

- функції  $\{\phi_{ij}^k\}$  являють собою ортогональну основу;
- «чиста» шахова дошка має форму  $u = \sum_{P_{ij}} u_{ij} \phi_{ij}^4$ .

Це говорить про те, що для того, щоб уникнути утворення «шахової дошки» нам потрібно обмежитися.  $\rho$  що лежить в більш обмеженому шахматному полі.

$$\bar{V} = \left\{ v \left| \begin{array}{l} v(x) = \sum_{P_{ij}} (v_{ij}^1 \phi_{ij}^1 + v_{ij}^2 \phi_{ij}^2 + v_{ij}^3 \phi_{ij}^3), (v_{ij}^1, v_{ij}^2, v_{ij}^3) \in R^3, \\ i = 1, 3, \dots, 2N - 1, j = 1, 3, \dots, 2M - 1 \end{array} \right. \right\} \quad (2.2)$$

Це обмеження  $\rho$  пов'язує чотири елементи в латку, а кількість матеріалу в  $K_1 \cup K_4$  рівна  $K_2 \cup K_3$  та складає половину від загального об'єму латки.

Об'єднання розподілу щільності ускладнює застосування звичайного ітеративного методу умови оптимальності. В ММА можна працювати безпосередньо з дизайном простору  $\bar{V}$ , використовуючи  $3MN$  параметри  $(v_{ij}^1, v_{ij}^2, v_{ij}^3)$  як конструктивні змінні. Це змінює прості приєднувальні обмеження  $0 \leq \rho \leq 1$  у величезну кількість лінійних обмежень на параметри  $v$  що робить цей варіант непрактичним. Замість цього більш прості операції, які були застосовані в різних проблемах, можуть бути використані для обох алгоритмів:

1. при кожній ітерації алгоритму оптимізації цільовий розмір параметрів в кожному елементі оновлюються за допомогою звичайного методу оновлення (оптимального критерію підходу або ММА кроку).

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Для кожної латки  $P_{ij}$  нехай  $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4\}$  густина буде оновлена в чотирьох квадрантах латки пов'язаними з поновленими цільовими розмірами. Потім ми шукаємо, як відправну точку для наступної ітерації, новий постійний шматок вільної «шахової дошки» густина розподілу в латці рівна  $\bar{\rho}$ , що визначається як:

$$\bar{\rho}(x) = \frac{1}{4}(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4)\phi^1 + \bar{v}_2\phi^2 + \bar{v}_3\phi^3, \quad x = P_{ij} \quad (2.3)$$

Дана вільна «шахова дошка»  $\bar{\rho}$  ( $\bar{v}_4 = 0$ ) та із збереженими властивостями матеріалу латки (як коефіцієнт  $\phi^1$  вибираємо  $\bar{v}_1 = \frac{1}{4}(\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4)$ ). Для визначення параметрів  $\bar{v}_2, \bar{v}_3$ , вибираємо  $\bar{\rho}$  як кращий  $L^2$  наближено до  $\rho$  в  $P_{ij}$  з обмеженнями що  $0 \leq \bar{\rho}_i \leq 1, i = 1, 2, 3, 4$ . Це відповідає QR проблемі з двома змінними з лінійними обмеженнями. Рішення можна знайти аналітично, як:

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_1 &= \frac{1}{4}(3\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 - \rho_4) \\ \bar{\rho}_2 &= \frac{1}{4}(\rho_1 + 3\rho_2 - \rho_3 + \rho_4) \\ \bar{\rho}_3 &= \frac{1}{4}(\rho_1 - \rho_2 + 3\rho_3 + \rho_4) \\ \bar{\rho}_4 &= \frac{1}{4}(-\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + 3\rho_4) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Якщо вартість задовольняє  $0 \leq \bar{\rho}_i \leq 1$ . Якщо  $\bar{\rho}_i$  перевищує значення 1, то встановлюється значення 1, а відповідна діагональна густина коригується для підтримки об'єму латки; від'ємні значення обробляються аналогічним чином і мають значення 0. Дана модифікація густини ґрунтується на фільтрації в після обробці, крок який викликається на кожному етапі процедури оптимізації і тому, її потрібно використовувати з деякою обережністю. Зауважимо, що він

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не порушує області домену, де не потрібне використання контролю «шаховою дошкою», а також ще раз зауважуємо, що метод відповідає введенню «супер-елемента» з чотирьох Q4 елементів із загальною кількістю 9 переміщень вузлових точок та з 3-ма ступенями свободи для наближення густини. Таким чином, метод підтримує більшу роздільну здатність густини. Порівняно, скажімо, з підходом використання елементів Q9 для переміщень та помірної постійної густини  $\rho$ .

Альтернативою вищеописаній процедурі є виконання змінних, що дозволяє безпосередньо працювати з вільними конструкціями «шахових дошок». Беручи за основу wavelet-based параметризацію, введемо в прострі «шахових дошок» змінну  $\bar{W} = \{w \in \bar{V}\}$ . На змінну  $w(x)$  не накладаємо жодних обмежень та перетворюємо його на щільність, що задовольняє межі  $0 < \bar{\rho} < 1$

$$\rho(x) = h(w(x)), \text{ якщо } h(w) = \frac{\arctan(w)}{\pi} + \frac{1}{2} \quad (2.5)$$

де  $h$  строго зростаюча функція, яка буде складати карти вільних «шахових дошок» для допоміжної змінної  $w$  в ділянки густиною  $\rho$ .

При оптимізації змінні  $(w_{ij}^1, w_{ij}^2, w_{ij}^3)$  потім стають проектними змінними. Для реалізації потрібна інформація про чутливість стосовно цих змінних, але ця інформація може бути отримана від сенситивності  $\rho(x)$  шляхом застосування правила ланцюга. Обмеження обсягу стає нелінійною функцією в допоміжних змінних, але це не створює труднощів. Нарешті, зазначається, що обмеження поля на допоміжні змінні перенавантажує ММ А (як у більшості математичних програмувань алгоритми), і вони можуть бути обрані досить великими, щоб не впливати на результати; також можна використовувати накладений  $w_{\min}$ , щоб відповідати бажаному значенню  $\rho_{\min}$ , але це не критично.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Отже, запропоновані вище методи залежать від нарощування сітки 2 на 2 елементи в прямокутнику. У кожному такому прямокутнику «шахові дошки» видаляються, але між ділянками шахівниці можливі, якщо номер рядка чи стовпця у верхньому лівому кутку рівний. Це також означає, що можуть виникати шаблони окремих елементів, але великі площі «шахових дошок» неможливі.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						100
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 6. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### 6.1. Визначення річної потреби в технологічному обладнанні. Складання зведеної відомості обладнання.

В умовах крупносерійного виробництва необхідна кількість устаткування і спорядження розраховується за типами устаткування:

$$n_p = \frac{T_p}{\Phi_{\partial o} \cdot K_{\epsilon}}, \quad (6.1)$$

де  $T_p$  – річна працемісткість робіт з даного типу верстатів, год.;

$\Phi_{\partial o}$  – дійсний річний фонд часу роботи одиниці устаткування, год.;

$K_{\epsilon}$  - коефіцієнт, який враховує перевиконання норм ( $K_{\epsilon} = 1,1$ ).

$$\Phi_{\partial o} = D_p \cdot T_{om} \cdot n \left(1 - \frac{j}{100}\right), \quad (6.2)$$

де  $D_p$  – число робочих днів у році;

$T_{om}$  - тривалість роботи зміни;

$n$  – число змін;

$j$  - простої устаткування в ППР (приймаємо  $j = 3\%$ ).

$$\Phi_{\partial o} = 255 \cdot 8 \cdot 2(1 - 3/100) = 3958 \text{ год.}$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження устаткування:

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ласько В.Р.			<b>ПРОЕКТНА ЧАСТИНА</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Данильченко Л.М.					101	12
Реценз.		Ярема І.Т.				<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТМ-61</i>		
Н. контр.		Ткаченко І.Г.						
Затверд.		Пилипець М.І.						

$$K_3 = \frac{n_p}{n_{np}}, \quad (6.3)$$

де  $n_p$  – розрахункова кількість устаткування;

$n_{np}$  – прийнята кількість устаткування.

Таблиця 6.1 - Розрахунки річної працездатності виробничої програми

№ п/п	Показники	Види обробки						
		Фрезерна			Шліфу- вальна	Розточ- на	Різена- різна	Сверд- лильна
		Вертик.	Горизонт.	Копіюв.				
1	Час, $T_{шт.-к.}$ , хв.	4,42	12	4,5	12,2	6,44	4,02	10,72
2	Розрах. кількість верстатів	0,65	1,74	0,70	1,77	0,93	0,63	1,56
3	Прийн. кількість верстатів	1	2	1	2	1	1	2
4	Коеф. заванта- ження	0,65	0,87	0,70	0,89	0,93	0,63	0,78
5	Кількість операцій	2	5	1	1	1	2	5

Графік завантаження металорізальних верстатів представлено на рис.6.1.

## 6.2. Вибір типу і розрахунок кількості вантажопідіймальних і транспортних засобів.

Результати розрахунків необхідної кількості основного, допоміжного й піднімально-транспортного устаткування заносимо у зведену відомість (табл. 6.2), у якій підраховується вартість устаткування, встановлена потужність електродвигунів і категорії ремонтної складності.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вартість устаткування підраховуємо за цінами, наявним на підприємстві. Витрати на транспортування й монтаж устаткування приймаємо в розмірі 10-15% від його вартості згідно прейскуранту.

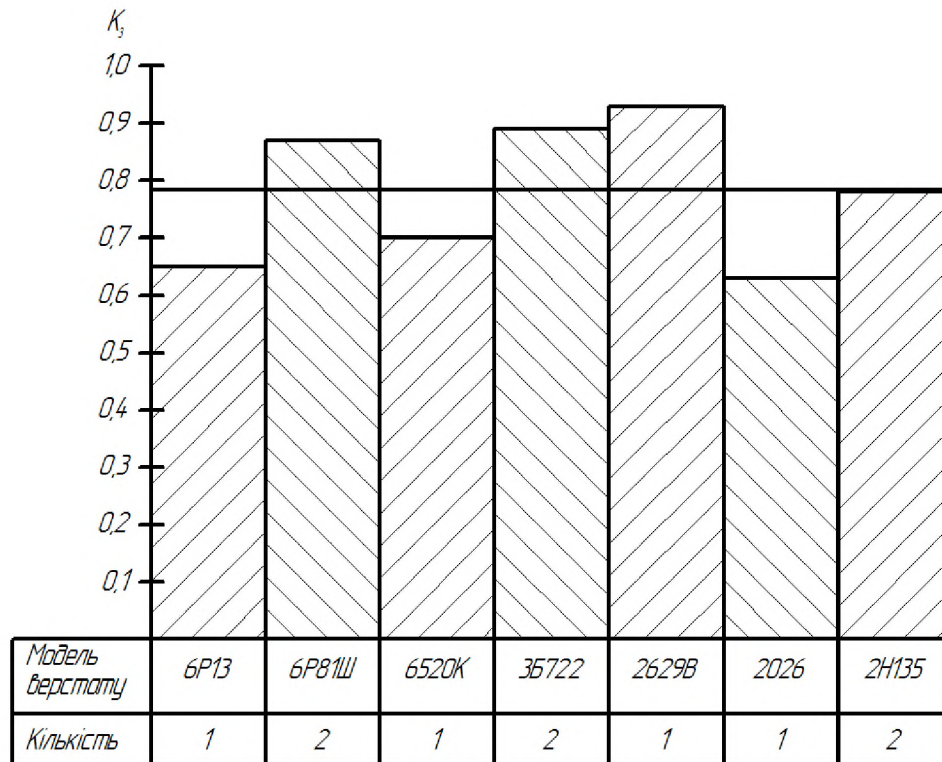


Рисунок 6.1 - Графік завантаження металорізальних верстатів

### 6.3. Розрахунки чисельності промислово-виробничого персоналу.

#### 6.3.1 Розрахунки дійсного річного фонду часу.

Дійсний річний фонд часу дорівнює:

$$\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{j}{100}\right), \quad (6.4)$$

де  $\Phi_{\text{н}}$  – номінальний річний фонд часу, год.;

$j$  – плановані невиходи на роботу, % (приймаємо 10%).

