

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі  
Назва теми

«Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти другий (магістр)

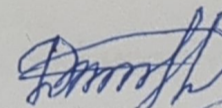
Галузь знань 13 механічна інженерія  
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка  
Шифр і назва спеціальності  
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»  
Назва

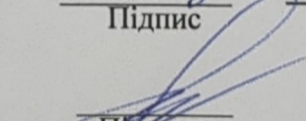
Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.24.05.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТМ-22-1  
Шифр

  
Підпис

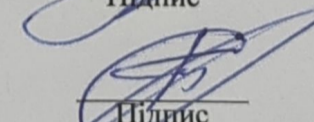
Дмитро БЕЗШТАНЬКО  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, звання

  
Підпис

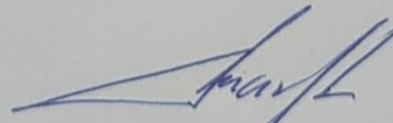
Володимир МИЛЬКО  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

  
Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри  
технології машинобудування  
Назва

  
Підпис

Віталій ТКАЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата «27» згрудня 2024

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури  
 Кафедра технології машинобудування  
 Рівень вищої освіти другий (магістр)  
 Галузь знань 13 механічна інженерія  
Шифр і назва  
 Спеціальність 131 прикладна механіка  
Шифр і назва  
 Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

 Віталій ТКАЧУК

2 . 09 . 2024

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ Безштаньку Дмитру Юрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК

керівник роботи Милько Володимир Володимирович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 серпня 2024 р. № 60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2024

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) кресленик деталі корпус 151.01.18 та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 5100 шт.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Дослідницький розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик деталі із 3D моделлю (1 лист А1); графотехнологія (1 лист А1); кресленик карти наладки (1 лист А1); кресленик верстатного пристрою (1 лист А1); кресленик контрольного пристрою (1 лист А1)

## 6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

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

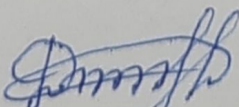
## 7 Дата видачі завдання

2.09.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	01.10.2024	
2 Технологічний розділ	01.11.2024	
3 Конструкторський розділ	20.11.2024	
4 Дослідницький розділ	10.12.2024	
5 Охорона праці	15.11.2024	

Студент

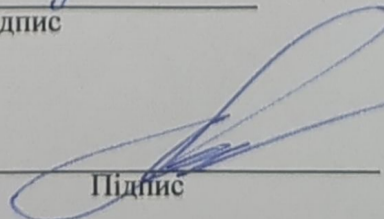


Підпис

Дмитро БЕЗШТАНЬКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проєкту (роботи)



Підпис

Володимир МИЛЬКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ Т14

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:

Назва кваліфікаційної роботи Удосконалення технічного процесу вигот.  
 Автор Олександр Безметалько

Освітня програма Технології машинобудування  
 Спеціальність: Управління механіка

Науковий керівник: Володимир Мелько  
 Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	+
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:  
11,8% Strike plagiarism  
4,0 AntiPlagiarism

Дата

Завідувач кафедри [Підпис] Віталь Ткачук  
 Підпис Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми [Підпис] Віталь Ткачук  
 Підпис Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи [Підпис] Володимир Мелько  
 Підпис Ім'я, прізвище

# РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну магістерську роботу  
Безштанько Дмитра Юрійовича

на тему Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус  
151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК

Тема роботи є актуальною і цікавою для сучасного виробництва. Робота скерована на вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 151.01.18»

У цій магістерській роботі автор запропонував та вирішив наступні задачі: запропоновано новий технологічний процес виготовлення деталі «Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК, також спроектована ні верстатний та контрольний пристрої.

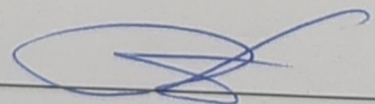
Графічна частина виконана на високому рівні із застосуванням SolidWorks. Креслення та пояснювальна записка повністю відповідають вимогам ДСТУ. Також у дослідному розділі проведено аналіз конструкції деталі «Корпус 151.01.18» у середовищі SolidWorks. Встановлено що деталь буде працювати при робочому навантаженні та має достатню жорсткість і не потребуватиме додаткових конструкторських модернізацій, та зміни окремих її параметрів. В розділі охорона праці приведено вимоги для продуктивної роботи.

Загальний висновок та оцінка

Робота виконана відповідно до завдання на високому науковому та інженерному рівні.

Рекомендується до захисту та в цілому робота заслуговує оцінки «відмінно»

Рецензент



Бабаєв О.П.

«23» грудня 2024р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Безштанько Дмитро Юрійович на захист дипломного проєкту (роботи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

ОЛЕГ ПОЛІЩУК

Декан факультету



(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Безштанько Д. Ю. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2023 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 83,33 %, задовільно 16,67 %.

шкалою ЄКТС: А 6,25 %, В 12,50 %, С 56,25 %, D 18,75 %, Е 6,25 %.

Методист факультету

*[Signature]*

(підпис)

(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Безштанько Дмитро Юрійович на захисті дипломного проєкту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК» виконав роботу на повну кількість балів. Робота зроблена в строки та з урахуванням усіх вимог.

Оцінка дипломного проєкту (роботи) добре

Керівник дипломного проєкту

*[Signature]*

(підпис)

В.Д. Меленко

(ім'я, прізвище)

" 26 " 12 2024 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Безштанько Д. Ю. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

*[Signature]* Віталій ТРАЧУК

(підпис, ім'я, прізвище)

" 27 " зрудня 2024 р.

Завідувачу кафедри

технології машинобудування

Віталіє Трагуса

здобувача вищої освіти (студента

ПБ, факультет, «курс», «група»)

Феміфри Безштанька

ФІТА ПМТМ-23-1

### ЗАЯВА

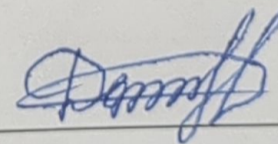
З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

24.12.2024

дата



підпис

## АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з ЧПК

У дипломній роботі розглядається удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус 151.01.18» із застосуванням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Деталь «Корпус 151.01.18» є важливою складовою частиною обладнання, яка вимагає високої точності та якості виготовлення. У роботі досліджується вплив технологічних параметрів на ефективність процесу обробки, а також оптимізація використання сучасного обладнання для підвищення продуктивності та зниження витрат.

Завданням роботи є розробка удосконаленого технологічного процесу, який включає визначення необхідних етапів обробки, вибір інструментів, визначення режимів різання та параметрів роботи верстатів з ЧПК. Прогнозується значне зменшення часу на виготовлення деталі та покращення точності завдяки автоматизації процесу, мінімізації людського фактору та використанню сучасних технологій. Крім того, в роботі розглядаються способи контролю якості та методи оптимізації витрат матеріалів.

У результаті проведених досліджень буде запропоновано технологічний процес, що дозволить підвищити ефективність виробництва, знизити витрати на обробку та забезпечити високі стандарти якості для виготовлення деталі «Корпус 151.01.18».

Автор роботи: Дмитро БЕЗШТАНЬКО

2024 р.

/Підпис/

Дата

**ABSTRACT:**

The topic of the work "Development of the technological process for manufacturing the component "Bevel Gear 12.021" using CNC machines

This thesis focuses on the improvement of the technological process for manufacturing the part "Housing 151.01.18" using CNC machines. The "Housing 151.01.18" is an essential component of the equipment that requires high precision and quality in its production. The thesis investigates the impact of technological parameters on the processing efficiency and optimization of modern equipment usage to increase productivity and reduce costs.

The objective of the work is to develop an improved technological process, which includes determining the necessary processing stages, selecting tools, and defining cutting conditions and machine parameters. It is expected that the process will significantly reduce manufacturing time and improve precision through automation, minimizing human error, and the use of modern technologies. Additionally, the thesis explores quality control methods and ways to optimize material consumption.

As a result of the research, an optimized technological process will be proposed, which will increase production efficiency, reduce processing costs, and ensure high-quality standards for manufacturing the "Housing 151.01.18" part.

The author of the work

Dmytro BEZSHTANKO

2024 p.

/Signature/ Date

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ	10
1.1 Аналіз об'єкта виробництва	10
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі	13
1.3 Розрахунок виробничої програми випуску виробів та деталей	13
1.4 Попереднє визначення типу виробництва	14
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	15
2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки	15
2.2 Розрахунок припусків під обробку	17
2.3 Вибір технологічних баз	22
2.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі	23
2.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі	23
2.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення	30
2.5 Розрахунок режимів різання	34
2.6 Нормування технологічного процесу механічної обробки	40
2.7 Техніко-економічне порівняння варіантів технологічного процесу	42
2.8 Розроблення в САМ ESPRIT програми оброблення на верстаті	43
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	47
3.1 Проектування пристосування для операції 010	47
3.1.1 Аналіз існуючих засобів технологічного оснащення операції механічної обробки	47
3.1.2. Розрахунок зусилля закріплення заготовки	47
3.1.3 Розрахунок пристосування на точність	50
3.2 Проектування пристрою для операції 020	51
3.2.1 Аналіз існуючих засобів технологічного оснащення операції механічної обробки	51
3.2.2 Розрахунок зусилля закріплення заготовки	52
3.2.3. Розрахунок пристосування на точність	54

3.3	Проектування контрольно-вимірювального пристрою	55
3.3.1	Розрахунок пристрою на точність	55
3.3.2	Призначення та опис роботи	55
	РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ	56
4.1	Аналіз напружено-деформованого стану корпусу букси	56
	РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
6.1	Умови безпечної роботи механічного цеху	66
5.2	Умови праці у виробничому приміщенні	67
5.3	Природне та штучне освітлення	70
5.4	Шум та вібрація. Вплив на організм, профілактика	72
5.5	Заходи з електробезпеки	77
5.6	Безпека у НС. Пожежна безпека	80
5.7	Охорона довкілля. Утилізація відходів машинобудівного виробництва	82
	ВИСНОВКИ	84
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	85
	ДОДАТКИ	85

## Вступ

Машинобудування – найважливіша ланка народного господарства держави, серцевина на всій важкій промисловості. Воно створює умови для розвитку всіх інших видів виробництва та галузей промисловості.

Головне завдання полягає у підвищенні темпів та ефективності розвитку економіки на базі прискорення науково-технічного прогресу, технічного переозброєння та реконструкції виробництва, інтенсивного використання створеного виробничого потенціалу, удосконалення системи управління, господарського механізму та досягнення на цій основі подальшого піднесення добробуту народу.

Виходячи з головного завдання, необхідно прискорити розвиток машинобудування, підвищити його технічний рівень, домагаючись ритмічності виробництва, максимального завантаження обладнання, суттєво підвищити змінність його роботи.

Для вирішення основних завдань машинобудівного комплексу на даний момент необхідно: широко впровадити гнучкі виробництва, що переналагоджуються, і системи автоматизованого проектування, автоматичні лінії, машини та обладнання з вбудованими засобами мікропроцесорної техніки, багатоопераційні верстати з числовими програмним управлінням, роторні та роторно-конвеєрні комплекси; розширити предметну за детальною та технологічною спеціалізацією, ефективно поєднуючи зі спеціалізованими заводами механозбірні підприємства, підвищити продуктивність праці, знизити собівартість продукції.

Поліпшення умов праці, підвищення її безпеки впливають на результати виробництва – продуктивність праці, якість і собівартість своєї продукції.

Продуктивність праці підвищується за рахунок збереження здоров'я працездатності людини, підвищення рівня використання робочого часу, продовження періоду активної трудової діяльності людини, економії суспільної

праці шляхом підвищення якості продукції, поліпшення використання основних виробничих фондів, зменшення аварій і т.д.

Метою дипломного проекту є: раціональний спосіб отримання заготовки, розробка оптимального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі, вибір високопродуктивного обладнання з ЧПУ, розробка конструкцій пристосувань з пневмоприводами, вибір прогресивних конструкцій різального інструменту, обґрунтоване призначення режимів різання, підвищення економічної ефективності виробництва, зниження трудомісткості, зменшення собівартості заготівельної операції та механічної обробки, покращення умов праці, збільшення коефіцієнта завантаження обладнання.

## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Аналіз об'єкта виробництва

У кваліфікаційній роботі розглядається деталь «Корпус 151.01.18», що виготовляється на підприємстві Шепетівський ремонтний завод. Корпус 151.01.18 призначений для розміщення елементів буксового вузла та мастила.

Букси є найважливішими елементами ходових частин вагона, від надійності яких залежить безпека руху поїздів. Букси розташовуються на шийках осі та перетворюють обертальний рух колісних пар, забезпечуючи просування вагона з необхідними швидкостями.

У практиці вагонобудування набула поширення велика кількість типів і конструкцій букс, які можна об'єднати в окремі групи:

- залежно від типу вагона їх поділяють на букси пасажирських та вантажних вагонів;
- за типом підшипників їх поділяють на букси з підшипниками кочення та з підшипниками ковзання;
- за способом посадки внутрішнього кільця роликового підшипника на шийку осі застосовують букси на гарячій та на втулочній посадці.
- існують букси з корпусом і безкорпусні, касетного типу з конічними підшипниками, а також букси з пружними елементами, що пом'якшують удари та поглинають шумові коливання.

Конструкція корпусу букси визначається схемою спирання рами візка на буксовий вузол і відрізняється також конструктивним оформленням лабіринтної частини.

Корпуси букс можуть бути цілісними — коли корпус виконаний разом з лабіринтною частиною і складовими — з впресованою лабіринтною частиною.

Букси вантажних вагонів мають як цілісні, і складові корпуси, букси пасажирських вагонів — лише цілісні.

У буксі є місце зіткнення корпусу з віссю, що обертається, яка неодмінно повинна бути ущільнена, щоб перешкоджати попаданню бруду ззовні. На деяких

тепловозах, наприклад, для цього використовується повстятий сальник, укріплений на задній стінці букси і торкається осі, що проходить через центральний виріз.

Лабіринтне кільце та лабіринтна частина корпусу, утворюючи чотирикамерне безконтактне ущільнення, перешкоджають витіканню мастила з букси та попаданню до неї механічних домішок. Крім герметизації корпусу з внутрішньої сторони, кільце фіксує положення корпусу букси на шийці осі та внутрішнього кільця заднього роликового підшипника.

У стінах передньої частини корпусів роблять отвори з нарізкою під болти для закріплення кришки кріплення.

Кріпильна кришка герметизує корпус букси із зовнішнього боку та фіксує зовнішні кільця підшипників у буксі. Залежно від типу буксового вузла кріпильні кришки можуть мати чотири або вісім отворів для їхнього кріплення до корпусу.

На рисунку 1.1 складальне креслення букси. У сталевому корпусі встановлені два роликові підшипники 5 і 7. Підшипники від осьового зсуву кріпляться гайкою 1. Для забезпечення герметичності встановлені кришка 2 і комір 8. Порожнина роликів підшипників на 2/3 об'єму заправляється консистентним мастилом. Для огляду підшипників та додавання мастила необхідно зняти кришку 2.

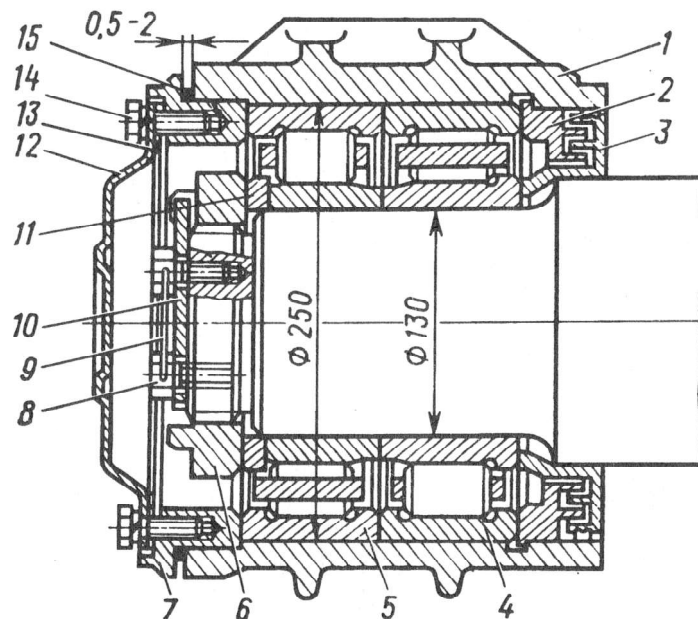


Рисунок 1.1 – Складальне креслення букси

1 – корпус букси; 2 - відокремлений лабіринт корпусу букси; 3 – лабіринтне кільце; 4 – задній підшипник; 5 – передній підшипник; 6 – торцева гайка; 7 – кріпильна кришка; 8 – болт М12 стопорної планки із пружинною шайбою; 9 – дріт; 10 – стопорна планка; 11 – упорне кільце підшипника; 12 – оглядова кришка; 13 – прокладка; 14 – болт М12 оглядової кришки; 15 – кільце ущільнювальне.

Надійність роботи букси багато в чому залежить від якості змащування підшипників. Однак при попаданні в буксі води до 5 % якість мастила погіршується, що знижує працездатність підшипників, оскільки відбувається захоплення торців роликів з бортами кілець, зношування центруючої поверхні сепаратора, а також спостерігаються корозійні пошкодження та ін. У зв'язку з цим випробувані нові мастила для роликівих підшипників зі спеціальними хімічно-активними присадками, що мають більш високу стабільність властивостей у процесі роботи буксового вузла. Цим вимогам відповідає модифіковане універсальне мастило на літєвій основі під умовною назвою «Літол», розроблене у ВНДІЖТ.

Деталь Корпус 151.01.18 виготовляється із Сталі 25Л ДСТУ 8781:2018.

Хімічний склад та механічні властивості Сталі 25Л наведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад Сталі 25Л

Si	C	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
			не більше				
0,20- 0,52	0,22- 0,30	0,35- 0,80	0,30	0,04	0,045	0,30	0,30

Таблиця 1.2 – Механічні властивості Сталі 25Л

Джерело	Стан постачання, режими термообробки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_B$	$\psi$	КСУ, Дж/ см <sup>2</sup>
			МПа		%		
ГОСТ 977 – 75	Нормалізації 880-900°С. Відпуск 610- 630°С.	До 100	240	450	19	30	40

### 1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Відпрацюванню на технологічність піддається деталь за кресленням заводу-виробника.

Деталь «Корпус 151.01.18» виготовляється литтям зі сталі 25Л ДСТУ 8781:2018. Виробнича технологічність конструкції виробу піддається якісній оцінці.

Конструкція деталі «Корпус 151.01.18» досить технологічна. Точність і шорсткість поверхонь, що використовуються як бази, забезпечують необхідну точність установки. Вимоги до точності основних поверхонь задовольняють умови експлуатації.

Точність та шорсткість оброблюваних поверхонь деталі легко досяжні, при застосуванні сучасних високопродуктивних методів обробки.

### 1.3 Розрахунок виробничої програми випуску виробів та деталей

За завданням річна програма випуску виробів становить  $N_1=5000$  шт., тоді програма випуску деталей у штуках визначається за такою формулою [1, с. 21]:

$$N_r = N_1 \times m \times \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) \text{ шт.},$$

де  $m$  – кількість деталей у виробі,  $m=1$ ;

$\beta$  – кількість запасних частин, необхідних для безперебійної роботи підприємства, приймаємо  $\beta=2\%$ .

$$N_r = 5000 \times 1 \times \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 5100 \text{ шт.}$$

#### 1.4 Попереднє визначення типу виробництва

Для орієнтовного визначення типу виробництва у цій стадії проектування можна скористатися рекомендаціями таблицею «Залежність типу виробництва від обсягу випуску та маси вироби». [23, табл. 4.3]

Для цієї деталі масою 70,3 кг та виробничою програмою 5100 шт. встановили тип виробництва: середньосерійне.

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

Технічному контролю піддається робоче креслення основної деталі.

Креслення деталі «Корпус 151.01.18» має необхідну кількість проєкцій і перерізів, що чітко і однозначно пояснюють його конфігурацію. Цього достатньо для вичерпного уявлення про деталі.

Представлені всі необхідні розміри з відхиленнями та шорсткістю оброблюваних поверхонь. На кресленні вказано технічні вимоги.

Креслення містить усі необхідні відомості про матеріал деталі та її масу.

### 2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки

Метод отримання заготовки за умов заводу – литтям у піщано-глинисті форми зі сталі 25Л ДСТУ 8781:2018. При виробництві форм та стрижнів застосовується ручне формування за дерев'яними моделями. Це важкий, шкідливий та малопродуктивний спосіб отримання виливків.

Пропонується виготовляти заготовку литтям у кокіль із сталі 25Л ДСТУ 8781:201 , з використанням піщаних стрижнів.

Використання в металевих формах разових піщаних стрижнів істотно розширює можливості способу виробництва фасонних виливків зі складними зовнішніми і внутрішніми поверхнями. Підвищення продуктивності праці внаслідок виключення трудомістких операцій сумішоприготовання, формування. Використання лиття в кокіль дозволяє у 2-3 рази підвищити продуктивність праці. Усунення шкідливих операцій вибивання форм, очищення виливків від пригару, їх обрубкування, загальне оздоровлення та поліпшення умов праці, менше забруднення довкілля.

Механізація та автоматизація процесу виготовлення виливка, обумовлена багаторазовістю використання кокіля. Також усувається ряд факторів, що впливають на якість виливків при литті в піщані форми, таких як вологість, міцність, газопроникність формувальної суміші, що робить процес лиття в кокіль більш керованим.

Розрахунок припусків для литих заготовок здійснюється за ДСТУ 8981:2020 та зводиться до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок припусків на виливок

Розмір деталі	Допуск розміру виливка	Вид остаточної обробки	Ряд припуску	Припуск на сторону, мм	Розмір виливка з відхилення м
132 <sub>-0,20</sub>	4,0	Чистова	9	6,0	123,2±2,5
190 <sub>-0,3</sub>	3,6	Чистова		6,1	202,2±2,8
17 <sup>+0,4</sup>	2,0	Чистова		4,4	25,8±1,8
Ø252H9	5,0	Напівчистова		5,3	Ø241,4±2,5
Ø250G7	4,4	Тонке точіння		4,8	Ø240,4±2,2
Ø174 H9	4,4	Напівчистова		4,8	Ø164,4±2,5

Клас розмірної точності – 11 т.

Ступінь точності поверхні виливка — 13.

Ступінь короблення елементів виливка — 5.

Клас точності маси – 13.

Допуск зміщення виливка по площині роз'єму – 4,0 мм.

Допуск зміщення, викликаний перекосом стрижня – 2,0 мм.

Допуск форми та розташування поверхонь виливка – 0,5 мм.

Допуск нерівностей поверхонь виливка – 1,6 мм.

*Економічна ефективність запропонованого методу одержання заготовки*

Вартість заготовки, одержаної литтям у піщані форми, визначається за формулою:

$$M = \left( \frac{C \cdot Q}{1000} \cdot k_c \cdot k_t \cdot k_b \cdot k_n \cdot k_m \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отн.}}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.1)$$

де С – 16350 грн. Базова вартість 1 т лиття.

Q – маса заготовки, кг

Q – маса готової деталі, кг

$$M = \left( \frac{16350 \cdot 73}{1000} \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1 \right) - (73 - 70,3) \cdot \frac{5000}{1000} = 6130 \text{ грн.},$$

Вартість заготовки, отриманої литтям у кокіль, розраховуємо за формулою:

$$M = \left( \frac{14700 \cdot 73}{1000} \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1 \right) - (73 - 70,3) \cdot \frac{5000}{1000} = 5510 \text{ грн.},$$

Цей спосіб дозволяє економити метал та скорочує грошові витрати, підвищити точність виготовлення заготовки.

$$E_r = (C_1 - C_2)N = (6130 - 5510) \cdot 5100 = 3162000 \text{ грн.}$$

Метод отримання заготовки приймається литтям у кокіль, так як для цієї форми заготовки цей варіант найбільш оптимальний.

## 2.2. Розрахунок припусків під обробку

Припуск визначається розрахунково-аналітичним методом на внутрішній діаметр 250G7.