Тоді

$$\Phi_{\text{д}} = 255 \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 10/100) = 3672 \text{ год.}$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 - Зведена відомість необхідної кількості устаткування і його вартості

Найменування устаткування	Модель	Кількість	Вартість одиниці згідно прейскуранту, тис. гр. од	Вартість необхідної кількості устаткування, тис. гр. од.			Встановлена потужність, кВт		Категорія ремонтної складності	
				згідно прейскуранту	транспортування і монтаж	разом	одиниці	разом	одиниці	разом
Основне устаткування	6P13	1	75	75	7,5	82,5	13	13	40	40
	6P81Ш	2	120	240	24,0	264	7	14	40	80
	6550К	1	90	90	9,0	99	16,5	16,5	40	40
	3Б722	2	120	240	24,0	264	17	32	45	90
	2629В	1	150	150	15,0	165	10	10	50	50
	2026	1	40	40	4,0	44	4	4	35	35
	2Н135	2	30	60	6,0	66	4	8	30	60
Разом		10		895	89,5	984,5		97,5		395
Піднімально-транспортне устаткування	Кран мостовий	1	42	42	4,2	46,2	20	20	40	40
	Передачочний візок	1	2,5	2,5	0,25	2,75	-	-	-	-
Разом	-	12		939,5	93,95	1033,5		117,5		435

### 6.3.2. Розрахунки чисельності виробничих робітників.

На дільницях технологічної спеціалізації кількість виробничих робітників визначається, виходячи з наявності робочих місць і розраховується по кожній професії й розряду за формулою:

$$R_{\text{яб}} = \frac{T_p}{\Phi_{\text{д}} \cdot K_e \cdot K_{\text{бо}}}, \quad (6.5)$$

де  $T_p$  – річна працемісткість робіт із професії та розряду, год.;

$\Phi_{\text{д}}$  – дійсний річний фонд часу робітника, год.;

$K_e$  – коефіцієнт виконання норм часу, ( $K_e=1,1$ );

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_{бо}$  – коефіцієнт багатостатного обслуговування, ( $K_{бо} = 1$ ).

$$R_{яв} \text{ фрезерувальника} = (2210+6000+2250)/(3672 \cdot 1,1 \cdot 1) = 3,23;$$

приймаємо  $R_{яв}$  фрезерувальника = 4 чол.

$$R_{яв} \text{ шліфувальника} = 6100/(3672 \cdot 1,1 \cdot 1) = 1,47;$$

приймаємо  $R_{яв}$  шліфувальника = 2 чол.

$$R_{яв} \text{ розточника} = 3220/(3672 \cdot 1,1 \cdot 1) = 0,77;;$$

приймаємо  $R_{яв}$  розточника = 1 чол.

$$R_{яв} \text{ різенарізника} = 2010/(3672 \cdot 1,1 \cdot 1) = 0,48;$$

приймаємо  $R_{яв}$  різенарізника = 1 чол.

$$R_{яв} \text{ свердлувальника} = 5360/(3672 \cdot 1,1 \cdot 1) = 1,30;$$

приймаємо  $R_{яв}$  свердлувальника = 2 чол.

Розраховуємо середній тарифний коефіцієнт виробничих робітників дільниці механічного цеху:

$$K_0 = \frac{\sum K \cdot R_{яв}}{\sum R_{яв}}, \quad (6.6)$$

де  $K$  – тарифні коефіцієнти відповідних розрядів;

$R_{яв}$  – явочна кількість робітників відповідних розрядів.

$$K_0 = \frac{1,62 \cdot 4 + 1,458 \cdot 2}{5} = 1,59.$$

Таблиця 6.3 – Зведена відомість чисельності виробничих робітників

Найменування професії	Розряд	Явочна кількість виробн. робітників	Облікова кількість виробничих робітників
Фрезерувальник	4	4	8
Шліфувальник	4	2	4
Розточник	4	1	2
Різенарізник	3	1	2
свердлувальник	3	2	4
Разом:	-	10	20

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

Таблиця 6.4 - Тарифна сітка

Розряд	I	II	III	IV	V	VI
Тарифний коефіцієнт	1,0	1,1	1,35	1,5	1,7	2,0
- верстатного робітника, гр. од./год.	108,0	118,8	145,8	162,0	183,6	216,0
- не верстатного робітника, гр. од./год.	102,0	112,2	137,7	153,0	173,4	204,0

### 6.3.3. Розрахунки чисельності допоміжних робітників, інженерно-технічних працівників (ІТП) та МОП.

Кількість допоміжних робітників визначають у відсотках від загальної кількості робітників дільниці. Для крупносерійного виробництва не повинно перевищувати 35-50%. Чисельність ІТП і службовців визначається за встановленими нормативами на основі розробленої схеми керування дільницею, а також з урахуванням практичних даних заводу, за умови, що кількість ІТП не повинна перевищувати 10-15%, а МОП 2-3% від загальної чисельності робітників дільниці згідно даних [13, с.11, табл.4].

Зведену відомість чисельності допоміжних робітників, ІТП і МОП (по кожній категорії окремо) представлено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 - Відомість складу працюючих механічної дільниці

Категорія працюючих	Кількість працівників	Місячний оклад, гр. од
Допоміжні робітники	8	8500
ІТП	3	7800
МОП	1	7300
Разом	12	-

### 6.4. Розрахунки необхідної виробничої площі та побудова схеми планування дільниці.

У склад механічного цеху, крім дільниць механічного обладнання, входять також допоміжні відділення і комори, до числа яких можна віднести:

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- а) заточувальне відділення;
  - б) цехова ремонтна база (ЦРБ);
  - в) відділення для відведення та перероблення стружки;
  - г) відділення для приготування МОР і склад мастил;
  - д) пункти відділу технічного контролю;
  - е) підсистема електропостачання, постачання стисненого повітря та забезпечення мікроклімату;
  - ж) склад заготовок;
  - ж) заготівельне відділення;
- Площа механоскладальної дільниці.

Знаходимо питому площу на відповідні моделі верстатів згідно рекомендацій:

- середні верстати – 25м<sup>2</sup>;
- великі верстати - 30м<sup>2</sup>;
- дрібні верстати – 10-12м<sup>2</sup>.

Таблиця 6.6 - Визначення питомої площі дільниці

№ п/п	Назва верстату	Модель	Кількість	Питома площа, м <sup>2</sup>	Сумарна площа, м <sup>2</sup>
1	Вертикально-фрезерний	6P13	1	25	25
2	Горизонтально-фрезерний	6P81Ш	2	25	50
3	Копіювальню фрезерний	6520K	1	25	25
4	Плоскошліфувальний	3Б722	2	25	50
5	Горизонтально-розточний	2620B	1	35	35
6	Різенарізний	2026	1	20	20
7	Вертикально-свердлильний	2Н135	2	25	50
8	Слюсарний верстак	СД3701-06	8	10	80
Всього			18		335

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107



а) Заточувальне відділення.

В основну площу відділення входить площа, на якій розташовано заточувальне обладнання, у допоміжну – площа для зберігання креслень інструменту, що заточується, і площа для зберігання абразивного інструменту та пристроїв для верстатів дільниць. Питома загальна площа цього відділення складає 10-12м<sup>2</sup> на 1 верстат. Загальна площа відділення:

$$S_3 = (10 \div 12) \cdot 6 = (60 \dots 72) \text{ м}^2,$$

приймаємо  $S_3 = 65 \text{ м}^2$ .

Заточувальне відділення потрібно розміщувати суміжно з інструментальною коморою.

б) Цехова ремонтна база.

Загальна площа ЦРБ визначається з розрахунку 27÷30м<sup>2</sup> на один верстат.

$$S_{\text{ЦРБ}} = 30 \cdot 3 = 90 \text{ м}^2$$

Додатково виділяється площа для складу запасних частин в межах 25-30% від площі бази, а також відділення для ремонту електрообладнання в межах 25-30% від площі бази:

$$S_C = 0,3 \cdot 90 = 27 \text{ м}^2;$$

$$S_E = 0,3 \cdot 90 = 27 \text{ м}^2;$$

$$\sum S_{\text{ЦРБ}} = S_{\text{ЦРБ}} + S_C + S_E = 90 + 27 + 27 = 144 \text{ м}^2.$$

в) Відділення для відведення та перероблення стружки.

Площа відділення для відведення та перероблення стружки визначається залежно від кількості виробничого обладнання механічної дільниці за відповідними нормативними даними. Згідно рекомендацій приймаємо площу відділення  $S_{\text{СТР}} = 90 \text{ м}^2$ .

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) Відділення для приготування МОР і склад мастил.

Площа відділення для приготування мастильно-охолоджувальних рідин визначається залежно від кількості виробничого обладнання механічного цеху за відповідними нормативними даними. Згідно рекомендацій [13, с.15, табл.7] приймаємо площу відділення  $S_{MOP} = 60 \text{ м}^2$ .

В цілях протипожежної безпеки відділення розміщується біля зовнішньої стіни будівлі і має безпосередній вихід назовні.

д) Пункти відділення технічного контролю.

Пункти ВТК є частиною загальнозаводського відділу технічного контролю. Площу пунктів визначають укрупнено за відсотковим відношенням до верстатної площі:

$$S_{ВТК} = (0,03...0,05)S_B \quad (6.7)$$

$$S_{ВТК} = (0,03 \div 0,05) \cdot 2380 = (71,4 \div 119) \text{ м}^2$$

Приймаємо  $S_{ВТК} = 90 \text{ м}^2$ .

Контрольне відділення розміщується в цеху на шляху руху деталей в складальну дільницю, перед проміжною коморою.

е) Підсистема електропостачання, постачання стисненого повітря та забезпечення мікроклімату.

Для забезпечення обладнання електроенергією в цехах передбачають по одній трансформаторній підстанції на кожні  $5000 \text{ м}^2$  виробничої площі, оскільки виробнича площа цеху  $S_B = 2380 \text{ м}^2$ , то приймаємо одну трансформаторну підстанцію загальною площею  $S_T = 50 \text{ м}^2$  [12].