Маршрут обробки: точіння чорнове, точення напівчистове, точіння чистове, тонке. Розрахунок зводимо до таблиці 2.2

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу визначиться за формулою: [1, табл. 4.7]

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2}, \quad (2.2)$$

де  $\Delta_{\text{кор}}$  – величина короблення,

$$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \times l, \quad (2.3)$$

$\Delta_{\text{к}}$  – питома кривизна заготовки на 1мм довжини,  $\Delta_{\text{к}} = 0,8$  мкм/мм;

$l$  – довжина деталі;  $l = 284$  мм,

$$\rho_{\text{кор}} = 0,8 \times 284 = 227 \text{ мкм},$$

$\Delta_{\text{см}}$  – сумарне зміщення,  $\Delta_{\text{см}} = 0,4$  мм.

[5, табл. 4]

Таблиця 2.2 – Розрахунок припусків

Технологічні переходи обробки поверхні Ø250H7	Елементи припуску, Мкм				Горизонтальний припуск 2Z <sub>прип.</sub> , мкм	мінімальний габаритний розмер, мм	Допуск Td, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	H	Δ	ε				dmin	dmax	2Z <sub>min</sub>	2Z <sub>max</sub>
Заготовка	200	300	460	-	-	240,4	4400	238,2	242,6	-	-
Розточування Чорнове	50	50	28	-	2x1038	246,16	290	246,16	246,45	2076	6186
Розточування напівчистове	25	25	-	-	2x992	248,05	190	248,05	248,24	1984	2084
Розточування чистове	20	15	-	-	2x35	249,04	115	249,04	249,15	70	145
Розточування тонке	5	5	-	-	2x10	250	52	250	250,05	20	83

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу визначиться за формулою: [1, табл. 4.7]

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{кор}^2 + \Delta_{см}^2},$$

де  $\Delta_{кор}$  – величина короблення,

$$\Delta_{кор} = \Delta_{к} \times l,$$

$\Delta_{к}$  – питома кривизна заготовки на 1мм довжини,  $\Delta_{к}=0,8$  мкм/мм;

$l$  – довжина деталі;  $l=284$  мм,

$$\rho_{кор} = 0,8 \times 284 = 227 \text{ мкм},$$

$\Delta_{см}$  – сумарне зміщення,  $\Delta_{см}=0,4$  мм. [5, табл. 4]

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,227^2 + 0,4^2} = 0,460 \approx 460 \text{ мкм}.$$

Величина остаточного просторового відхилення

$$\Delta_{ост} = K_y \times \Delta_{\Sigma},$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення форми,  $K_y=0,06$ , [1, стр. 73]

$$\Delta_{ост} = 0,06 \times 460 = 27,6 \approx 28 \text{ мкм},$$

Після чорнового точіння значенням  $\Delta$  нехтуємо, оскільки це значення нехтуючи мале.

Найбільший зазор між отвором та пальцем:

$$S_{\max} = \delta_A + \delta_B + S_{\min}, \quad (2.4)$$

де  $\delta_A$  - допуск на отвір:  $\delta_A = 0,066$  мм;  $\delta_B$  - допуск на діаметр пальця:  $\delta_B = 0,013$  мм;  $S_{\min}$  - мінімальний зазор між діаметрами пальця і отвору:  $S_{\min} = 0,06$  мм.

Тоді найбільший кут повороту заготовки на пальці може бути знайдений з відношення найбільшого зазору при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані між базовими отворами:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,066 + 0,013 + 0,06}{\sqrt{190^2 + 143^2}} = 0,0006.$$

На підставі наведених у таблиці даних робимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою для окремого випадку (обробка в центрах):

$$2Z_{imin} = 2 \left[ (R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \text{ мм} \quad (2.5)$$

де  $R_{z i-1}$  - висота нерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  - глибина дефектного поверхневого шару, на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  - сумарні відхилення розташування поверхні на переході.

При чорновому розточуванні:

$$2Z_{min_{\text{чорн.точ}}} = 2 \left[ (200 + 300) + \sqrt{460^2 + 0} \right] = 2076, \text{ мкм}$$

При напівчистовому розточуванні:

$$2Z_{min_{\text{получист.точ}}} = 2 \left[ (50 + 50) + \sqrt{28^2 + 0} \right] = 1984, \text{ мкм}$$

При чистовому розточуванні:

$$2Z_{min_{\text{чист.точ}}} = 2 \left[ (20 + 15) + \sqrt{0^2 + 0^2} \right] = 70, \text{ мкм}$$

При тонкому розточуванні:

$$2Z_{min_{\text{тонкое.точ}}} = 2 \left[ (5 + 5) + \sqrt{0^2 + 0^2} \right] = 20, \text{ мкм}$$

Максимальне значення припуску визначаємо, користуючись формулою

$$2Z_{imax} = 2Z_{imin} + TD_{i-1} - TD_i, \text{ мм}$$

де  $Td_{i-1}$  – допуск на розмір на попередньому переході, мкм;

$Td_i$  – допуск на розмір на переході, мкм.

При чорновому розточуванні:

$$2Z_{max_{\text{чорнов.растач}}} = 2076 + 4400 - 290 = 6186, \text{ мкм}$$

При напівчистовому розточуванні:

$$2Z_{max_{\text{получ.растач}}} = 1984 + 290 - 190 = 2084, \text{ мкм}$$

При чистовому розточуванні:

$$2Z_{max_{\text{чистов.растач}}} = 70 + 190 - 115 = 145, \text{ мкм}$$

При тонкому розточуванні:

$$2Z_{max_{\text{тонкое.растач}}} = 20 + 115 - 52 = 83, \text{ мкм}$$

Значення граничних діаметрів, одержуваних кожному переході, визначаємо, користуючись формулами:

$$d_{max} = d_{maxi} + 2Z_{maxi}, \text{ мм} \quad (2.6)$$

$$d_{mini} = d_{mini} + 2Z_{mini}, \text{ мм} \quad (2.7)$$

де  $d_{maxi}$ ,  $d_{mini}$  – відповідно найбільший та найменший граничні розміри, що отримуються на попередньому переході, мм;

$2Z_{maxi}$ ,  $2Z_{mini}$  – відповідно максимальний та мінімальний припуски на попередньому переході, мм.

Після тонкого розточування:

$$d_{max} = d_H + es = 250 + 0,052 = 250,05 \text{ мм},$$

$$d_{min} = d_H + ei = 250 - 0 = 250 \text{ мм},$$

Після чистового точіння:

$$d_{max} = d_{max} - 2Z_{min} = 249,04 + 0,11 = 249,15 \text{ мм},$$

$$d_{min} = d_{min} - 2Z_{max} = 249,04 - 0 = 249,04 \text{ мм}.$$

Після напівчистового точіння:

$$d_{max} = d_{max} - 2Z_{min} = 248,05 + 0,19 = 248,24 \text{ мм},$$

$$d_{min} = d_{min} - 2Z_{max} = 248,05 - 0 = 248,05 \text{ мм}.$$

Після чорнового точіння:

$$d_{\max} = d_{\max} - 2Z_{\min} = 246,16 + -0,29 = 246,45 \text{ мм},$$

$$d_{\min} = d_{\min} - 2Z_{\max} = 246,16 - 0 = 246,16 \text{ мм}.$$

Розміри заготовки:

$$d_{\max} = d_{\max} - 2Z_{\min} = 240,4 + 2,2 = 242,6 \text{ мм},$$

$$d_{\min_3} = d_{\min} - 2Z_{\max} = 240,4 - 2,2 = 238,2 \text{ мм}.$$

Визначаємо загальні припуски на обробку:

$$2Z_{0\min} = \Sigma 2Z_{i\min} = 2076 + 1984 + 70 + 20 = 4150 \text{ мкм},$$

$$2Z_{0\max} = \Sigma 2Z_{i\max} = 6186 + 2084 + 145 + 83 = 8498 \text{ мкм}.$$

Перевірка:

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = Td_{\text{загот.}} - Td_{\text{дет.}}$$

$$8498 - 4150 = 4400 - 52.$$

$$4348 = 4348.$$

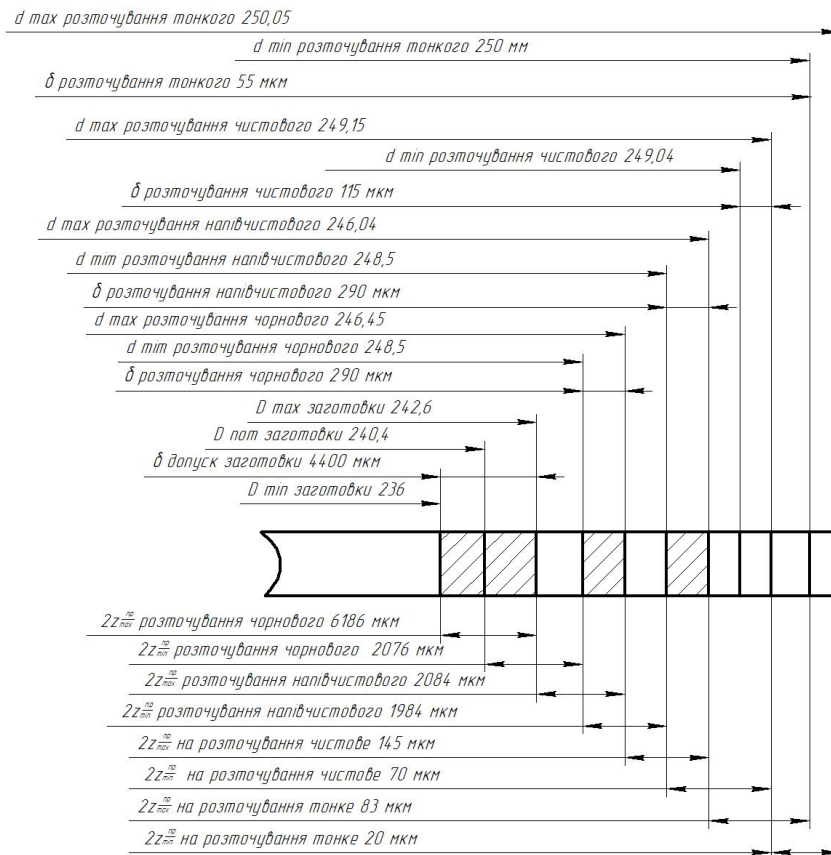


Рисунок 2.1 – Схема припусків на обробку отвору  $\text{Ø}250\text{G}7$

Припуски на інші поверхні наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 – Припуски на механічну обробку

Розмір, мм	Припуск, мм	Вид обробки	Припуск по переходах, мм
1	2	3	4
132	4	чорнове фрезерування	2,5
		напівчист. фрезерування	1,5
284	5	чорнове фрезерування	3,7
		напівчист. фрезерування	1,3
335	3,2	чорнове фрезерування	3,2
Ø252Н11	6,9	Розточ. чорнове	4,3
		Розточ. напівчистове	1,7
216	6,2	Розточув. чорнове	3,3
		Розточ. напівчистове	2
		Розточ. чистове	0,9

### 2.3. Вибір технологічних баз

У заводському технологічному процесі при побудові маршруту обробки використано правило 6-ти точок, дотримано принципи сталості та принцип суміщення настановних баз із вимірювальними. Технологічні бази забезпечують достатню стійкість та жорсткість установки заготовки, що досягається відповідними розмірами та якістю базових поверхонь, а також їх взаємним розташуванням. Для повної орієнтації заготовки в пристосуванні число та розташування настановних елементів таке, що при дотриманні умови невідривності баз від настановних елементів (тобто збереження щільного контакту між ними) заготовка не має зсуву та обертання щодо трьох координатних осей.

У запропонованому варіанті технологічного процесу теоретичні схеми базування позбавляють деталь шести ступенів свободи і дотримується принцип сталості та суміщення настановних баз з вимірювальними.

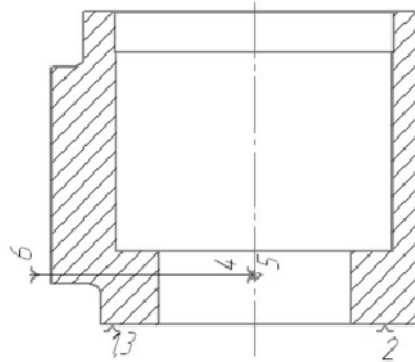


Рисунок 2.2 – Базування на операції 010

Правий торець деталі – технологічна настановна база. Вісь внутрішньої циліндричної поверхні – технологічна база. При закріпленні деталь орієнтується за технологічною опорною прихованою базою - діаметральним перерізом.

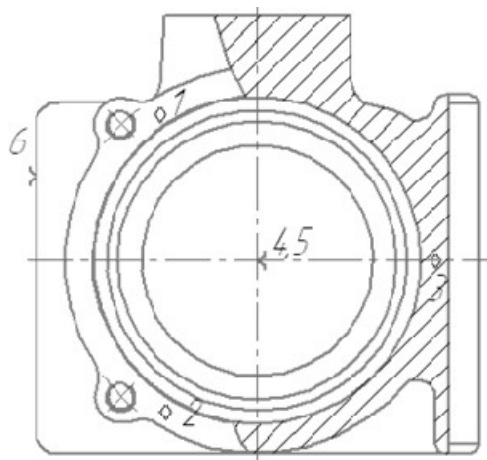


Рисунок 2.3 – Базування на операціях 015, 020

Лівий торець — технологічна настановна явна база, вісь отвору – технологічна подвійна опорна прихована база, торець — технологічна опорна явна базаа.

## 2.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі

### 2.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі

Предметом аналізу є технологічний процес виготовлення деталі «Корпус 151.01.18». Виробництво середньосерійне, обсяг випуску деталей – 5100 штук.

Маршрутний технологічний процес складений раціонально, послідовність операцій дозволяє отримати необхідну форму та точність деталі.

Обладнання, що застосовується на виробництві, вимагає частішого обслуговування та ремонту, оскільки має підвищену потужність, а це призводить до збільшення часу та витрат. На фрезерній операції (верстат 6606СА) при фрезеруванні площин використовується пристосування з механічним приводом та спеціальною фрезою, що збільшує машинний та допоміжний час та знижує продуктивність. На радіально свердлильних операціях (верстат 2М55) застосовується плита з кондукторними втулками, що також збільшує машинний та допоміжний час та знижує продуктивність.

Загальним недоліком цього технологічного процесу є те, що мало автоматизований. На заводі застосовуються пристрої з ручним затискачем і ручною установкою деталі.

З аналізу заводського технологічного процесу можна зробити кілька висновків. Ділянка мало автоматизована, обладнання застаріло, що призводить до залучення додаткових робітників; збільшення часу обробки і, отже, зменшення продуктивності та збільшення собівартості деталі.

Заводський технологічний процес обробки деталі «Корпус 151.01.18» наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Заводський процес обробки деталі «Корпус 151.01.18»

Найменування операції	Обладнання	Пристосування, ріжучий інструмент
005 Токарно-гвинторізна	165	

1. Встановити та закріпити заготовку в 4-х кулачковому патроні, вивірити та закріпити		Лінійка-500 ГОСТ 427-75
2. Підрізати торець, витримуючи розміри 130 (-0,4;0)		Різець 2103-0059 Т5К10 ГОСТ 18879-73; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89
3. Розточити отвір, витримуючи розміри $\varnothing 249,3(+0,2;0), 216(+0,2;0)$		Державка 6701-0101 ГОСТ 13069-67; різець 2103-1122 Т5К10 ГОСТ 188-73; нутромір НМ600 ГОСТ10-88; штангенглибиномір ШГ-250-0.1 ГОСТ 162-90; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ166-89
4. Розточити отвір, витримуючи розміри $\varnothing 252(+0,3;0); 37(+1;0)$		Державка 6701-0101 ГОСТ 13069-67; різець 2103-1122 Т5К10 ГОСТ 188-73; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-//-250-0.05 ГОСТ 166-89
5. Розточити фаску, витримуючи розміри $1,6 \times 45^\circ$ в отв.		Державка 6701-0101 ГОСТ 13069-67; різець 2103-1122 Т5К10 ГОСТ 188-73; шаблон 8371-0064-01
6. Розточити канавку, витримуючи розміри $\varnothing 252(+0,3;0)$		Різець 2141-0044 Т5К10 ГОСТ 18883-73; шаблон 6-385
7. Розточити отвір, витримуючи розміри $\varnothing 225 (+0,5;-0,5), 2(+0,2;0)$		Різець 2141-0044 Т5К10 ГОСТ 18883-73; кронциркуль 300 СТП 4.11.06-2002; штангенглибиномір ШГ-250-0.1 ГОСТ 162-90
8. Зняти деталь		
9. Контроль ОТК: перевірити виконані операції		Набір зразків шорсткості 0.4-12.5 Р ГОСТ 9378-93
010 Токарно-гвинторізна		
1. Встановити та закріпити деталь на оправлення	1А64	Оправлення 6-309
2. Підрізати торець, витримуючи розміри 284 (-0,5;0)		Різець 2103-0059 Т5К10 ГОСТ 18879-73; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89

3. Розточити отвір до Ø173(+0,3;0) на прохід, начорно		Різець 2141-0044 Т5К10 ГОСТ 18883-73; штангенциркуль ШЦ-//-250-0.05 ГОСТ 166-89
4. Розточити отвір до Ø174(+0,1;0) на прохід		Пробка 8121.0173; Різець 2141-0044 Т5К10 ГОСТ 18883-73; штангенциркуль ШЦ-//-250-0.05 ГОСТ 166-89
5. Розточити отвір, витримуючи розміри Ø246(+0,29;0);18(+0,18;0)		Різець 2141-0044 Т5К10 ГОСТ 18883-73; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-//-250-0.05 ГОСТ 166-89
6. Точити торцеву канавку, витримуючи розміри Ø190(0;-0,3), Ø210(+0,3;0), 38(0;-0,5)		Різець 2109.0042; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-2-250-0.05 ГОСТ 166-89
7. Точити торцеву канавку, витримуючи розміри Ø226(0;-0,3), Ø246(+0,3;0), 38(0;-0,5)		Різець 2109.0042; шаблон 8371.0466; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-//-250-0.05 ГОСТ 166-89
8. Зняти деталь		
9. Контроль ОТК: перевірити виконання операції		Набір зразків шорсткості 0.4-12.5 Р ГОСТ 9378-93
015 Поздовжньо-фрезерна		
1. Встановити та закріпити деталь у пристосуванні		Кондуктор 7210-4019
2. Фрезерувати поверхню попередньо		Фреза 2214-0003 Т5К19 ГОСТ 24359-80; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89
3. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 132 (+0,2;+0,5)	6606СА	Фреза 2214-0014; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89
4. Зняти деталь		
5. Контроль ОТК: перевірити виконання операції		Набір зразків шорсткості 0.4-12.5 ФТ ГОСТ 9378-93

020 Поздовжньо-фрезерна		
1. Встановити та закріпити деталь у пристосуванні	6Г605	Кондуктор 7210-4019
2. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 130(+0,2;-0,3)		2. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 130(+0,2;-0,3)
3. Зняти деталь		
4. Контроль ОТК: перевірити виконання операції		Набір зразків шорсткості 0.4-12.5 ФТ ГОСТ 9378-93
025 Розмітка		
1. Розмітити отвір		Набір інструментів розмітки
2. Розмітити центр 4 отвори		Набір інструментів розмітки; шаблон 8371.0440
030 Радіально-свердлильна		
1. Встановити і закріпити деталь (Установ А)	6Р13	
2. Встановити на деталь та закріпити накладний кондуктор		Кондуктор 6-317
3.Сверлить 4 отвори, витримуючи розмір 33(+1;-1)		Свердло 2301-0060 ГОСТ 10903-77; втулка 6100-0144 ГОСТ 13598-85; втулка 6100-0329 ГОСТ 13598-85; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89
4. Зняти кондуктор		
5.Зенкувати фаску, витримуючи розмір 2,5×45° в 4 отв.		Втулка 6100-0144 ГОСТ 13598-85; втулка 6100-0329 ГОСТ 13598-85; зенковка 2353-0135 ГОСТ 14953-80; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1

		ГОСТ 166-89
6. Нарізати різьбу 20×2,5-7H в 4 отворах в упор		Втулка 6100-0146 ГОСТ 13598-85; патрон 6249.0004; мітчик 26201729 ГОСТ 3266-81; пробка 8221-3080 7H ГОСТ 17758-72; штангенциркуль ШЦ/-125-0.1 ГОСТ 166-89
7.Перевстановити деталь (Установ Б)		
8.Свердлити 4 отвори на глибину 13(+0,2;-0,2)		Втулка 6100-0142 ГОСТ 13598-85; втулка 6100-0146 ГОСТ 13598-85; Свердло 2301-0039 ГОСТ 10903-77; штангенциркуль ШЦ/-125-0.1 ГОСТ 166-89
9.Свердлити отвір на глибину 13(+0,2;-0,2)		Втулка 6100-0144 ГОСТ 13598-85; втулка 6100-0327 ГОСТ 13598-85; Свердло 2301-0061 ГОСТ 10903-77; штангенциркуль ШЦ/-125-0.1 ГОСТ 166-89
10. Зняти деталь		
11. Контроль ОТК: перевірити виконані операції		
035 Вертикально-фрезерна		
1. Встановити та закріпити деталь на столі верстата з кріпленням болтами та планками		
2.Фрезерувати паз, витримуючи розмір 115(+0,5;-0,5), 80(+0,5;0)	6P13	Втулка 6030-0001 ГОСТ 13790-68; фреза 2223-0003 ГОСТ 17026-71; штангенциркуль ШЦ/-125-0.1 ГОСТ 166-89
3. Перевстановити та закріпити деталь на столі верстата з кріпленням болтами та планками		
4.Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 17(+0,4;0)		Втулка 6030-0001 ГОСТ 13790-68; фреза 2223-0003 ГОСТ 17026-71; штангенциркуль ШЦ/-125-0.1 ГОСТ 166-89

5. Зняти деталь		
6. Контроль ОТК: перевірити виконані операції		
040 Слюсарна		
1. Встановити деталь (Установ А)		
2. Зачистити задирки і притупити гострі кромки на ребрах паза		Комплект слюсарного інструменту
3. Зачистити задирки і притупити гострі кромки на поверхні		Комплект слюсарного інструменту
4. Переустановити деталь (Установ Б)		
5. Зачистити задирки і притупити гострі кромки на поверхні		Комплект слюсарного інструменту
045 Розмітки		
1. Розмітити центр отвір		Набір інструментів розмітки
050 Радіально-свердлильна		
1. Встановити і закріпить деталь		
2. Свердлити отвір, витримуючи розмір $\varnothing 8,5(+0,2;0)$	2М55	Оправка 6100-4014-01; патрон 10-В12 ТУ22-08-2-87; свердло 2300-0200 ГОСТ 10902-77
3. Зенкувати фаску, витримуючи розмір $1,6 \times 45^\circ$ в отв.		Втулка 6100-0144 ГОСТ 13598-85; втулка 6100-0329 ГОСТ 13598-85; зенковка 2353-0135 ГОСТ 14953-80;

		штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89
4. Нарізати різьбу 10×1,5-7H в отворі		Патрон 6249.0004; мітчик 26202595 ГОСТ 3266-81
5. Контроль ОТК: перевірити виконані операції		
055 Алмазно-розточувальна		
1. Встановити і закріпити деталь на оправку		
2. Розточити отвір до 250(+0,02; +0,07) в упор	ОС 3416	Різець 2146-0002; різець 8146-0001; набір зразків шорсткості 0.4-12.5 Р ГОСТ 9378-93; нутромір 250-450-2 ГОСТ 868-82
3. Зняти деталь		
4. Контроль ОТК: перевірити виконані операції		

#### 2.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення

При середньосерійному виробництві ефективно застосування верстатів із ЧПУ, оскільки спеціальні верстати не вигідні у цих умовах.

На основі вищезазначених зауважень слід внести такі зміни до заводського технологічного процесу:

1) Замінити токарно-гвинторізну операцію та алмазно-розточувальну однією розточувальною з ЧПУ.

2) Замінити токарно-гвинторізну операцію та радіально-свердлильну одну розточувальну з ЧПУ.

3) Замінити дві поздовжньо-фрезерні операції, вертикально-фрезерну та радіально-свердлильну однією фрезерною з ЧПУ.


4) Замінити різальний інструмент із швидкорізальної сталі на інструмент із пластинками із твердого сплаву.

5) Контроль заготовок буде здійснюватися через 20...30 штук, так як технологічний процес передбачає мінімізувати вплив праці людини на якість продукції.