Для забезпечення виробництва стисненим повітрям передбачаються площі для розміщення компресорних установок. Розміри площ визначають за співвідношенням:

$$S_K = (0,006...0,008) \cdot S_B \quad (6.8)$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно

$$S_K = 0,006 \cdot 2380 = 14,3; \text{ приймаємо } 15 \text{ м}^2.$$

Для забезпечення мікроклімату та чистоти повітря цехи обладнують притоковою та витяжною вентиляцією. Загальну площу під вентиляційне обладнання визначають за співвідношенням:

$$S_{\text{ВЕНТ}} = (0,005 \dots 0,0075) \cdot S_B \quad (6.9)$$

Відповідно

$$S_{\text{ВЕНТ}} = 0,006 \cdot 2380 = 14,3; \text{ приймаємо } 15 \text{ м}^2.$$

Загальна площа підсистем електропостачання, постачання стисненого повітря та забезпечення мікроклімату дорівнює:

$$\sum S_{\text{Т.К.ВЕНТ}} = 50 + 15 + 15 = 80 \text{ м}^2.$$

ж) Склад заготовок.

Розрахунок площі комори ведемо за формулою:

$$S_{\text{СК}} = \frac{Q \cdot t}{D_p \cdot \partial \cdot \kappa}, \quad (6.10)$$

де  $Q$  – маса заготовок, які обробляються в цеху за рік, т;

$t$  – норма зберігання заготовок, днів;

$D_p$  – кількість робочих днів в році;

$\partial$  – норма середньої навантаженості площі, т/м<sup>2</sup>;

$\kappa$  – коефіцієнт використання площі комори.

$$S_{\text{СК}} = \frac{5320 \cdot 3}{254 \cdot 3 \cdot 0,6} = 34,9^2 \text{ м}^2;$$

приймаємо  $S_{\text{СК}} = 35 \text{ м}^2$ .

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з) Заготівельне відділення.

Згідно рекомендацій приймаємо кількість обладнання – 6 од. Питому площу на одиницю приймаємо 25 м<sup>2</sup>. Відповідно площа заготівельного відділення дорівнює:

$$S_3 = 6 \cdot 25 = 150 \text{ м}^2.$$

За результатами розрахунку площ всіх відділень цеху складаємо відомість площ цеху за відповідною формою [13]. Площу магістральних проїздів приймаємо 12% від площі всіх відділень цеху. Всі значення зводимо у розрахункову відомість площ цеху (таблиця 6.7).

Таблиця 6.7 – Розрахункова відомість площ цеху

№ п/п	Назва відділення	Площа, м <sup>2</sup>
1.	Механічне	2380
2.	Складальне	335
3.	Заточувальне	65
4.	Цехова ремонтна база	144
5.	Відведення та переробки стружки	90
6.	Приготування МОР, склад мастил	60
7.	Пункти відділу технічного контролю	90
8.	Підсистема електропостачання, постачання стисненого повітря та забезпечення мікроклімату	80
9.	Склад заготовок	35
10.	Заготівельне	150
11.	Площа цеху	2802
12.	Магістральні проїзди	560
13.	Загальна площа цеху	3138

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

Згідно рекомендацій [13] загальну площу службово-побутових приміщень приймаємо рівною 25% площі цеху. Отже

$$S_{СПП} = 3138 \cdot 0,25 = 785 \text{ приймаємо } 785 \text{ м}^2.$$

### 6.5. Вибір типу приміщень, компоновка цеху, планування ділянки.

Під цех вибираємо приміщення, яке збирається із стандартних секцій  $72 \times 18 \text{ м}$ .

Необхідна кількість секцій визначається за формулою:

$$П = \frac{S_{заг}}{S_{сек}}, \quad (6.11)$$

де  $S_{заг}$  – загальна площа цеху (без адміністративно-побутових приміщень)  $\text{м}^2$ ;

$S_{сек}$  – площа однієї секції розміром  $72 \times 18 \text{ м}$ .

$$П = \frac{3138}{1296} = 2,4.$$

Приймаємо 3 секції на невикористаній частині ( $750 \text{ м}^2$ ) розміщуємо ділянки по виготовленню іншої продукції.

Сітку колон приймаємо рівною  $12 \times 18 \text{ м}$ .

Технологічний план ділянки, цеху наведено у графічній частині проекту.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 7.1. Визначення технологічної собівартості виготовлення корпусу.

#### 7.1.1. Техніко-економічне обґрунтування способу одержання заготовки.

Вартість основних матеріалів визначається, виходячи з вартості заготовки (з урахуванням транспортно-заготівельних витрат) за винятком зворотних сум за реалізовані відходи за формулою:

$$M = C_3 - C_o, \text{ гр. од.}, \quad (7.1)$$

де  $C_3$  - вартість заготовки (з урахуванням транспортно-заготівельних витрат), гр. од.

$C_o$  - вартість відходів, гр. од.

$$C_3 = g_3 \times C_3 \times K_{m3}, \text{ гр. од.}; \quad (7.2)$$

$$C_o = g_o \times C_o, \text{ гр. од.}, \quad (7.3)$$

де  $g_3, g_o$  - відповідно маса заготовки і маса відходів на 1 деталь, кг;

$C_3, C_o$  - відповідно ціна 1 кг заготовки і 1 кг відходів, гр. од.;

$K_{m3}$  - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати (приймається 1,03 - 1,05).

$$C_3 = 19,6 \times 6,92 \times 1,04 = 141,0 \text{ гр. од.};$$

$$C_o = 1,42 \times 3,5 = 5,0 \text{ гр. од.};$$

$$M = 141,0 - 5,0 = 136 \text{ гр. од.}$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>					113	13
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>				<i>ТНТУ, каф.ТМ, гр. МТМ-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

Розрахунки вартості основних матеріалів наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Розрахунки вартості основних матеріалів

Технологічна характеристика	Показник
1. Марка матеріалу	СЧ20
2. Маса заготовки	6,92
3. Ціна матеріалу 1 кг заготовки	19,6
4. Вартість заготовки	141,0
5. Маса деталі	5,5
6. Маса відходів	1,42
7. Ціна 1 кг відходів	3,5
8. Вартість відходів	5,0
9. Вартість основних матеріалів	136,0

**7.1.2. Визначення фонду заробітної плати виробничих робітників і величини їх середньомісячного заробітку.**

Повний фонд заробітної плати виробничих робітників складається з основної і додаткової заробітної плати:

$$Z_z = Z_{op} + Z_{доп.р} + Z_{догр}; \text{гр. од.}, \quad (7.4)$$

де  $Z_{op}$  - річний фонд основної заробітної плати виробничих робітників, гр. од.; визначається за формулою:

$$Z_{op} = Z_o \times N_{np}, \text{гр. од.}; \quad (7.5)$$

де  $Z_o$  - основна заробітна плата виробничих робітників на деталь, визначається за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n (P_{cd} \cdot K_{mn}), \text{ гр. од.}, \quad (7.6)$$

де  $K_{mn}$  - коефіцієнт багатостатного обслуговування.

Розрахунки основної зарплати на виготовлення деталі представлено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 - Розрахунки основної зарплати на деталь

№ операції	Назва операції	Розцінка відрядна, гр. од.	Коефіцієнт багатостатності	Фонд основної зарплати на деталь
1	2	3	4	5
005	Вертикально-фрезерна	2,61	1	2,61
010	Горизонтально-фрезерна	1,29	1	1,29
015	Горизонтально-фрезерна	2,19	1	2,19
020	Горизонтально-фрезерна	1,44	1	1,44
025	Копірувально-фрезерна	3,96	1	3,96
030	Горизонтально-фрезерна	0,75	1	0,75
035	Плоско-шліфувальна	11,94	1	11,94
040	Горизонтально-розточна	4,56	1	4,56
045	Вертикально-свердлильна	0,525	1	0,525
050	Вертикально-свердлильна	0,525	1	0,525
055	Вертикально-свердлильна	0,18	1	0,18
060	Вертикально-свердлильна	0,33	1	0,33
065	Вертикально-свердлильна	0,12	1	0,12



070	Різенарізна	0,6	1	0,6
075	Різенарізна	0,63	1	0,63
080	Горизонтально-фрезерна	1,2	1	1,2
085	Вертикально-фрезерна	1,65	1	1,65
Разом				34,5

Отже,  $Z_o = 34,5$  гр. од.

За формулою (7.4) визначимо річний фонд основної зарплати виробничих робітників:

$$Z_{op} = 34,5 \times 30000 = 1035000 \text{ гр. од.}$$

Додаткова заробітна плата основного робітника на деталь визначається за формулою:

$$Z_{дон} = Z_o \times K_{дон}, \text{ гр. од.}, \quad (7.7)$$

де  $K_{дон}$  - коефіцієнт, який враховує оплату відпустки, виконання службових обов'язків і інші виплати, передбачені законодавством про працю за невідпрацьований виробничий час. Приймається  $K_{дон} = 0,17$  (за даними базового підприємства);

$$Z_{дон} = 34,5 \times 0,17 = 5,87 \text{ гр. од.}$$

Річний фонд додаткової зарплати дорівнює:

$$Z_{дон,p} = Z_{дон} \times N_{пр}, \text{ гр. од.}; \quad (7.8)$$

$$Z_{дон,p} = 5,87 \times 30000 = 175950 \text{ гр. од.},$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $Z_{догр}$  - заробітна плата робітників за довантаження верстатів з інших дільниць,

$$Z_{догр} = \Sigma Q_{догр} \cdot Cч \times K_{догр}, \text{ гр. од.}, \quad (7.9)$$

де  $K_{догр}$  - коефіцієнт довантаження,  $K_{догр} = 1,17$ ;

$Q_{догр}$  - працемісткість,  $Q_{догр} = 4710,2$  н-год.;

$$Z_{догр} = 4710,2 \times 1,63 \times 1,17 = 8982,8 \text{ гр. од.}$$

Визначимо повний фонд заробітної плати виробничих робітників за формулою (7.3):

$$Z_p = 1035000 + 175950 + 8982,8 = 1219933 \text{ гр. од.}$$

Середньомісячна зарплата виробничих робітників визначається за формулою :

$$Z_{cp} = \frac{Z_p \cdot K_{м.з}}{\Sigma P_{пп} \cdot 12}, \text{ гр. од.} \quad (7.10)$$

де  $K_{м.з}$  – коефіцієнт, враховуючий виплати з фонду матеріального заохочення.

$$Z_{cp} = \frac{1219933 \cdot 1,05}{17 \cdot 12} = 627,9 \text{ гр. од.}$$

Відрахування на соціальні заходи (у пенсійний фонд до фонду сприяння і зайнятості, соціального страхування, фонд охорони праці) визначається згідно ставок, затверджених за встановленими нормами про оподатковування до фонду споживання на деталь.

Сума відрахувань у перераховані фонди з розрахунку на деталь дорівнює:

$$O_{соц} = \frac{(Z_o + Z_{доп}) \cdot \%O_{соц}}{100}, \text{ гр. од.} \quad (7.11)$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\%O_{соц}$  - відсоток відрахувань на соціальні заходи,  $\%O_{соц} = 37,5\%$ ;

$$O_{соц} = \frac{(34,5 + 5,87) \cdot 37,5}{100} = 15,14 \text{ гр. од.}$$

### 7.1.3. Розрахунки накладних витрат.

#### 7.1.3.1. Розрахунки загальновиробничих витрат.

Ці витрати містять у собі амортизацію обладнання, транспортних засобів і коштовного інструменту; витрати на допоміжні матеріали; вартість силової електроенергії, стисненого повітря; заробітну плату наладчиків з відрахуваннями до фонду соціального страхування; витрати на поточний ремонт устаткування, транспортних засобів і коштовного інструменту, витрати на інструмент та інші витрати.