Пропонований технологічний процес з усіма змінами та удосконаленнями наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Пропонований технологічний процес виготовлення деталі «Корпус 151.01.18»

Найменування операції	Обладнання	Пристосування, ріжучий інструмент
005 Вхідний контроль	Стіл контролера	Лінійка-500, тангенцикуль ШЦ-///-630-0.1
010 Розточувальна з ЧПУ	<p>НААС EC-1600</p> 	
1. Встановити та закріпити деталь		Верстатне пристосування 15100.Д12.018.03 10 00СБ
2. Підрізати торець, витримуючи розмір 130(-0,4;0)		Різець К.01.4979.000-03 ТУ2-035-892-82; штангенцикуль ШЦ-///-630-0.1
3. Розточити отвір, витримуючи розмір $\varnothing 249,3(+0,2;0), 216(+0,2;0)$		Різець К.01.4981.000-07 ТУ2-035-1040-86; нутромір НМ600; штангенглибиномір ШГ-250-0.1 ГОСТ 162-90; штангенцикуль ШЦ-///-630-0.1
4. Розточити отвір, витримуючи розмір $\varnothing 252(+0,3;0); 37(+1;0)$		Різець К.01.4981.000-07 ТУ2-035-1040-86; штангенцикуль ШЦ-/-125-0.1; штангенцикуль ШЦ-//-250-0.05

5.Точити фаску, витримуючи розмір $1,6 \times 45^\circ$ в отв.		Різець К.01.4979.000-03 ТУ2-035-892-82; шаблон 8371-0064-01
6.Точити канавку, витримуючи розмір $\varnothing 252(+0,3;0)$		Різець 035-2128-0542 ОСТ 2И10-8-84; шаблон 6-385
7. Розточити отвір, витримуючи розміри $\varnothing 225 (+0,5;-0,5), 2(+0,2;0)$		Різець К.01.4979.000-03 ТУ2-035-892-82; кронциркуль 300 СТП 4.11.06-2002; штангенглибиномір ШГ- 250-0.1
8.Розточити отвір $\varnothing 250G7(+0,015;-0,061)$ остаточно		Різець К.01.4981.000-07 ТУ2-035-1040-86; набір зразків шорсткості 0.4-12.5 Р ГОСТ 9378-93; нутромір 250-450-2
9. Зняти деталь		
015 Розточувальна з ЧПУ		
1. Встановити та закріпити деталь на оправлення		
2.Підрізати торець, витримуючи розміри $284 (-0,5;0)$	<p style="text-align: center;">HAAS EC-1600</p> 	Різець К.01.4979.000-03 ТУ2-035-892-82; штангенциркуль ШЦ---/ 630-0.1 ГОСТ 166-89
3. Розточити отвір до $\varnothing 173(+0,3;0)$ на прохід, начорно		Різець К.01.4981.000-07 ТУ2-035-1040-86; штангенциркуль ШЦ---/ 250-0.05
4.Розточити отвір до $\varnothing 174(+0,1;0)$ на прохід		Різець К.01.4981.000-07 ТУ2-035-1040-86; штангенциркуль ШЦ---/ 250-0.05 ГОСТ 166-89
5. Розточити отвір,		Різець К.01.4981.000-07

витримуючи розмір Ø246(+0,29;0);18(+0,18;0)		ТУ2-035-1040-86; штангенциркуль ШЦ-/-125- 0.1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-/- 250-0.05 ГОСТ 166-89
6.Точити торцеву канавку, витримуючи розміри Ø190(0;- 0,3), Ø210(+0,3;0), 38(0;-0,5)		Різець 035-2126-1186 ОСТ 2И10-7-84; штангенциркуль ШЦ-/-125- 0.1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-2- 250-0.05 ГОСТ 166-89
7. Точити торцеву канавку, витримуючи розміри Ø226(0;- 0,3), Ø246(+0,3;0), 38(0;-0,5)		Різець 035-2126-1186 ОСТ 2И10-7-84; шаблон 8371.0466; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166- 89; штангенциркуль ШЦ-/- 250-0.05 ГОСТ 166-89
8.Свердлити 4 отвори, витримуючи розмір 33(+1;-1)		Свердло 035-2301-1049 ОСТ 2И20-2-80; штангенциркуль ШЦ-/-125- 0.1 ГОСТ 166-89
9.Зенкувати фаску, витримуючи розміри 2,5×45° в 4 отворах.		Зенковка 2353-0136 ГОСТ 14953-80; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89
10.Нарізати різьбу 20×2,5-7Н в 4 отворах в упор		Мітчик 35-2620-0573; пробка 8221-3080 7Н ГОСТ 17758-72; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89
11.Зняти деталь		
020 Фрезерна ЧПУ		
Позиція 1 1.Встановити і закріпити деталь	НААС VF-3	Верстатне пристосування 15100.Д12.018.04 20 00СБ
2.Фрезерувати паз,		Фреза D=125мм ГОСТ

втримуючи розмір 132(+0,2;-0,5); 2±0,5; 10±1		9473-80; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89
3.Фрезерувати поверхню, втримуючи 190(+0,2;-0,3)		Фреза 01.2.0200.000-00 ТУ 2-035-874-82; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89
4.Свердлити 4 отвір на глибину 13(+0,2;-0,2)		Свердло 035-2300-1292 ОСТ 2И20-1-80; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1
5.Фрезерувати паз, втримуючи 115(+0,5;-0,5); 80(+0,5;0)		Фреза 035-2220-0104 ОСТ 2И62-2-75; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1 ГОСТ 166-89
Позиція 2 Повернути деталь на 180° 6.Фрезерувати паз, втримуючи розмір 132(+0,2;-0,5); 2±0,5; 10±1		Фреза D=125мм ГОСТ 9473-80; штангенциркуль ШЦ-///-630-0.1
7.Фрезерувати поверхню, втримуючи розмір 17(+0,4;0)		Фреза 2223-0103 ОСТ 2И62-2-75; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89
8. Свердлити отвір Ø8,5(+0,2;0)		Свердло 035-2301-1011 ОСТ 2И20-2-80;
9. Зенкувати фаску 1,6×45°		зенковка 2353-0135 ГОСТ 14953-80; штангенциркуль ШЦ-/-125-0.1 ГОСТ 166-89
10.Нарізати різьбу 10×1,5-7H		Патрон 6249.0004; мітчик 2620-0519

## 2.5 Розрахунок режимів різання

При призначенні режимів враховують характер обробки, тип та розміри інструменту, матеріал його різальної частини, матеріал та стан заготовки, тип та стан обладнання.

Розрахунок ведеться за методикою, запропонованою у літературі [7, 9]

Розраховуємо аналітичним способом на перехід 2, операції 020 Фрезерна з ЧПУ.

Перехід 2. Фрезерувати площину, витримуючи розмір 132 (+0,2;+0,5) з шорсткістю Ra 6,3.

1. Вибір фрези: фреза торцева з пластинками із твердого сплаву T15K6:

Приймаємо торцеву насадну фрезу діаметром D=125 мм ДСТУ 9473-80, з числом зубів z=12, діаметр посадкового отвору Ø32H7 мм.

1. Глибина різання:  $t=4$  мм.

2. Визначаємо подачу:  $S=0,15$  мм/зуб. [9, табл.37]

3. Визначається швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \times D^q}{T^m \times t^x \times S_z^y \times B^u \times z^p} \times K_v \text{ м/хв}, \quad (2.8)$$

де  $T=180$  хв, стійкість фрези [9, табл. 40];

$C_v=332$ ;  $q=0,2$ ;  $x=0,1$ ;  $y=0,4$ ;  $u=0,2$ ;  $p=0$ ;  $m=0,2$  – коефіцієнти для розрахунку швидкості різання;

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт, який визначиться за формулою:

$$K_v = K_{mv} \times K_{pv} \times K_{iv}, \quad (2.9)$$

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт матеріалу заготовки, визначиться за формулою:

$$K_{mv} = K_\Gamma \times \left(\frac{750}{\sigma_b}\right)^{n_v} = 1 \times \left(\frac{750}{450}\right)^1 = 1,7, \quad (2.10)$$

де  $K_\Gamma=1$ ;  $n_v=1$  – показник степені, [9, табл. 2]

$K_{mv}=0,8$  – коефіцієнт, що залежить від стану поверхонь заготовки;  
[9, табл. 5]

$K_{uv}=1$  – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу;  
[9, табл. 6]

$$V = \frac{C_v \times D^q}{T^m \times t^x \times S_z^y \times B^u \times z^p} \times K_v$$

$$K_v = 1,7 \times 0,8 \times 1 = 1,36,$$

Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{332 \times 125^{0,2}}{180^{0,2} \times 4^{0,1} \times 0,15^{0,4} \times 39^{0,2} \times 12^0} \times 1,36 = 185 \text{ м/хв},$$

Визначаємо частоту обертання:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 395,3}{3,14 \times 100} = 589 \text{ об/хв},$$

4. Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \times C_p \times t^x \times S_z^y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} \times K_{mp} \text{ Н},$$

де  $C_p=825$ ;  $x=1,0$ ;  $y=0,75$ ;  $u=1,1$ ;  $q=1,3$ ;  $w=0,2$ ; – коефіцієнти для розрахунку сили різання;

$K_{mp}$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки, визначається:

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{450}{750} \right)^{0,3} = 0,86, \quad (2.11)$$

де  $n=0,3$  – показник степені.

$$P_z = \frac{10 \times 825 \times 4^1 \times 0,15^{0,75} \times 39^{1,1} \times 12}{125^{1,3} \times 1258,9^{0,2}} \times 0,86 = 1159,4 \text{ Н},$$

Інші складові сил різання визначаються:

$$P_x = 0,4 \times P_z = 0,4 \times 1159,4 = 463,8 \text{ Н},$$

$$P_y = 0,4 \times P_z = 0,4 \times 1159,4 = 463,8 \text{ Н},$$

6. Визначаємо крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \times D}{2 \times 100} = \frac{1159,4 \times 125}{2 \times 100} = 724,6 \text{ Нм} \quad (2.12)$$

7. Визначаємо потужність різання:

$$N_{рез} = \frac{P_z \times V}{1020 \times 60} = \frac{1159,4 \times 395,3}{1020 \times 60} = 7,4 \text{ кВт}, \quad (2.13)$$

Ефективна потужність верстата  $N_{эф} = 14 \text{ кВт}$ , обробка можлива.

8. Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{L}{n \times S} = \frac{193}{188} = 1,03 \text{ хв}, \quad (2.14)$$

де  $L$  – величина ходу інструменту, мм;

$$L = l + l_1 = 180 + 13 = 193 \text{ мм}, \quad (2.15)$$

де  $l_1$  – величина врізання і перебігу інструмента, мм;

$l$  – довжин оброблюваної поверхні, мм.

Розраховуємо режими різання за нормативними картками на операцію 010 – Розточувальна, перехід 8:

Свердління М20-7Н - Свердло 035-2301-1049 ОСТ 2120-2-80

3. Визначення глибини різання.

Глибина різання при свердлінні:

$$t = \frac{D_{\text{сверп}}}{2} = \frac{17,50}{2} = 8,75 \text{ мм}, \quad (2.16)$$

4. Вибір подачі, швидкості, потужності, осьової сили різання.

$$S_{OT} = 0,4 \text{ мм/об}, V_T = 18,4 \text{ м/мин}, P_T = 7982 \text{ Н}, N_T = 2,15 \text{ кВт},$$

5. Коректування вибраних значень.

$$S = S_{OT} \cdot K_{SM} = 0,4 \cdot 1,1 = 0,44 \text{ мм/об}, \quad (2.17)$$

Приймаємо по паспорту  $S_d = 0,5 \text{ мм/об}$ ,

$$V_T = V_T \cdot K_{VM} \cdot K_{V3} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{VT} \cdot K_{VP} \cdot K_{Vи} \cdot K_{VI} \cdot K_{VW} = 18,4 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 16,2 \text{ м/хв},$$

$$P = \frac{P_T}{K_{PM}} = \frac{7982}{1,1} = 7256 \text{ Н}, \quad (2.18)$$

$$N = \frac{N_T}{K_{NM}} = \frac{2,15}{1,1} = 1,95 \text{ кВт}, \quad (2.19)$$

6. Визначаємо частоти обертання шпинделя

Свердління:

$$n = \frac{1000 \times v}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 16,2}{3,14 \times 19,5} = 265 \text{ об/хв}, \quad (2.20)$$

7. Визначення фактичної швидкості

$$V_{\Phi} = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = \frac{3,14 \times 17,5 \times 265}{1000} = 16,2 \text{ м/хв}, \quad (2.21)$$

Визначаємо хвилинну подачу;

$$S_{\text{мин}} = S_d \cdot n_d = 0,5 \cdot 265 = 132 \text{ хв}, \quad (2.22)$$

8. Визначаємо основний час.

$$T_0 = \frac{L_{p.x.}}{S_M} \text{ хв}, \quad (2.23)$$

$$L_{p.x.} = l_0 + l_1 + l_2 + l_3 \text{ мм}, \quad (2.24)$$

$$L_{p.x.} = 33 + 5 + 2,5 + 5 = 45,5 \text{ мм},$$

$$T_0 = \frac{45,5}{132} = 0,34 \text{ хв},$$

Аналогічно розраховуємо режими різання інші операції і переходи технологічного процесу.