Також до них відносяться витрати на управління і організацію виробництва, а саме витрати на утримання будинків і споруджень; витрати на проведення випробувань, дослідів і різних досліджень, витрати на охорону природи та інші витрати.

Розмір витрат з підтримання і експлуатації обладнання визначають шляхом детального розрахунку за кожною їх складовою або при укрупнених розрахунках приймають у розмірі 170 % до основної зарплати виробничих робітників:

$$P_{он} = \frac{Z_o \cdot 170}{100}; \quad (7.12)$$

$$P_{он} = \frac{34,5 \cdot 170}{100} = 58,65 \text{ гр. од.}$$

Ці витрати ділять переважно на змінні, що змінюються з обсягом виробництва, і постійні.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сума витрат, які відносяться до змінних, дорівнює:

$$P_{on}^{nep} = \frac{3_o \cdot 43}{100}, \text{ гр. од.}; \quad (7.13)$$

$$P_{on}^{nep} = \frac{34,5 \cdot 43}{100} = 14,84 \text{ гр. од.}$$

Сума витрат, які відносяться до постійних, дорівнює:

$$P_{on}^{noc} = \frac{3_o \cdot 127}{100}, \text{ гр. од.}; \quad (7.14)$$

$$P_{on}^{noc} = \frac{34,5 \cdot 127}{100} = 43,82 \text{ гр. од.}$$

### 7.1.3.2. Розрахунки адміністративних витрат.

У цю статтю включають витрати, пов'язані з функціонуванням підприємства в цілому: витрати на обслуговування виробничих процесів; витрати, пов'язані з керуванням підприємства в цілому; амортизацією будинків, споруджень загальногосподарського призначення та інші витрати.

Розмір цих витрат при укрупнених розрахунках приймають за даними базового підприємства - 244% до  $3_o$ :

$$P_{adm} = \frac{3_o \cdot 244}{100}, \text{ гр. од.}; \quad (7.15)$$

$$P_{adm} = \frac{34,5 \cdot 244}{100} = 84,18 \text{ гр. од.}$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 7.1.3.3. Розрахунки витрат на збут.

До їх складу включають витрати, пов'язані з реалізацією продукції; витрати на рекламу; вивчення ринку; транспортування; страхування готової продукції та інші витрати, пов'язані зі збутому тощо. Розмір витрат за даними базового підприємства 384% до  $Z_o$ :

$$P_{сб} = \frac{Z_o \cdot 384}{100}, \text{ гр. од.}; \quad (7.16)$$

$$P_{сб} = \frac{34,5 \cdot 384}{100} = 132,48 \text{ гр. од.}$$

### 7.1.4. Розрахунки повної собівартості та ціни деталі.

Повна собівартість деталі «корпус» дорівнює:

$$Z = M + Z_o + Z_{дон} + O_{соц} + P_{он} + P_{адм} + P_{сб}, \text{ гр. од.}; \quad (7.17)$$

$$Z = 136 + 34,5 + 5,87 + 15,14 + 58,65 + 84,18 + 132,48 = 466,79 \text{ гр. од.}$$

Ціна деталі дорівнює:

$$Ц = Z + П_n, \text{ гр. од.}; \quad (7.18)$$

де  $П_n$  - нормативний прибуток, розраховується за формулою:

$$П_n = \frac{C \cdot P_n}{100}, \text{ гр. од.}; \quad (7.19)$$

де  $P_n$  - плановий норматив рентабельності, приймається рівним 25%;

$$П_n = \frac{466,79 \cdot 25}{100} = 116,70 \text{ гр. од.} \quad (7.20)$$

За формулою (7.17) визначимо ціну деталі.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Ц = 466,79 + 116,7 = 583,5 \text{ гр. од.}$$

Дані попередніх розрахунків зводимо в таблицю 7.3.

Таблиця 7.3 - Планова калькуляція деталі «корпус»

Стаття витрат	Сума, гр. од.
1. Вартість матеріалів (за винятком відходів)	136,0
2. Основна зарплата виробничих робітників на деталь	34,50
5. Додаткова зарплата виробничих робітників на деталь	5,87
4. Відрахування в соціальні фонди в розрахунку на деталь	15,14
5. Розмір загальновиробничих витрат	58,65
7. Розмір загальновиробничих витрат (постійних)	43,82
8. Розмір загальновиробничих витрат (змінних)	14,84
9. Адміністративні витрати	84,18
10. Витрати на збут	132,48
11. Нормативний прибуток	116,70
12. Повна собівартість	466,79
15. Ціна	583,50

**7.2. Визначення економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу виготовлення корпусу.**

Рівень рентабельності визначається за формулою:

$$P = \frac{\Pi}{\Phi_{осн} + \Phi_{об}} \cdot 100 \%, \quad (7.21)$$

де  $\Pi$  – прибуток;

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Phi_{\text{осн}}$  – вартість основних фондів;

$\Phi_{\text{об}}$  – вартість оборотних засобів.

$$P = \frac{3501000}{3839796 + 1523103} \cdot 100\% = 8,6 \%$$

Економічна ефективність капітальних вкладень:

$$E_{\text{пр}} = \Pi_{\text{пр}} / \Phi_{\text{осн}} = 378564 / 507701,5 = 0,25$$

Розрахункове значення коефіцієнту економічної ефективності повинно задовольняти умові:

$$E_{\text{ср}} \geq E_{\text{н}}, \quad (7.22)$$

де  $E_{\text{н}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_{\text{н}} = 0,15$ )

В нашому випадку дана вимога виконана.

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок пр}} = \frac{1538316 - 1523103}{2545599 - 2536593} = 2,9 \text{ роки}$$

Нормативний строк окупності рівний 2,9 років, тобто наш проект є доцільним для впровадження.

Виробіток на одного працюючого:

$$\Pi_{\text{тр пр}} = \frac{O_{\text{ц}}}{P_{\text{оош}}} = \frac{17505000}{64} = 273515 \text{ гр. од.}$$

Показник фондівдачі:

$$\Phi_{\text{отд пр}} = \frac{O_{\text{ц}}}{\Phi_{\text{об}}} = \frac{17505000}{1523103} = 1,92$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річний економічний ефект:

$$E_p = (C_{\sigma} + E_n \cdot K_{\sigma}) - (C_{np} + E_n \cdot K_{np}), \quad (7.23)$$

де  $C_{\sigma}$ ,  $C_n$  – собівартість річного обсягу продукції по варіантах, гр. од.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K_{\sigma}$ ,  $K_n$  – капітальні вкладення по варіантах, гр. од.

$$E_p = (1901920 + 0,15 \cdot 1158450) - (1750500 + 0,15 \cdot 1033500) = 170163 \text{ гр. од.}$$

Результати розрахунків представляємо у таблиці 7.11.

Аналізуючи результати розрахунків техніко-економічних показників (див. таблицю 7.4) робимо висновок про доцільність впровадження проектного варіанту технологічного процесу. Через те, що зменшилась кількість обладнання, робітників, сума капіталовкладень, виробничі площі. Економічний ефект свідчить про економічну ефективність нового проекту, коефіцієнт якої збільшився у два рази. Термін окупності скоротився у два рази і становить 2,9 роки.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123



Таблиця 7.4 – Техніко-економічні показники

№ п/п	Показник	Одиниці виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
1	Річний випуск продукції:			
	- в натуральному вираженні	шт.	30000	30000
	- обсяг валової продукції	гр. од.	1901920	1750500
2	Капітальні затрати:			
	- загальні	гр. од.	1158450	1033500
	- питомі	гр. од.	9,87	9,6
3	Виробіток на одного працюючого валової продукції	гр. од.	192458	273515
4	Кількість верстатів	шт.	11	10
5	Енергопотужність обладнання	кВт	114,5	97,5
6	Площа виробнича та допоміжна	м <sup>2</sup>	3642	3148
7	Кількість робітників	чол.	38	32
8	Річний фонд зарплати	гр. од.	1283000	1035000
9	Середньомісячна зарплата	гр. од.	4813	5695
10	Випуск продукції:			
	- на 1м <sup>2</sup> площі	гр. од.	522	556
	- на 1 гр. од. основних фондів	гр. од.	0,1	0,1
11	Завантаження верстатів	%	0.7	0.8
12	Повна собівартість:			
	-одиниці продукції	гр. од.	633,9	583,5
	- річного обсягу	гр. од.	1901920	1750500
13	Ефективність капіталовкладень		0,7	0,91
14	Окупність капітальних вкладень	рік	6,2	2,9
15	Річний економічний ефект	гр. од.	170163	

Аналізуючи результати розрахунків техніко-економічних показників (див. таблицю 7.4) робимо висновок про доцільність впровадження проектного варіанту технологічного процесу. Через те, що зменшилась кількість обладнання, робітників, сума капіталовкладень, виробничі площі. Економічний ефект свідчить про економічну ефективність нового проекту, коефіцієнт якої збільшився у два рази. Термін окупності скоротився у два рази і становить 2,9 роки.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		125

## 8. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 8.1. Охорона праці при термічному, електрохімічному і електрофізичному обробленні металів.

У машинобудівній промисловості широко застосовуються термічне, електрохімічне і електрофізичне оброблення металів.

До термічного оброблення відносяться обжигання, гартування, азотування, борування, алюмінування, хромування, коксування, берілування, титанування тощо. До електрохімічного та електрофізичного - електроіскрова, електроімпульсна, плазмова, електронно-променева, лазерна і інші способи оброблення.

Основними небезпечними й шкідливими виробничими факторами, що виникають при зазначених методах оброблення і зумовлені її видом, застосовуваним обладнанням і робочими середовищами, можуть бути наступні: рухомі машини і механізми; рухливі елементи виробничого устаткування, що пересуваються, вироби, заготовки, матеріали; підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищена температура поверхонь устаткування, матеріалів і повітря робочої зони, підвищений рівень теплового випромінювання; підвищений рівень шуму та вібрації на робочому місці; підвищений рівень електромагнітних випромінювань; небезпечний рівень напруги в електричному колі тощо. При цьому виникає небезпека механічного травмування працюючих, отруєння сильнодіючими отрутами, перегріву, отримання опіків, ураження електричним струмом.

У зв'язку з цим під час проведення процесів термічного, електрохімічного і електрофізичного оброблення повинні бути передбачені заходи захисту працівників від можливої дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архувів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>					126	10
<i>Консульт</i>		<i>Клепчик</i>				<i>ТНТУ, каф.ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

Для захисту від механічних і термічних небезпек застосовуються різні огороження та блокування, а також необхідно дотримуватись відповідних правил безпеки при виконанні певних операцій технологічного процесу.

Захист від небезпечної дії електричного струму (діапазон напруг від 368 до 150 кВ) забезпечується застосуванням захисного заземлення, занулення і електрозахисних засобів відповідно до заходів захисту від електричного струму.