Режими різання для інших операцій та переходів наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання

№ операція і перехід	t, мм	S, мм/об	S <sub>z</sub> , мм/зуб	V, м/хв	n, об/хв	N <sub>рез</sub> , кВт	T <sub>0</sub> , хв	S <sub>м</sub> , мм/хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
010 Розточувальна з ЧПУ								
2. Підрізати торець, витримуючи розміри 130(-0,4;0)	4	1,13	-	125	137	13	0,8	-
3.Розточити отв., витримуючи розміри Ø249,3(+0,2;0), 216(+0,2;0)	4,2	1,1	-	84	108	7	1,9	-
4.Розточити отв., витримуючи розміри Ø252(+0,3;0); 37(+1;0)	1,4	0,9	-	261	332	5,9	1,3	-
5.Точити фаску, витримуючи розміри 1,6×45° в отв.	1,6	0,72	-	210	267	9,4	0,04	-
6.Точити канавку, витримуючи розміри Ø 252(+0,3;0)	2	0,77	-	390	492	7,1	0,07	-

7. Розточити отв., витримуючи розміри Ø225 (+0,5;-0,5),2(+0,2;0)	4,4	1,13	-	229	900	10	0,12	-
8.Розточити отв. Ø250G7(+0,015;-0,061) остаточно	0,8	0,4	-	284	361	7,3	1,5	-
015 Розточувальна з ЧПУ								
2.Підрізати торець, витримуючи розміри 284 (-0,5;0)	5	1,4	-	60	75	8,3	1,93	-
3.Розочити отв. до Ø173(+0,3;0) на прохід, начорно	2,8	0,7	-	152	732	8,4	0,04	-
4.Розточити отв. до Ø174(+0,1;0) на прохід	2	0,5	-	146	392	7,4	0,6	-
5.Розточити отв., витримуючи розміри Ø246(+0,29;0);18(+0,18;0)	4,4	0,63	-	358	463	7,3	0,76	-
6.Точити торцеву канавку, витримуючи розміри Ø190(0;-0,3), Ø210(+0,3;0), 38(0;-0,5)	2,8	0,7	-	117	196	4,6	0,45	-
7.Точить торцеву канавку, витримуючи розміри Ø226(0;-0,3), Ø246(+0,3;0), 38(0;-0,5)	2,8	0,7	-	117	196	4,6	0,45	-
8.Свердлити 4 отв., витримуючи розмір 33(+1;-1)	8,75	0,5	-	16,2	265	1,95	0,34	-
9.Зенкувати фаску, витримуючи розміри 2,5×45° в 4отв.	2,5	0,17	-	20	202,2	0,44	0,26	-

10.Нарізати різьбу 20×2,5-7H в 4 отв. в упор	1,25	1,7	-	5,69	180	0,32	0,13	-
020 Фрезерна з ЧПУ								
2.Фрезерувати паз, витримуючи розмір 132(+0,2;-0,5); 2±0,5; 10±1	4	-	0,15	185	589	16,9	7,4	462
3.Фрезерувати поверхню, витримуючи розміри 190(+0,2;- 0,3)	3,6	-	0,14	129	216	6,8	1,2	406
4.Свердлити 4 отв. на глибину 13(+0,2;-0,2)	6	0,09	-	27,3	940	0,19	0,15	-
5.Фрезерувати паз, витримуючи розмір 115(+0,5;-0,5); 80(+0,5;0)	4	-	0,13	126	133	5,8	0,9	172
Позиція 2 Повернуть деталь на 180°								
6.Фрезерувати паз, витримуючи розмір 132(+0,2;-0,5); 2±0,5; 10±1	4	-	0,15	185	589	7,4	1,03	462
7.Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 17(+0,4;0)	2	-	0,16	148	157	3,7	0,38	150
8.Свердлити отв. Ø8,5(+0,2;0)	4,25	0,08	-	28	953	0,17	0,5	-
9.Зенкувати фаску 1,6×45°	1,6	0,19	-	22	301	0,4	0,4	-
10.Нарізати різьбу 10×1,5-7H	1,25	1,3	-	5,9	157	0,32	0,04	-

## 2.6 Нормування технологічного процесу механічної обробки

Усі операції технологічного процесу мають бути пронормовані. Наводиться приклад розрахунку норм часу одну операцію. Розрахунок ведеться за рекомендаціями літератури /5/.

Операція 010 Розточувальна з ЧПУ

1. Визначається основний час автоматичної роботи верстата.

$$T_{oa} = \sum T_{oi} \text{ хв,} \quad (2.25)$$

де  $T_{oi}$  – основний час переходів.

$$T_{oa} = 0,8 + 1,9 + 1,3 + 0,04 + 0,07 + 0,12 + 1,5 = 5,73 \text{ хв,}$$

2. Підраховуємо штучний час

$$T_{шт} = T_a + T_b + T_{обсл} + T_{орг} + T_{отд} \text{ хв,} \quad (2.26)$$

де  $T_a$  – час автоматичної роботи верстата, хв.

3. Визначаємо час автоматичної роботи верстата:

$$T_a = T_{oa} + T_{ав} \text{ хв,} \quad (2.27)$$

де  $T_{ав}$  – час допоміжної роботи, хв;

$$T_{ав} = t_1 + t_2 + t_3 \text{ хв,} \quad (2.28)$$

де  $t_1=0,07$  хв – час на прискорене переміщення робочого органу верстата;

$t_2=0,12$  хв – час на встановлювальні переміщення;

$t_3=0,8$  хв – час на зміну інструмента.

$$T_{ва} = 0,07 + 0,12 + 0,8 = 0,99 \text{ хв,}$$

$$T_a = 5,73 + 0,99 = 6,72 \text{ хв,}$$

4. Підраховується допоміжний час ручної роботи:

$$T_b = t_{уст} + t_{закр} + t_{упр} + t_{контр} \text{ хв,} \quad (2.29)$$

де  $t_{ус}$  – час на установку і зняття деталі,  $t_{ус}=0,054$  хв

$t_{закр}$  – час на закріплення деталі,  $t_{закр}=0,023$  хв

$t_{уп}$  – час з управління верстатом,  $t_{уп}=0,03$  хв

$t_{контр}$  – час на контрольні вимірювання,  $t_{контр}=0$ , верстат з ЧПУ.

$$T_b = 0,054 + 0,023 + 0,03 + 0 = 0,107 \text{ хв,}$$

5. Визначається оперативний час

$$T_{оп} = T_a + T_b = 6,72 + 0,107 = 6,83 \text{ хв,} \quad (2.30)$$

6. Час на технічне обслуговування робочого місця  $T_{тех}=2,7$  хв

7. Час на організаційне обслуговування робочого місця  $T_{орг}=0,1$  хв

8. Час перерв на відпочинок складає 7% від оперативного,  $T_{отд}=0,5$  хв.

9. Визначається штучний час:

$$T_{шт} = 6,72 + 0,107 + 0,1 + 0,5 = 7,4 \text{ хв,}$$

10. Визначається штучно-калькуляційний час

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \text{ хв,} \quad (2.31)$$

де  $T_{пз}$  – підготовче-заключний час,  $T_{пз}=32$  хв;

$n$  – число деталей в партії,  $n=105$  шт.

$$T_{шт-к} = 7,4 + \frac{32}{105} = 7,7 \text{ хв,}$$

Результати розрахунку за іншими операціями зводять до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Норми часу

Операція	$T_o$ , хв	$T_v$ , хв	$\alpha_{обсл}$ , %	$\alpha_{отд}$ , %	$T_{шт}$ , хв	$T_{пз}$ , хв	$T_{шт-к}$ , хв
010 Розточувальна з ЧПУ	6,83	0,107	4	4	7,4	32	7,7
015 Розточувальна з ЧПУ	7,1	0,107	4	4	7,7	28	8,4
020 Фрезерна з ЧПУ	9,32	0,13	4	4	9,94	25	10,2

## 2.7 Техніко-економічне порівняння варіантів технологічного процесу

В якості критеріїв оцінки варіантів вибираємо:

### 1. Собівартість виготовлення заготовки.

Використання в металевих формах разових піщаних стрижнів істотно розширює можливості способу виробництва фасонних виливків зі складними зовнішніми і внутрішніми поверхнями. Підвищення продуктивності праці внаслідок виключення трудомістких операцій сумішоприготування, формування. Використання лиття в кокіль дозволяє у 2-3 рази підвищити продуктивність праці. Усунення шкідливих операцій вибивання форм, очищення виливків від пригару, їх обрубубання, загальне оздоровлення та поліпшення умов праці, менше забруднення довкілля. Цей спосіб дозволяє скоротити грошові витрати на виготовлення заготовки.

$$E_r = (C_1 - C_2)N = (6130 - 5510)5100 = 3162000 \text{ грн.}$$

### 1. Трудомісткість механічної обробки деталі за основними операціями:

$$T_q = \sum_{i=1}^n T_{шт_i}$$

Базовий технологічний процес:

$$T_{q1} = 32,5 \text{ хв.}$$

Запропонований варіант:

$$T_{q2} = 7,4 + 7,7 + 9,94 = 25,04 \text{ хв}$$

3. Скорочення норм часу за основними операціями:

$$N_{вр} = \frac{\sum T_{шт1} - \sum T_{шт2}}{\sum T_{шт2}} \cdot 100\% = \frac{32,5 - 25,04}{25,04} \cdot 100\% = 29,8\%.$$

Скорочення норм часу у запропонованому варіанті складає 29,8%.

2. 8 Розроблення в САМ ESPRIT програми оброблення на верстаті

1. Підготовка моделі деталі

Розробка програми для оброблення деталі на верстаті **HAAS EC-1600** в системі автоматизованого проектування (САМ) є важливим етапом, що включає кілька основних етапів. Ось основні кроки, які потрібно виконати для створення САМ-програми для обробки деталі:

2. Визначення характеристик обробки

- Вибір типу матеріалу, з якого виготовлена деталь (наприклад, сталь, алюміній, титан, тощо).
- Визначення типу обробки: токарна, фрезерна, свердлильна, тощо.
- Вибір інструментів для обробки: розміри та типи фрез, свердел, різців тощо.

3. Підготовка робочої системи координат

- Визначення початкової точки (орієнтація деталі на робочому столі верстата).
- Встановлення координатної системи (X, Y, Z), відповідно до якої буде відбуватися обробка.
- Налаштування нульової точки (наприклад, точка на поверхні деталі або в центрі).