Особливу небезпеку при розглянутих методах оброблення складають різні токсичні гази та хімічні речовини, застосовувані в якості електролітів і очищувальних розчинів.

При термічному обробленні в складі контрольованих атмосфер і вихідних газів містяться токсичні гази (окис вуглецю  $\text{CO}_2$ , аміак  $\text{NH}_3$ , сірководень  $\text{H}_2\text{S}$  тощо), поява яких (різкий запах) попереджає про неполадки.

Електроліти, застосовувані при електрохімічному обробленні є розчинами сильних кислот (сірчаної, фосфорної, соляної, плавикової, азотної тощо), їх суміші в різних пропорціях, а також розчини та розплави їдких лугів. Нагрів струмопровідних матеріалів проводиться у розчинах їдких лугів або солей лужних металів. Ультразвукове очищення проводиться в середовищі різних розчинників, водних розчинів мінеральних і органічних кислот, розчинах їдких лугів і солей (фосфати, карбонати, фториди тощо). Деякі вживані солі (ціаністе срібло, ціаністий калій) є сильними отрутами. За присутності вологи, кислот, а також вуглекислоти, що міститься в повітрі, ціаністі солі виділяють ціаністий водень (сильна кислота), що викликає швидку задуху внаслідок паралічу тканин дихальних органів.

Найважливішими заходами, що забезпечують безпеку роботи обслуговуючого персоналу, є наступні: механізація і автоматизація процесів, зміна складу електроліту для зниження його агресивності, пристрої загальної та місцевої вентиляції, застосування індивідуальних засобів захисту і надійних захисних пристроїв.

Використання індивідуальних засобів захисту є надійним, але додатковим заходом забезпечення безпеки. Їх необхідно застосовувати в якості додаткового захисту або в аварійних випадках.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						127
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До засобів індивідуального захисту відносяться: захисні окуляри, респіратори, протигази, спецодяг, спецвзуття, захисні пасти і мазі. З спецодягу застосовуються фартухи і захисні костюми з кислотостійких тканин, а також кислотолугостійкі рукавички. До захисних засобів відносять також спеціальні гідранти у вигляді короткого шлангу зі сплющеним наконечником для подачі води з водопровідної мережі, а також спеціальний гідрант у вигляді фонтанчика питної води, нейтралізуючі та дезінфікуючі речовини (розчини соди, борної кислоти тощо). Ці пристрої служать для швидкого і зручного змивання бризок і крапель небезпечних хімікатів, що потрапили на шкірні покриви або очі працюючих.

Застосування надійних огорожувальних пристроїв - доцільна міра захисту при експлуатації установок з потенційними джерелами хімічної небезпеки. Тип, форма і розміри огорож повинні відповідати конструкції, що захищається.

З метою підвищення безпеки роботи з персоналом проводять загальний інструктаж, а також спеціальне ознайомлення з властивостями всіх застосовуваних хімічних речовин, чітке вивчення правил поведження та зберігання цих речовин.

При термічному, електрохімічному та електрофізичному обробленні може виникнути вибухо- і пожежонебезпечність. Високу небезпеку представляють: дисоційований аміак (містить водень), ендотермічний газ (містить водень і окис вуглецю), зріджені гази пропан і бутан, гартівні масла - термічні види оброблення; рідкі граничні вуглеводні (гас, солярове і веретенні масла тощо) - електроіскрове оброблення; конденсація дисперсного металу на стінках камери і утворення відкладень, які в деяких випадках мають високу здатність самозайматися на повітрі - вакуумна електронно-променева установка.

Основними заходами вибухо- і пожежобезпеки є наступні: застосування негорючих рідин або рідин з більш високою температурою спалаху, підтримка температури робочої рідини на певному рівні; заборона знаходитися біля верстата в промасленим спецодязі; пристрій надійної вентиляції; забезпечення плавильних печей запобіжними клапанами та

					<i>MP 18-382.00.00</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		128

екранами з листової сталі; застосування автоматичних протипожежних пристроїв і систем придушення вибухів; наявність належних засобів пожежогасіння тощо.

## 8.2. Розрахунок повітряної завіси для проектованої дільниці механічного цеху.

Розраховуємо параметри постійної повітряної завіси з бокової двосторонньої подачі повітря для висоти воріт – 3 м, ширини воріт - 3,2 м, температура на межі з внутрішнім повітрям  $t_в=20^0$  С, температура на границі з зовнішнім повітрям  $t_н=-15^0$ С, максимальний тиск повітря  $\Delta\rho_{max} = 20$ мПа.

1.

2. Визначаємо різницю густини зовнішнього та внутрішнього повітря  $\Delta\rho \approx 0,0005\Delta t$  ([15], стор. 324):

$$\Delta\rho \approx 0,0005(20 + 15) = 0,17.$$

Задаємо значення  $h$  і визначаємо різницю тиску на довільній відстані  $h$  від підлоги.

$$\Delta\rho = \Delta\rho_{max} - \Delta\rho gh, \text{ ([15], стор. 322),}$$

для $h$ , м	$\Delta\rho$ , Па;
0	$\Delta\rho_{max} = 20$ ;
1	$20 - 1 \cdot 0,17 \cdot 9,8 = 18,3$ ;
2	$20 - 2 \cdot 0,17 \cdot 9,8 = 16,7$ ;
3,2	$20 - 3,2 \cdot 0,17 \cdot 9,8 = 14,7$ .

2. Приймаємо повітряну завісу з внутрішнім повітряним забором і  $\alpha = 30^0$ . Ширина щілини  $v_о = 33,2 / (2 \cdot 303) = 0,054$  м.

Приймаємо 0,05м.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Протяжність осі потоку повітря:

$$S=1,05 \cdot 0,5 B_{\text{вop}}=1,05 \cdot 0,5 \cdot 3,2=1,68 \text{ м.}$$

Згідно графіку ([15], стор. 322, рис. XIX.11) визначаємо ширину ядра потоку  $r = 0,11 \text{ м}$ .

Визначаємо швидкість виходу повітря із щілини при умові, що вісь потоку пройде через точку із заданими координатами  $y=-r=-0,11$  і  $x_l=0,5 \cdot 3,2=1,6 \text{ м}$  за формулою:

$$V_0 = x_1 \sqrt{\frac{\Delta \rho}{2 \varepsilon_0 (\gamma_1 \operatorname{tg} \alpha - y_1) \rho \cos \alpha}}, \quad ([15], \text{ стор. 321, рис. XIX.16};$$

$$V_0 = 1,6 \sqrt{\frac{\Delta \rho}{2 \cdot 0,05(1,6 \cdot 0,58 + 0,11)1,2 \cdot 0,867}} = 4,86 \sqrt{\Delta \rho}.$$

Розраховуємо значення швидкості виходу потоку на різних рівнях:

$h, \text{ м}$	0	1	2	3,2
$V_0, \text{ м/с}$	21,8	20,8	19,9	18,6.

4. Безрозмірна координата при  $y_l = r$  і  $S = 1,05 x_l = 1,68 \text{ м}$ .

Ширина потоку в перерізі  $S$ :

$$\varepsilon_s = 0,416/S = 0,416/1,68 = 0,699;$$

$$y_l/0,5 \varepsilon_s = 0,11/0,5 \cdot 0,699 = 0,314.$$

Згідно графіку ([15], стор. 319, рис. XIX1.19)

$$\beta_{on} = 3,12 \frac{A_{on}}{\sqrt{\frac{S}{\%o.}}};$$

$$\beta_{on} = 3,12 \cdot 0,68 / \sqrt{1,68/0,05} = 0,366.$$

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						130
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При  $x = 1,68/0,05 = 33,6$  згідно графіку ([15], стор. 320, рис. XIX1.9);

$$\beta_{\%o.} = 0,47, \beta' = 0,15.$$

Температура подаючого повітря:

$$t_0 = \frac{t\beta(1 - \beta_{\%o.}) - \beta' \cdot t'}{\beta''}, \text{ ([15], стор. 323, рис. XIX1.17);}$$

$$t_0 = 20(1 - 0,47) - 0,15 \cdot (-15) / 0,366 = 35^{\circ}\text{C}.$$

5. Розрахунок повітря на 1 м довжини щілини

$$L_0 = V_o \cdot \epsilon_o \cdot l, \text{ ([15], стор. 323);}$$

$$L_0 = 0,05 \cdot 1(21,8 + 18,6) / 2 = 1,01 \text{ м}^3 / (\text{см}).$$

6. Загальна витрата повітря

$$G_3 = L_0 \cdot l \cdot 3600 \rho_o, \text{ ([15], стор. 323, рис. XIX1.18);}$$

де  $l$  - довжина щілини завіси,  $i=2 H_{\text{вор}}$ ;

$$G_3 = 1,01 \cdot 2,3 \cdot 3600 \cdot 1,2 = 26179 \text{ кг/ч.}$$

7. Витрати тепла

$$Q^{I3} = C_p G_3(t_0 - t_{\text{вх}}), \text{ ([15], стор. 323, рис. XIX.19);}$$

де  $t_{\text{вх}}$  - температура повітря, який входить в калорифер установки.

$$Q^{I3} = 1 \cdot 26179(35 - 20) = 392688 \text{ кДж/год.}$$

					<i>MP 18-382.00.00</i>	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 8.3. Забезпечення безпечної експлуатації обладнання на проєктованій дільниці.

На механічній дільниці цеху з виготовлення деталей типу «корпус» встановлено наступне обладнання:

- вертикально-фрезерний верстат 6P12Ф3;
- ГПМ з 4-а верстатами типу оброблювальний центр CW630.

На верстатах CW630 встановлено огорожувальні пристрої у вигляді екранів. Екран захищає верстатника від викидів стружки і парів ЗОР, перешкоджає захопленню одягу робітника. На вертикально-фрезерних верстатах екрани відсутні.

Транспортер супутників ГПМ відгорожений металічною сіткою висотою 1,8 м. Щоб запобігти помилкових дій кнопки управління на верстатах CW630 та вертикально-фрезерних верстатах пофарбовано в сигнальні кольори згідно з «Правилами пристроїв електроустановок» ПУД-76. Для сигналізації про аварійні режими роботи та степені готовності верстатів ГПМ CW630 та вертикально-фрезерних верстатах застосовується спеціальна світлосигнальна арматура згідно з ГОСТ12200-75.

Для приводу верстатів та обладнання застосовують електродвигуни закритого типу. Всі металічні частини верстатів (корпуса електродвигунів, пульт управління), які можуть бути під напругою більш, ніж 42 В, оснащені пристроями згідно з «Правилами пристроїв електроустановок» 177-76 або з'єднані з нульовим проводом від місця вводу проводів. На дільниці трьохфазна трьохприводна система проводки електричного струму з ізолюваною нейтраллю з напругою 380В. Опір ізоляції сітки, згідно П47-76 більше 0,5 мОм. Приміщення дільниці за ступенем небезпек ураження людей електричним струмом відноситься до дуже небезпечних, так як можливо дотик людини до струмоведучих частин верстатів і обладнання на дільниці.

Значна робота на дільниці високої точності: найменший розмір об'єкту складає 0,5 мм, контраст об'єкту з фоном стола - середній.

					MP 18-382.00.00	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимий рівень шуму на робочому місці згідно ГОСТ 12,1003-83 не повинен перевищувати 85 дБ, на нашій ділянці шум перевищує норму: 87-88 дБ. Категорія робіт на проєктованій ділянці 116, енергозатрати складають 233-290 Вт, це згідно роботам середньої важкості. Температура повітря в приміщенні повинна бути на межах 18<sup>0</sup>-25<sup>0</sup>С згідно ГОСТ 21.1.005-88. На ділянці діє центральна система опалення, яка дозволяє в холодний час підтримувати температуру, встановлену нормативами, але через те, що двері цеху, в приміщенні якого знаходиться ділянця, виходять на вулицю, в холодний час року температура внаслідок частого відкривання-закривання дверей, знижується до 12<sup>0</sup>-15<sup>0</sup>С. Вологість на ділянці відповідає нормі 40-60%.

Робітники ділянці забезпечуються спецодягом згідно ГОСТ 12.4.109-82, яка складається із штанів, куртки, берета. Спецодяг зберігається окремо від звичайного верхнього одягу. Чищення та прання відбувається 1 раз на два тижня. Для робітників ділянці передбачено побутові приміщення: роздягальні, душові кімнати, туалети згідно з СНіП 11.92-76 та нормами «Допоміжні приміщення промислових виробництв». Робітники ділянці у складі побутових приміщень мають 26 шкафчиків для спецодягу та для домашнього одягу, 4 душові сітки.

Допустимі та фактичні значення виробничих умов на ділянці представлено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 - Виробничий шум та освітленість на робочих місцях

Вид обладнання	Виробничий шум, дБ		Освітленість, лк	
	допуст.	фактич.	допуст.	фактич.
6P13	85	87	750	670
6P13Ф3	85	88	750	670
СW630	85	87	750	670

#### 8.4. Зменшення небезпеки виникнення пожеж на ділянці.

Технологічне обладнання за нормальних режимів роботи повинно бути пожежобезпечним, а на випадок небезпечних несправностей та аварій необхідно передбачити захисні заходи, які обмежують масштаб та наслідки пожежі.

Обладнання, призначене для використання пожежонебезпечних та вибухонебезпечних речовин і матеріалів має відповідати конструкторській документації.

Технологічні процеси необхідно проводити згідно регламентів та іншої затвердженої у встановленому порядку нормативами технічної та експлуатаційної документації.

На всі застосовувані в технологічних процесах речовини й матеріали повинні бути дані про показники її пожежної небезпеки за ГОСТ 12.1.044-89.

Спільне застосування, зберігання й транспортування речовин та матеріалів, які в результаті взаємодії одне з одним викликають займання, вибух або утворюють горючі і токсичні гази (суміші), не дозволяються.

У вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщеннях (ділянках, майстернях, цехах) та на устаткуванні, що становить небезпеку вибуху або займання, необхідно вивішувати знаки, які забороняють користування відкритим вогнем, а також знаки, що попереджають про обережність за наявності займистих та вибухових речовин згідно ГОСТ 12.4.026-76.

Виробництва, де перебувають в обігу пожежовибухонебезпечні речовини та матеріали, повинні бути оснащені автоматичними засобами контролю параметрів, значення яких визначають пожежовибухонебезпечність процесу, сигналізацію граничних значень і системами блокувань, які перешкоджають виникненню аварійних ситуацій.

Для внутрішнього освітлення технологічних апаратів і споруд під час їх огляду та ремонту в діючому цеху повинні застосовуватися переносні

					<i>MP 18–382.00.00</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		134

світильники у вибухобезпечному виконанні напругою не більше 12 В, захищені металічною сіткою.

У вибухонебезпечних цехах застосовування переносних електроприладів і агрегатів, які не відповідають вимогам до електроустаткування у вибухобезпечному виконанні, необхідного для даного середовища, забороняється.

У виробничих приміщеннях необхідно передбачати робоче й аварійне освітлення.

Профілактичний огляд. Планово попереджувальні та капітальний ремонт технологічного обладнання повинні здійснюватися в терміни, встановлені відповідними графіками з урахуванням виконання заходів щодо забезпечення пожежовибухобезпеки, передбачених проектом, технологічним регламентом, технічними умовами.

Технологічне устаткування, апарати та трубопроводи, в яких утворюються речовини, пожежовибухонебезпечні пари, гази та пил, повинні бути герметичними.

У вибухопожежонебезпечних приміщеннях (цехах, дільницях, тощо) слід застосовувати інструмент, виготовлений із безіскрових матеріалів або у відповідному вибухопожежобезпечному виконанні.

Покриття підлог у приміщеннях категорій за вибухопожежонебезпечністю А і Б повинно виконуватися з негорючих та таких, що під час ударів не дають іскор, матеріалів. Конструкція вікон та дверей у таких приміщеннях повинна виключати можливість іскроутворення.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						135
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 9. ЕКОЛОГІЯ

### 9.1. Вплив складових машинобудівного комплексу на довкілля.

#### 9.1.1. Забруднення атмосфери.

Викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря від діяльності підприємств машинобудівного комплексу становлять приблизно 1-2% від загального обсягу промислових забруднень – це, переважно, викиди газів металургійної складової машинобудівного комплексу.

1. Ливарне виробництво. До основних джерел забруднення атмосферного повітря у ливарному виробництві відносять:

- плавильні агрегати ливарних цехів;
- дільниці ливарних цехів, що пов'язані із складуванням, переробкою та використанням шихтових та формівних матеріалів;
- шихтові подвір'я;
- сумішоприготувальні дільниці;
- дільниці формування та приготування стержнів та ін.

У ливарному виробництві на одну тонну виливків утворюється від 1 до 3 тон відходів, які містять відпрацьовану та невикористану суміш, шлаки, пил, газу. Хоча основна частина відходів – відпрацьовані суміші та шлаки, але відносно забруднення навколишнього середовища найбільшу небезпеку мають пил та газу у зв'язку з тим, що їх важко вловлювати та відводити.

У закритих печах-вагранках для виливків чавуну виробничою здатністю 5-10 т/год. в середньому на одну тонну виливків викидається в атмосферне повітря: пилу – 11,5 кг/т;  $CO$  – 193 кг/т;  $SO_2$  – 0,4 кг/т;  $C_mH_n$  – 7,7 кг/т. У відкритих печах-вагранках для виливків чавуну виробничою здатністю 2-25 т/год. на 1 т виливків викидається в атмосферне повітря:

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>ЕКОЛОГІЯ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данільченко</i>					136	13
<i>Консульт</i>		<i>Лясота О.М.</i>				<i>ТНТУ, каф.ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

пилу – 17,0-20 кг/т;  $CO$  – 185-200 кг/т;  $SO_2$  – 1,3-1,5 кг/т;  $C_mH_n$  – 2,1-2,6 кг/т;  $NO_x$  – 0,012 кг/т.

Хімічний склад пилу вагранки становить:  $SiO_2$  – 20-50%;  $CaO$  – 2-12%;  $Al_2O_3$  – 0,5-6 %;  $Fe_2O_3 + FeO$  – 10-36%;  $C$  – 30-45%. Розмір частинок пилу становить 5-150 мкм. Під час розливу з вагранок у ковші однієї тони чавуну в атмосферу викидається близько 130 г  $CO$  та 18-22 г графітового пилу.

Питомі викиди на одну тонну готової продукції забруднювальних речовин в електродугових печах під час виплавляння однієї тони сталі становлять: пилу 7,6-9,5 кг/т;  $CO$  – 1,5 кг/т;  $SO_2$  – 1,4 г/т;  $NO_x$  – 0,25 кг/т; ціаніди – 28,4 г/т; фториди – 0,56 г/т.

У газах, які відводяться від ливарного виробництва та викидаються в атмосферу, пил складається переважно з дрібнодисперсних часток, а вміст вільного діоксиду кремнію доходить до 80%. Розрахунок викидів забруднювальних речовин від плавильного агрегату здійснюється за формулою:

$$P = q D \cdot \beta \cdot (1 - \eta),$$

де  $q$  – питома виділення речовини на одиницю продукції, кг/т;

$D$  – розрахункова працездатність агрегату, т/год;

$\beta$  – поправний коефіцієнт для урахування умов плавки;

$\eta$  – ефективність засобів зі зниження викидів (у частках одиниць).

На дільниці розвантаження сипучих матеріалів (ливарного коксу, вапняку, піску тощо) в приймальні ванни виділяється у середньому до 2–2,5 кг/год. пилу на одиницю обладнання. Зі сушильних апаратів виділяються 0,2-0,5 кг/год оксиду вуглецю, 0,10-0,15 кг/год окису сірки, до 0,2 кг/год оксиду азоту та інші речовини, таких як акромін, формальдегід та ін. Запиленість газів, які відводяться від сушильних апаратів, становить 10-15 г/м<sup>3</sup>.

З токсичних газів перше місце посідає оксид вуглецю. Основний спосіб зменшення його кількості, що потрапляє в навколишнє середовище, це – його доокиснювання до діоксиду вуглецю (IV) –  $CO_2$ .

					MP 18–382.00.00	Арк.
						137
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Ковальсько-пресове виробництво. В процесі нагрівання та оброблення металів у цехах виділяються пил, кислоти і масляні аерозолі (туман), оксид вуглецю, діоксид сірки тощо. Під час використання у ковальськопресових цехах для нагрівання металу полум'яних печей в атмосферу викидаються оксиди вуглецю, сірки, азоту та інші продукти згоряння. Для визначення валових викидів шкідливих речовин в атмосферу від нагрівальних печей доцільно користуватися питомими показниками щодо викидів, приведених до одиниці маси (т) або об'єму (м<sup>3</sup> або тис. м<sup>3</sup>) спаленого палива.

Механічне оброблення металів. Механічне оброблення металів на верстатах супроводжується виділенням пилю, стружки, туманів мастил та емульсій, які викидаються через вентиляційні установки в атмосферу. У таблиці 9.1 наведено дані про кількість парів води, туману мастил та емульсій, що виділяються за одну годину під час роботи металообробних верстатів у розрахунку на 1 кВт потужності електродвигунів.

Таблиця 9.1 - Інтенсивність виділення пилю під час роботи на металообробних верстатах

Обладнання	Маса, мг		
	пари води	масляний туман	туман, емульсія
Металообробні верстати з масляним охолодженням	-	200	-
Металообробні верстати з емульсійним охолодженням	150	-	6,3
Шліфувальні верстати з охолодженням емульсією та содовим розчином	150	-	16,5

Пил, що утворюється в процесі абразивного оброблення, складається з 30-40% матеріалу абразивного круга і 60-70% – оброблюваного матеріалу. Інтенсивність виділення пилю під час шліфування металевих деталей залежить від діаметра шліфувального круга (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 - Залежність інтенсивності виділення пилу від діаметра шліфувального круга

Діаметр шліфувального круга, мм	150	300	350	400	600	750	900
Виділення пилу, г/год	117	155	170	180	235	270	310

Викиди металевого пилу від механічного оброблення металу токарними, свердлильними, шліфувальними та заточувальними верстатами визначаються за загальною формулою:

$$M_{МП} = A T K_1 U_{II}, \text{ т/рік};$$

де  $A$  – кількість верстатів, шт.;

$T$  – річний фонд робочого часу, год/рік;

$K_1$  – коефіцієнт ефективності роботи пиловловлювачів;

$U_{II}$  – питомий викид металевого пилу від верстата, кг/год.