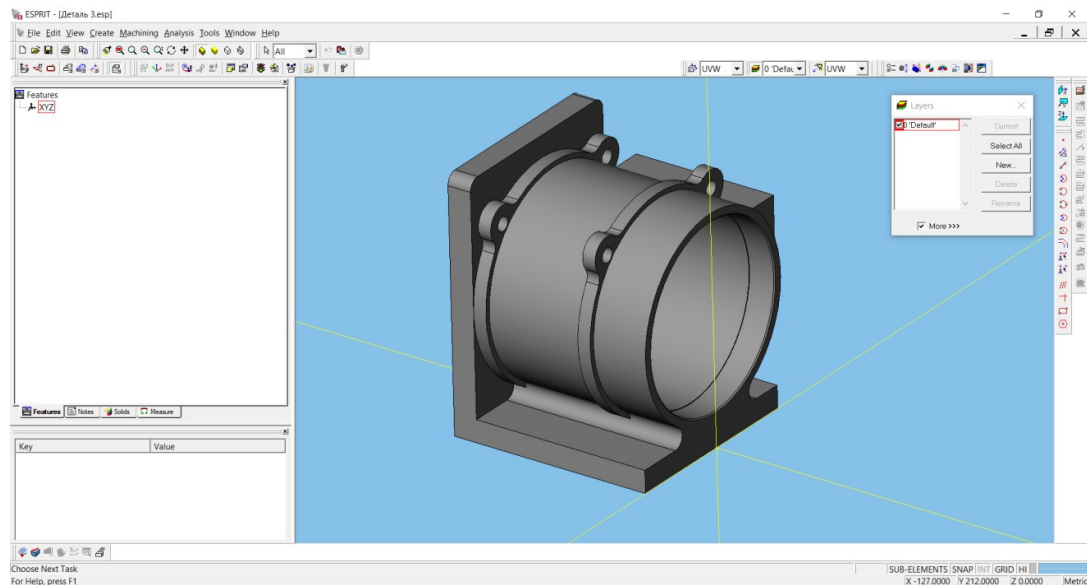


Рисунок 2.4 – 3D-модель деталі

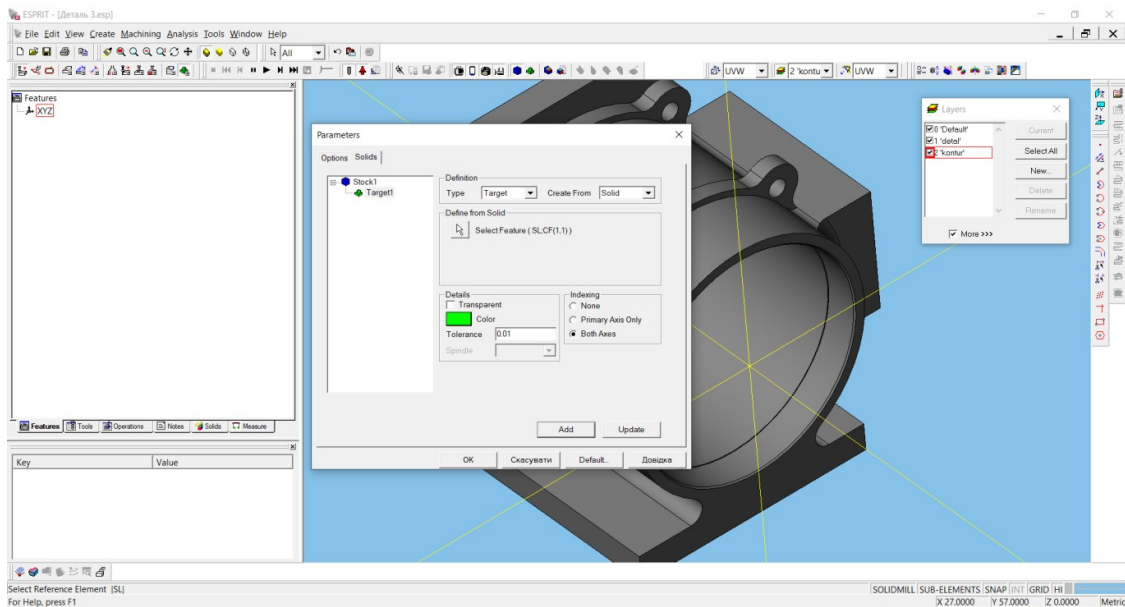


Рисунок 2.5 – Створення заготовки

#### 4. Планування траєкторій інструмента

- Вибір типу обробки для кожної частини деталі (наприклад, контурна обробка, груба та фінішна обробка, свердління, зенкерування).
- Створення траєкторій інструмента за допомогою функцій САМ-програми: кожен шлях інструмента має бути оптимізований для мінімізації часу обробки та зменшення зношування інструментів.

- Використання спеціальних стратегій, таких як покрокове фрезерування, паралельні проходи, фрезерування з обертовим інструментом для забезпечення необхідної точності.

#### 5. Налаштування режимів обробки

- Визначення параметрів різання (швидкість обертання інструмента, подача, глибина різання).
- Вибір оптимальних умов для кожного етапу обробки, враховуючи тип матеріалу та тип інструмента.

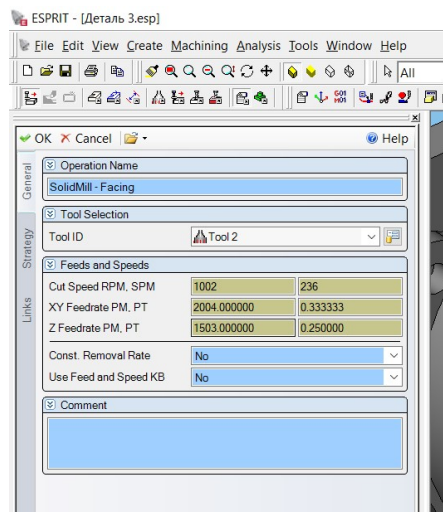


Рисунок 2.6 – Налаштування режимів обробки

#### 6. Генерація та перевірка САМ-програми

- Після налаштування всіх параметрів потрібно генерувати програми для верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), такі як G-коди та M-коди для верстатів HAAS.

- Перевірка програми в симуляторі для переконання в правильності траєкторій і відсутності можливих колізій або помилок. Це дозволяє виявити можливі помилки до фактичної обробки на верстаті.

#### 7. Передача програми на верстат

- Після перевірки та коригування програми, її передають на верстат через мережу або за допомогою USB-накопичувача, що підтримує формат G-кодів.

- Завантаження програми в систему верстата HAAS EC-1600, вибір необхідних налаштувань та запуск обробки.

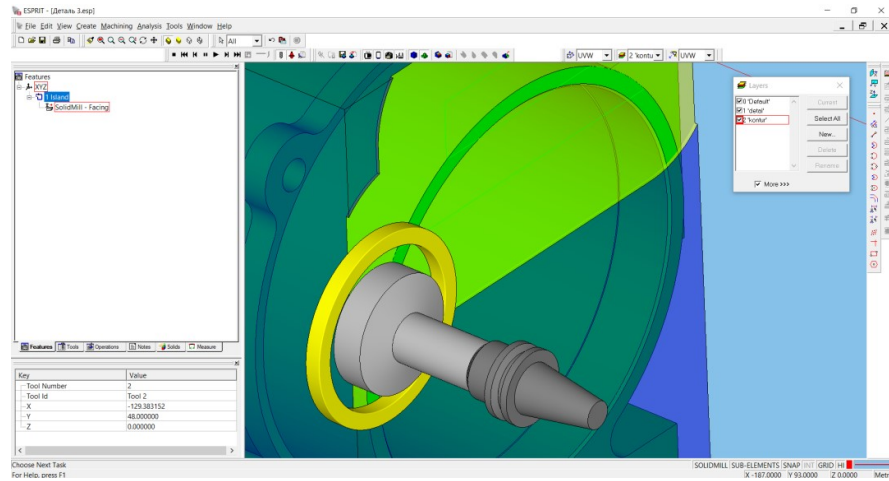


Рисунок 2.7 – Симуляція процесу оброблення

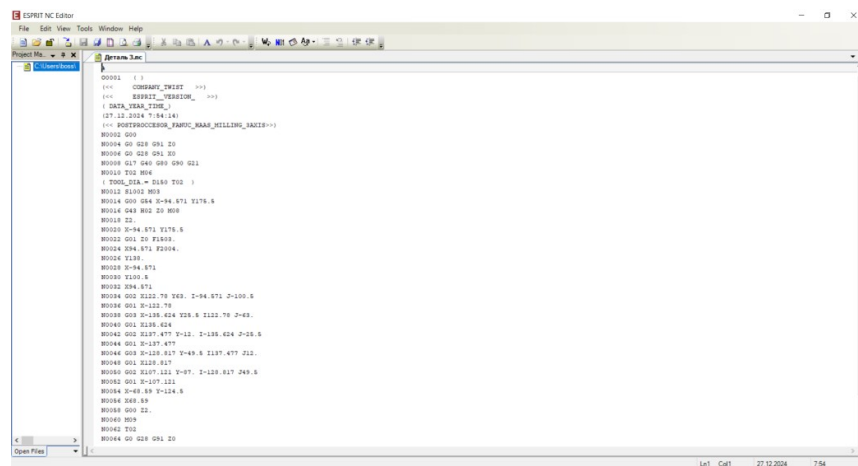


Рисунок 2.8 – Фрагмент керуючої програми

## 8. Запуск обробки

- Після того як програма завантажена в систему верстата, проводиться тестовий запуск на зразку або невеликій частині матеріалу для перевірки точності обробки.
- Моніторинг процесу обробки в реальному часі для забезпечення точності та контролю за станом інструментів.

## 9. Коригування та оптимізація

- Після тестового запуску можуть бути внесені коригування в програму для досягнення кращої якості обробки або для скорочення часу виробництва.
- При необхідності можна скоригувати траєкторії або параметри різання.

#### 10. Фінішна перевірка деталі

- Після завершення обробки потрібно здійснити перевірку точності виготовленої деталі за допомогою вимірювальних інструментів, таких як 3D-сканери, контрольні калібри або СММ-сканери.

Розробка САМ-програми для обробки деталі на верстаті HAAS EC-1600 вимагає ретельного підходу до кожного етапу, оскільки правильна настройка всіх параметрів обробки впливає на якість продукції, ефективність виробництва та тривалість використання інструментів.

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Проектування пристосування для операції 010

#### 3.1.1 Аналіз існуючих засобів технологічного оснащення операції механічної обробки

У заводському технологічному процесі токарної операції використовується 4-х кулачковий патрон. Затискання здійснюється по зовнішній поверхні корпусу. У проєктованому технологічному процесі пропонується конструкція спеціального пристрою з затискачем по внутрішній необробленій поверхні отвору заготовки.

Пропонований пристрій (креслення Корпус 151.01.18») простий за конструкцією та зручний в обслуговуванні, закріплення та відкріплення заготовки здійснюється від пневматичного діафрагмового приводу і не вимагає великих витрат сил і часу робочого, підвищується продуктивність праці та точність обробки. Заготовка встановлюється торцевою поверхнею на три опори 13. При подачі повітря у верхню порожнину камери шток пневмокамери 7 переміщається вниз разом з роз'єднаним з ним конусом 4, при цьому кулачки 5 затискають деталь по поверхні отвору. При подачі повітря в нижню порожнину камери, діафрагма 2 разом зі штоком і конусом переміщається вгору. За рахунок пружини 6 кулачки переміщуються у радіальному напрямку, деталь розкріплюється. Для транспортування пристрою застосовуються рим-болти 14, які кріпляться на корпусі пристрою 1.

#### 3.1.2. Розрахунок зусилля закріплення заготовки

Розрахунок потрібних сил затиску зводиться до розв'язання задачі статичної рівноваги заготовки, що під дією всіх прикладених до неї зовнішніх сил, а також моментів, створених цими силами (силами різання, з урахуванням коефіцієнта запасу, силами тертя, інерції, реакції опор).

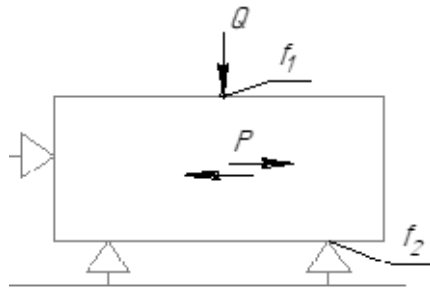


Рисунок 3.1 – Схема обробки

Головна складова сили різання при фрезеруванні – сила різання.

$$P_z = \frac{10C_p \times t^x \times S_{zy} \times B^{u \times z}}{D^q \times n^w} \times K_{MP} \text{ Н}, \quad (3.1)$$

де  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $q$ ,  $w$  – значення коефіцієнта та показників степені;

де  $C_p=825$ ;  $x=1$ ;  $y=0,75$ ;  $u=1,1$ ;  $q=1,0$ ;  $w=0$ ;

$K_{mv}=0,86$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки,

$$P_z = \frac{10 \times 825 \times 2^1 \times 0,15^{0,75} \times 39^{1,1} \times 12}{125^{1,3} \times 1258,9^{0,2}} \times 0,86 = 1159,4 \text{ Н}$$

Зміщення заготовки попереджається силами тертя, що виникають у місцях контакту заготовки з опорами та затискними елементами. Формула сили закріплення.

$$W = \frac{kP}{f_1 + f_2} \quad (3.2)$$

де  $P$  – сила різання,

$f_1$  і  $f_2=0,25$  – коефіцієнти тертя заготовки з настановними та затискними елементами,

$k$  – коефіцієнт запасу.