Викид аерозольної емульсії від токарного або свердлильного верстата визначається за формулою:

$$M_{МП} = A T U_{II} 10^{-3}, \text{ т/рік};$$

$U_{II}$  – питомий викид аерозольної емульсії від верстата, кг/год;

$A$  – кількість верстатів, шт.;

$T$  – річний фонд робочого часу верстата, год/рік.

3. Термічні цехи. Суттєво забруднюють середовище термічні цехи підприємств. Щоб надати деталі певних фізичних характеристик, їх піддають термічному обробленню (наприклад гартуванню). Суть цього процесу зводиться до того, що металеву заготовку спочатку нагрівають до високої температури, до того ж відбувається вже достатньо обговорене забруднення довкілля внаслідок спалювання палива, або інших засобів нагрівання.



Термічне оброблення передбачає швидке охолодження розпеченої деталі. При цьому розжарена деталь занурюється в воду або в мастило, яке починає горіти (а вода випаровуватися) з виділенням великої кількості шкідливих газів і оксидів металу. Після термічного оброблення метал покривається окалиною (товстий шар згорілого металу), який в механічний спосіб очищають. Галтувальні барабани та піскоструйні машини є джерелами шумового забруднення середовища і великої кількості пилу.

До джерел забруднення атмосфери відносять: ванни, агрегати для термічного оброблення, нагрівальні печі, що працюють на рідкому та газоподібному паливі, а також дробоструминні, дробоскидальні камери. У процесі роботи цих агрегатів та установок в атмосферу викидаються пари та продукти горіння мастил, аміак, ціанистий водень, пил тощо. Концентрація пилу в повітрі, що виділяється від камер, де метал зачищається після термічного оброблення, досягає 200-700 мг/м<sup>3</sup>. Під час ціанування металів виділяється до 600 мг/год. ціанистого водню на один агрегат ціанування.

4. Гальванічні цехи. Щоб надати деталям певних хімічних властивостей (наприклад, щоб не іржавіли), або просто надати деталі привабливого вигляду (нікелюванням, хромуванням, цинковим покриттям та ін.) – деталі проходять подальшу хіміко-термічне оброблення у гальванічних цехах. Їх занурюють у спеціальні ванни, в які заливають найрізноманітніші хімічні сполуки – кислоти, луги, солі. Далі ці рідини нагрівають і пропускають через них струм. При цьому деталі, що обробляються, виконують роль аноду або катоду в гальванічному процесі. Таким чином, на поверхні деталі створюється необхідне покриття. При цьому утворюється велика кількість дуже шкідливих газів, та парів розчину, що знаходиться у ванні. Після певного часу він стає непридатним до подальшого використання у виробництві і тому являє собою дуже агресивну хімічну сполуку, що потребує утилізації. Для того щоб її знешкодити потрібні відповідні хімічні заходи, але знешкодити їх до кінця неможливо і вони стають дуже небезпечними забруднювачами довкілля.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		140

Основними забруднювачами атмосфери, що виділяються під час гальванічних процесів, є пил, тонкодисперсний туман, пари та газу, особливо в процесі кислотного та лугового плавлення.

### 9.1.2. Забруднення гідросфери.

Близько 10 млрд м<sup>3</sup> води щорічно витрачається на потреби машинобудівельних підприємств України, де воду використовують для охолодження (підігріву) вихідних матеріалів і продукції, деталей і вузлів технологічного обладнання; приготування різних технологічних розчинів; промивання, збагачення та очищення вихідних матеріалів або продукції; господарського та побутового призначення.

1. Ливарне виробництво. Вода в ливарних цехах використовується для гідравлічного вибивання стрижнів, транспортування формівної землі на ділянки регенерації, а також для гідротранспортування відходів горілої землі та системи вентиляції.

Джерелами забруднення стічних вод у ливарних цехах служать, головним чином, установки гідравлічної та електрогідравлічного очищення литва, вологого очищення повітря, гідрорегенерації відпрацьованих формівних сумішей. Велике економічне значення для народного господарства має утилізація стічних вод.

Утворені під час цих операцій стічні води забруднюються глиною, піском, зольними залишками від вигорілої частини стрижневої суміші та в'язкими добавками формівної суміші. Концентрація цих речовин у воді досягає 5 кг/м<sup>3</sup>.

2. Ковальсько-пресове виробництво. Основними домішками стічних вод, що використовуються для охолодження технологічного обладнання, поковок, гідрозбивання металевої окалини та оброблення приміщень, є частинки пилу, окалини та мастила.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						141
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Механічне та термічне виробництво. У механічних цехах вода використовується для приготування мастильно-охолоджувальних рідин, промивання пофарбованих виробів, для гідравлічних випробувань та проведення інших робіт.

Основними забруднювачами стічних вод є пил, металеві та абразивні частинки, сода, мастила, розчинники, фарби та ін.

У термічних цехах воду використовують для приготування технологічних розчинів для загартування, відпускання та обпалювання деталей, промивання деталей та ванн після викидання відпрацьованих розчинів та ін. Основними домішками стічних вод є пил мінерального походження, металева окалина, важкі метали, ціаніди, мастила та луги.

4. Гальванічні дільниці. Вода на цих дільницях використовується для приготування технологічних розчинів, призначених для протравлення деталей і металів, нанесення на них фарб, а також для промивання деталей і ванн після викидання відпрацьованих розчинів та оброблення приміщень. Основні домішки стічних вод – пил, металева окалина, емульсія, луги, кислоти, важкі метали та ціаніди.

Очищення стічних вод від твердих часток залежно від їх властивостей, концентрації та фракційного складу на машинобудівних заводах здійснюється методами проціджування, відстоювання, відділення твердих часток у полі дії відцентрових сил і фільтрування. Очищення стічних вод від мастилопродуктів залежно від їх складу і концентрації здійснюється на машинобудівних підприємствах, як правило, відстоюванням, обробленням в гідроциклонах, флотацією та фільтруванням.

Виділення мастилопродуктів у полі дії відцентрових сил здійснюють у напірних гідроциклонах. Очищення стічних вод від масляних домішок флотацією полягає в інтенсифікації процесу спливання мастилопродуктів під час обплутування їх частинок бульбашками повітря, яке подається у стічні води. Очищення стічних вод від домішок, які вміщують мастило, фільтруванням – завершальний етап очищення.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	<i>Арк.</i>
						142
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 9.2. Обґрунтування заходів з охорони навколишнього середовища, вибір устаткування для вловлювання пилу, туману, очищення стічних вод.

Очищення повітря від пилу, диму та туману.

Газові викиди містять тверді та різні завислі частинки і тому називаються аерозолями. Їх поділяють на:

- пил (розмір частинок 6-50 мкм);
- дим (розмір частинок 0,1-5 мкм);
- туман (0,-5 мкм).

Використовують у більшості випадків сухе чи мокре чищення за рахунок застосування гравітаційних, інерційних, відцентрових сил та фільтрування через пристрої – пористі перетинки. В апаратах із мокрим очищенням використовують контакт газу з рідиною, внаслідок чого нерозчинні частинки збільшуються в розмірах, розчинні зникають. Широко використовують і зарядження частинок та їх рух до протилежних сухих фільтрів.

Вибір способу та апаратури для вловлювання аерозолів в першу чергу залежить від дисперсійного складу.

Апаратура для чистки аерозолів поділяється на:

- 0,05-100 мкм – фільтри волокнисті – туман;
- 5-1000 мкм- циклони  $\varnothing$  до 1 м – пил стружки.

Крім дисперсності, суттєву роль відіграють такі властивості:

а) адгезійні, тобто властивості злипання окремих частинок (підвищене злипання може вивести апарат з ладу) чим менше розмір частинок, тим більше їх питома поверхня і тим легше вони прилипають до поверхні апарату. Металічний пил відноситься до середньозлипаючого.

б) абразивні, які збільшують руйнування та вихід з ладу устаткування;

в) змочуваність – гідрофільні (добре змащуються), гідрофобні (не змочуються: графіт, вугілля, сірка).

					MP 18–382.00.00	Арк.
						143
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для очищення від газів і парів використовують: абсорбери, адсорбери, термічні окислювачі (окислювання в печах).

Очищення води. Відстоювання.

Для вловлювання із стічних вод нерозчинних забруднень використовують відстійники періодичної (контактної) і неперервної (проточної) дії. Широкого використання отримали відстійники неперервної дії.

За напрямком руху рідини в споруді відстійники поділяються на горизонтальні та вертикальні. Для очищення стічних вод широко використовують також радіальні відстійники, які є варіантом горизонтальних.

В останні роки набули поширення тонкошарові відстійники. Особливість їх полягає в тому, що відстійна зона розділяється паличковими секціями і трубчастими елементами на неглибокі шари, де забезпечується ламінарний рух освітленої води.

Залежно від призначення в технологічній схемі очисної станції відстійники поділяють на первинні і вторинні. Первинні відстійники служать для попереднього освітлення стічних вод, які просуваються на біологічне чи фізико – хімічне чищення, а вторинні – для освітлення стічних вод, які пройшли біологічне чи фізико – хімічне очищення, в деяких випадках можливе використання освітлювачів із навислим шаром осаду.

Порівняно з міськими очисними спорудами локальні очисні споруди машинобудівних підприємств відрізняються меншими витратами – до тис. м<sup>3</sup>/добу.

Враховуючи це, а також громіздкий механізм періодичної дії для зашкрібання і видалення осаду горизонтальних відстійників, доцільно використовувати вертикальні відстійники та коридорні освітлювачі з попередньою коагуляцією завислих речовин.

					MP 18–382.00.00	Арк.
						144
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 9.3. Оцінка екологічної ефективності на дільниці механічного цеху для виготовлення корпусу.

Згідно ISO 14001 екологічна ефективність - вимірювані результати діяльності системи підприємства, пов'язані з контролем рівня свого впливу на навколишнє середовище.

Збільшення рівня екологічної ефективності підприємства може бути забезпечено ефективним управлінням тими елементами діяльності його дільниць, цехів, виробничих приміщень, які надають найбільш значний вплив на навколишнє середовище.

Оцінювання екологічної ефективності являє собою внутрішній процес і інструмент управління, призначений для забезпечення керівництва підприємства інформацією про те, наскільки екологічна ефективність організації відповідає заданим критеріям.

Одними із часто вживаних показників для оцінювання екологічної ефективності підприємства служать планові та цільові екологічні критерії. Вони дають інформацію про зусилля, що вживаються організацією в такій управлінській діяльності, яка впливає або може впливати на екологічну ефективність організації. Прикладами такої управлінської діяльності можуть бути орієнтоване на забезпечення екологічної грамотності навчання, виконання вимог природоохоронного законодавства, регулювання витрат на управління навколишнім середовищем, забезпечення природоохоронної діяльності необхідними ресурсами та їх ефективне використання, забезпечення збуту продукції, розроблення продукції, документації або проведення коригувальних дій.

Як показники ефективності управління можуть бути використані, наприклад, кількість досягнутих планових екологічних показників; кількість підрозділів організації, які досягли встановлених екологічних цільових критеріїв; ступінь впровадження спеціалізованих природоохоронних норм в

					MP 18–382.00.00	Арк.
						145
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

практику управління або функціонування; число впроваджених природоохоронних заходів, спрямованих на запобігання забруднень виробничих площ і довкілля.

До другої групи показників, відносяться показники ефективності функціонування виробництва. Вони надають керівництву підприємства інформацію про екологічну ефективності функціонування організації, дають уявлення про такі складові діяльності підприємства, як:

- вхідні матеріальні потоки, наприклад, оброблені, відновлені, повторно використовувані або вихідні сировинні матеріали, природні ресурси, енергія та послуги;
- забезпечення поставок для функціонування організації.

Якщо екологічна ефективність цеху (дільниці) пов'язана з матеріалами, використовуваними при функціонуванні організації, то вибирають наступні показники:

- кількість використовуваних сировинних матеріалів, витрачених на виробництво одиниці продукції;
- кількість перероблених, рецикльованих або повторно використовуваних матеріалів;
- кількість пакувальних матеріалів, нових або повторно використовуваних, що припадають на одиницю продукції.

Якщо екологічна ефективність цеху (дільниці) пов'язана з загальною витратою енергії або типами застосовуваних енергоносіїв, або з ефективністю використання енергії при функціонуванні організації, то, як правило, вибирають наступні показники:

- кількість енергії, що витрачається за рік або припадає на одиницю продукції;
- кількість енергії, що витрачається на виготовлення річного обсягу або надається споживачеві;
- кількість використовуваних енергоносіїв кожного виду.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						146
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо екологічна ефективність цеху (дільниці) пов'язана з операціями, що підтримують функціонування організації, то вибирають наступні показники:

- кількість очищувальних компонентів, що використовуються в додаткових роботах;
- кількість небезпечних матеріалів, використовуваних на операціях.

Якщо екологічна ефективність цеху (дільниці) пов'язана з матеріальними об'єктами та застосуванням обладнання, то вибирають наступні показники:

- кількість конструкційних елементів технологічного обладнання, які мають вузли, спроектовані з урахуванням простоти розбирання, рециклінгу та повторного використання;
- кількість годин роботи того чи іншого обладнання на рік.

Якщо екологічна ефективність пов'язана з вхідними (постачання) і вихідними (поставка) потоками в результаті функціонування організації, то вибирають наступні показники:

- середня витрата палива транспортних засобів в цеху (на дільниці);
- кількість вантажних перевезень транспортними засобами за день.

Коли екологічна ефективність цеху (дільниці) пов'язана з основною або допоміжною продукцією, наприклад, матеріалами, не пов'язаними з основною продукцією, включаючи відновлені або повторно використовувані матеріали, які отримують і зберігають для подальшого використання в комерційних цілях, то вибирають наступні показники:

- кількість виробів, випущених на ринок з менш небезпечними властивостями;
- кількість виробів, які можуть бути по закінченні терміну служби використані повторно або поновлені;
- відсоткова частка продукції, яка після закінчення терміну служби може бути відновлена або повторно використана.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		147



Коли на ділянці виконуються певні роботи, і підприємство зацікавлене в екологічній ефективності цих послуг, то вибирають наступні показники:

- кількість використовуваних миючих засобів, що припадають на квадратний метр площі;
- витрата палива при наданні одиниці транспортної послуги.

Коли екологічна ефективність цеху (ділянки) пов'язана з відходами, одержуваними при функціонуванні організації, то вибирають наступні показники:

- кількість відходів на рік, які припадають на одиницю продукції, що випускається;
- кількість небезпечних, відновлюваних або повторно використовуваних відходів, що утворюються на ділянці протягом року;
- загальна кількість відходів, що розміщуються за межами території цеху підприємства.

Коли екологічна ефективність пов'язана з викидами в атмосферу, що утворюються в процесі виробництва продукції на ділянці, то вибирають наступні показники:

- кількість викидів на рік;
- кількість вторинної (теплової) енергії, що викидається в атмосферу;
- кількість викидів, що припадає на одиницю продукції, у рік.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
						148
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті вирішення завдань, поставлених у магістерській роботі, виконане наступне:

- проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення деталі, виявлено недоліки та вказано шляхи їх усунення;
- досліджено методи топологічної оптимізації, побудовано сітку скінченних елементів деталі, наведено результати статистичного аналізу до і після оптимізації з використанням адитивних технологій;
- запропоновано більш точну й металомістку заготовку для деталі;
- проведено структурний аналіз можливих варіантів технологічного процесу виготовлення корпусу, вибрано оптимальний за собівартістю виготовлення;
- для проектного варіанту технології розраховано загальні та проміжні припуски операційних розмірів, проведено розмірний аналіз, визначено режими різання, норми часу для операцій механічного оброблення;
- модернізовано існуючі та спроектовано нове технологічне оснащення (фрезерний пристрій, підставки);
- здійснено планування ділянки механічного цеху для виготовлення корпусу;
- проведено розрахунок очікуваного економічного ефекту від запровадження проектної технології порівняно з базовою, термін окупності складає 2,9 роки;
- розроблено заходи з охорони праці на спроектованій ділянці, розглянуто питання безпеки в надзвичайних ситуаціях і охорони навколишнього середовища.

					<i>MP 18–382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архувів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>					149	1
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>				<i>ТНТУ, каф. ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. [Текст] / В.И. Анурьев. В 3-х т. Т.1. Изд. 6-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.
2. Башин, К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли / Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. № 51. – Пермь: Вид-во ПНИПУ, 2017. – С.51-61.
3. Боженко, Л.І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження: Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих закладів освіти. [Текст] / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 2001. – 296 с.
4. Боженко, Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник. [Текст] / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 1996. – 368 с.
5. Гевко, Б.М. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: Навчальний посібник. [Текст] / Б.М. Гевко, М.Г. Дичковський, А.В. Матвійчук. – К.: Вид-во «Кондор», 2009. – 220 с.
6. Гевко, Б.М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра спеціальності 8.090202. [Текст] / Б.М. Гевко, Ю.Б. Капаціла, І.Г. Ткаченко. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ, 2002. – 35 с.
7. Гевко, Ів.Б., Оксентюк, А.О., Галушак, М.П. Організація виробництва: Теорія і практика: Підручник. [Текст] / Ів.Б. Гевко, А.О. Оксентюк, М.П. Галушак. - К.: Кондор, 2008.- 178 с.

					<i>MP 18-382.00.00</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ласько В.Р.</i>			<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Данильченко Л.М.</i>						
<i>Реценз.</i>		<i>Ярема І.Т.</i>						
<i>Н. контр.</i>		<i>Ткаченко І.Г.</i>				<i>ТНТУ, каф.ТМ, гр. МТм-61</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>						

8. Горбатюк, Є.О. Технологія машинобудування. [Текст] / Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – К.: Вид-во «Новий світ», 2009. – 360 с.

9. Добрянський, С.С. Технологія машинобудування і технологічні основи машинобудування. [Текст] / С.С. Добрянський, В.К. Фролов, Ю.М. Малафеев, В.М. Гриценко. - К.: НТУУ «КПІ», 2007. - 72 с.

10. Закалов, О.В., Капаціла, Ю.Б. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія автоматизованого виробництва” та “Технологія машинобудування”. [Текст] / О.В. Закалов, Ю.Б. Капаціла. – Тернопіль, 1995. – 28 с.

11. Ильянков, А.И. Технология машиностроения: Практикум и курсовое проектирование. [Текст] / А.И. Ильянков, В.Ю. Новиков. – М.: Академия, 2012. – 432 с.

12. Капаціла Ю.Б. Механоскладальні дільниці та цехи. Методичні вказівки до практичних та самостійних занять студентів всіх форм навчання напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» та спеціальності 131 «Прикладна механіка» [Текст] / Ю.Б. Капаціла, Р.В. Комар, А.Є. Дячун – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016. – 40 с.

13. Капаціла, Ю.Б. Проектування машинобудівних виробництв. Методичні вказівки до курсової роботи для студентів всіх форм навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» [Текст] / Ю.Б. Капаціла, Р.В. Комар. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя – Тернопіль.: ТНТУ, 2017. – 40 с.

14. Корсаков, В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. [Текст] / В.С. Корсаков.– 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.

15. Краткий справочник металлиста. [Текст] / Под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.

16. Ласько, В.Р. Выбор рациональной конструкции и технология изготовления насадки для стрельбы холостыми патронами. [Текст] / В.В.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Васильків, В.Р. Ласько. / Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 26-27 листопада 2018 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2018. - С.117-118.

17. Ласько, В.Р. Дослідження методів топологічної оптимізації деталей машин. [Текст] / Л.М. Данильченко, В.Р. Ласько. / Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 27-28 листопада 2019 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2019.

18. Ласько, В.Р. Дослідження функцій опису при формуванні форми та розмірів елементів плоских листових деталей. [Текст] / Л.М. Данильченко, В.Р. Ласько. / Матеріали XII Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ – Тернопіль 25-26 квітня 2019 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2019. - С.128.

19. Ласько, В.Р. Застосування диференціальних рівнянь при розв’язанні задач механіки. [Текст] / І.Ю. Габрусєва, В.Р. Ласько. / Збірник тез VIII всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ – Тернопіль 23-24 квітня 2015 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2015. - С.126.

20. Ласько, В.Р. Розв’язання диференціальних рівнянь параболічного типу засобами Mathcad. [Текст] / І.Ю. Габрусєва, В.Р. Ласько. / Матеріали IX Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ – Тернопіль 20-21 квітня 2016 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2016. - С.130

21. Ласько, В.Р. Технологічні методи підвищення зносостійкості важконавантажених пар тертя. [Текст] / Б.В. Гупка, В.Р. Ласько. / Збірник тез VIII всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ – Тернопіль 23-24 квітня 2015 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2015. - С.160.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Ласько, В.Р. Фігури Хладні: умови спостереження та пояснення виникнення. [Текст] / О.І. Крамар, Ласько В., Королишин Ю., Свідзінський С., Харевич А., Сорочан В. / Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ – Тернопіль 20-21 квітня 2016 р. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2016. - С.202

23. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. [Текст] / Часть 2. Нормативы режимов резания. - М.: Экономика, 1990. – 474 с.

24. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах Т1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

25. Справочник технолога-машиностроителя В 2-х томах Т2. Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

26. Товт, Б.М. Постановка задачі топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу та спеціальної техніки залізниць з урахуванням комплексних обмежень на міцність / Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, вип. 5 (47), - Дніпропетровськ, 2013 – С.79-88.

27. Шевцов, С.Н. Методы оптимизации конструкций: курс лекций / Донск. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д, 2010. – С. 97

28. Шевцова, В.С., Шевцова М.С. Сравнительный анализ методов оптимизации топологии (SIMP и Level-Set) на примере реконструкции крыла стрекоты // Вестник Юж. науч. центра. – 2013. – Т. 9, № 1. – С. 8–16.

29. A new hybrid topology optimization method coupling ESO and SIMP method / H. Jiao, Q. Zhou, S. Fan, Y. Li // Lecture Notes in Electrical Engineering Proceedings of China. Modern Logistics Engineering. – 2014. – P. 373–384.

					<i>MP 18–382.00.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