Щоб забезпечити надійність затиску оброблюваної заготовки, застосовують коефіцієнт запасу, який залежить від стану поверхні заготовки в процесі її обробки, процесу затуплення різального інструменту та інших факторів, що виникають у процесі обробки.

Коефіцієнт запасу

$$K_{зап} = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6, \quad (3.3)$$

де  $K_0$  – постійний коефіцієнт запасу за всіх випадків обробки,  $K_0=1,5$ ;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки – оброблена чи необроблена,  $K_1=1,2$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні ріжучого інструменту,  $K_2= 1,3$ .

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробці уривчастих поверхонь на деталі,  $K_3= 1,2$ ;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, що розвивається приводом пристосування,  $K_4= 1$ ;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує зручне розташування рукоятки для ручних затискних пристроїв,  $K_5= 1$ ;

$K_6$  – коефіцієнт, що враховується за наявності моментів, що прагнуть повернути оброблювану деталь навколо її осі,  $K_6=1,5$ .

$$K_{\text{зап}} = 1,5 \times 1,2 \times 1,3 \times 1,2 \times 1 \times 1 \times 1,5 = 4,21$$

Визначається необхідна сила затиску для заготовки, що обробляється.

$$W_0 = \frac{4,21 \cdot 1159,4}{0,25 + 0,25} = 9762 \text{ Н},$$

Діаметр діафрагми по ДСТУ 3427-96  $D_{\text{п}}=200\text{мм}$ , діаметр опорного диска  $d_{\text{д}}=140\text{мм}$ .

де  $p$  – тиск стиснутого повітря,  $p=0,4\text{МПа}$ ;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії гідроциліндра, що враховує втрати у гідроциліндрі,  $\eta=0,85\dots 0,90$ .

Визначають дійсну силу затискача на штоку

$$Q_{\text{д}} = 0,58 \times D_{\text{п}}^2 \times p \times \eta \text{ Н},$$

$$Q_{\text{д}} = 0,58 \times 200^2 \times 0,4 \times 0,85 = 7888 \text{ Н}.$$

*Визначення діаметра різьби штока*

Визначається номінальний діаметр різьблення гвинта за формулою:

$$d = C \sqrt{\frac{Q}{[\sigma]}}, \quad (3.4)$$

де  $C = 1,4$  – коефіцієнт для основного метричного різьблення,

$Q$  – сила затиску,

$[\sigma] = 80\dots 100$  – допустима напруга розтягування (стиснення), для сталі 45.

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{7888}{80}} = 13,9 \text{ мм},$$

Приймаємо  $d=16$  мм, за розрахунком  $d$  не повинно бути менше 13,9 мм, приймаємо діаметр різьблення гвинта М16.

### 3.1.3 Розрахунок пристосування на точність

Для розрахунку точності виготовлення пристрою користуються формулою, запропонованою в літературі

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \delta - k \times \sqrt{\quad} \quad (3.5)$$

де  $\delta$  – допуск на відповідний розмір поверхні, що обробляється, заданий кресленням  $\delta=0,3$  мм;

$k$  – коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу,  $k=1,0$ ;

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування під час роботи на налаштованих верстатах,  $k_1=0,8$ ;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки у сумарній похибці, що викликається факторами, які не залежать від пристосування,  $k_2=0,6$ ;

$\varepsilon_6$  – похибки базування заготовок в пристосуванні  $\varepsilon_6=0$ ;

$\varepsilon_3$  – похибки, що виникають в результаті деформації заготовки та настановних елементів пристосування під дією посилення затиску  $\varepsilon_3=0,22$  мм;

$\varepsilon_{\text{уст}}$  – похибка установки пристосування на верстаті  $\varepsilon_{\text{уст}}=0,025$  мм;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – похибка, що виникає внаслідок неточності виготовлення пристосування  $\varepsilon_{\text{пр}}=0$ ;

$\varepsilon_{\text{пер}}$  – похибка перекосу та зміщення різального та допоміжного інструменту, що викликається наявністю експлуатаційного та конструктивного зазору між інструментом та направляючими його елементами пристосування;

$\varepsilon_{\text{изн}}$  – похибка, що виникає в результаті зношування настановних елементів пристосування;

$\omega$  – значення похибки обробки, виходячи з економічності даного методу обробки.

- Визначається похибка закріплення заготовок. Похибку закріплення не враховуємо, оскільки напрямок похибки не збігається з напрямком операційного розміру.

- Визначається похибка установки пристрою на верстаті,  $\varepsilon_y=0$ , оскільки відсутні елементи напрямку пристосування щодо столу верстата.

- Похибку від зношування елементів пристрою вводимо у вигляді допуску на зношування призми  $\varepsilon_{\text{знош}} = 0,0102$  мм.

- Визначається економічна точність обробки. При фрезеруванні фрезою  $\omega=0,15$  мм.

- 

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq 0,3 - 1\sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,22^2 + 0,025^2 + 0^2 + 0,0102^2 + (0,6 \cdot 0,15)^2} = 0,06\text{мм.}$$

### 3.2 Проектування пристрою для операції 020

#### 3.2.1 Аналіз існуючих засобів технологічного оснащення операції механічної обробки

Для фрезерування паза застосовується пристрій, затискання заготовки в ньому проводиться вручну. Заготовка встановлюється на опору. Фіксується деталь за допомогою шайби. Пристосування просте в обслуговуванні та виготовленні. Пристрій розміщується на столі фрезерного верстата.

Пропонується оснастити пристрій діафрагмовим пневмоприводом. Заготовка встановлюється на палець 3. Стиснене повітря впливає на діафрагму 2, рахунок чого відбувається переміщення штока пневмокамери 6 і затискач деталі планкою 5. Для транспортування пристосування застосовуються рим-болти 12, які кріпляться на корпусі пристосування 1.

Пропонований пристрій простий за конструкцією і зручний в обслуговуванні, закріплення і відкріплення заготовки здійснюється автоматично і не вимагає великих витрат сил і часу робітника, підвищується продуктивність праці та точність обробки.

### 3.2.2 Розрахунок зусилля закріплення заготовки

Розрахунок потрібних сил затиску зводиться до вирішення завдання статички на рівновагу заготовки, що під дією всіх доданих до неї зовнішніх сил, і навіть моментів, створюваних цими силами (силами різання, з урахуванням коефіцієнта запасу, силами тертя, інерції, реакції опор).

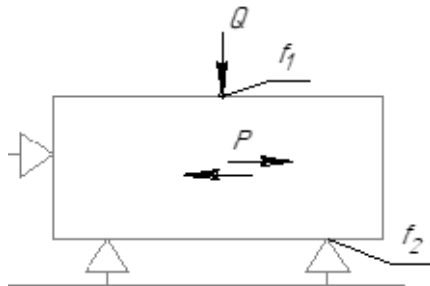


Рисунок 3.2 - Схема обробки

Головна складова сили різання при фрезеруванні – сила різання.

$$P_z = \frac{10C_p \times t^x \times S_z y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} \times K_{MP} \text{ Н,}$$

де  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $q$ ,  $w$  – значення коефіцієнта та показників ступеня;

де  $C_p=825$ ;  $x=1$ ;  $y=0,75$ ;  $u=1,1$ ;  $q=1,0$ ;  $w=0$ ;

$K_{MV}=0,86$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки,

$$P_z = \frac{10 \times 825 \times 2^1 \times 0,15^{0,75} \times 39^{1,1} \times 12}{125^{1,3} \times 1258,9^{0,2}} \times 0,86 = 1159,4 \text{ Н}$$

Зміщення заготовки попереджається силами тертя, що виникають у місцях контакту заготовки з опорами та затискними елементами. Формула сили закріплення.

$$W = \frac{kP}{f_1 + f_2}.$$

де  $P$  – сила різання,

$f_1$  і  $f_2=0,25$  – коефіцієнти тертя заготовки з настановними та затискними елементами,

$k$  – коефіцієнт запасу.

Щоб забезпечити надійність затиску оброблюваної заготовки, застосовують коефіцієнт запасу, який залежить від стану поверхні заготовки в процесі її обробки, процесу затуплення різального інструменту та інших факторів, що виникають у процесі обробки.

Коефіцієнт запасу

$$K_{\text{зап}} = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6,$$

де  $K_0$  – постійний коефіцієнт запасу за всіх випадків обробки,  $K_0=1,5$ ;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготівлі – оброблена чи необроблена,  $K_1=1,2$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні різального інструменту,  $K_2=1,3$ ;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробці уривчастих поверхонь на деталі -,  $K_3=1,2$ ;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, що розвивається приводом пристосування,  $K_4=1$ ;

$K_5$  - коефіцієнт, що враховує зручне розташування рукоятки для ручних затискних пристроїв,  $K_5=1$ ;

$K_6$  – коефіцієнт, що враховується за наявності моментів, що прагнуть повернути оброблювану деталь навколо її осі,  $K_6=1,5$ .

$$K_{\text{зап}} = 1,5 \times 1,2 \times 1,3 \times 1,2 \times 1 \times 1 \times 1,5 = 4,21$$

Визначається необхідна сила затиску для заготовки, що обробляється.

$$W_0 = \frac{4,21 \cdot 1159,4}{0,25 + 0,25} = 9762 \text{ Н},$$

Діаметр діафрагми за ДСТУ Б EN 1297:2013  $D_{\text{п}} = 200$ мм, діаметр опорного диска  $d_{\text{д}}=140$ мм.

де  $p$  – тиск зжатого повітря,  $p=0,4$ МПа;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії гідроциліндра, що враховує втрати у гідроциліндрі,  $\eta=0,85 \dots 0,90$ .

Визначають дійсну силу затискача на штоку

$$Q_d = 0,58 \times D_n^2 \times p \times \eta \text{ Н},$$

$$Q_d = 0,58 \times 200^2 \times 0,4 \times 0,85 = 7888 \text{ Н},$$

### 3.2.3. Розрахунок пристосування на точність

Для розрахунку точності виготовлення пристрою користуються формулою, запропонованою в літературі

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \delta - k \times \sqrt{\quad}$$

де  $\delta$  – допуск на відповідний розмір поверхні, що обробляється, заданий кресленням  $\delta=0,3 \text{ мм}$ ;

$k$  – коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу,  $k=1,0$ ;

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування під час роботи на налаштованих верстатах,  $k_1=0,8$ ;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки у сумарній похибці, що викликається факторами, які не залежать від пристосування,  $k_2=0,6$ ;

$\varepsilon_\delta$  – похибки базування заготовок у пристосуванні  $\varepsilon_\delta=0$ ;

$\varepsilon_3$  – похибки, що виникають в результаті деформації заготовки та настановних елементів пристосування під дією посилення затиску  $\varepsilon_3=0,22 \text{ мм}$ ;

$\varepsilon_{\text{уст}}$  – похибка установки пристосування на верстаті  $\varepsilon_{\text{уст}}=0,025 \text{ мм}$ ;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – похибка, що виникає внаслідок неточності виготовлення пристосування  $\varepsilon_{\text{пр}}=0$ ;

$\varepsilon_{\text{пер}}$  – похибка перекосу та зміщення різального та допоміжного інструменту, що викликається наявністю експлуатаційного та конструктивного зазору між інструментом та направляючими його елементами пристосування;

$\varepsilon_{\text{знош}}$  – похибка, що виникає в результаті зношування настановних елементів пристосування;

$\omega$  – значення похибки обробки, виходячи з економічності даного методу обробки.

- Визначається похибка закріплення заготовок.

Похибка закріплення не враховуємо, тому що напрямок похибки не збігається з напрямком операційного розміру.

- Визначається похибка установки пристрою на верстаті,  $\varepsilon_y=0$ , т.к. відсутні елементи напрямку пристосування щодо столу верстата.

- Похибка від зношування елементів пристрою вводимо у вигляді допуску на знос призми  $\varepsilon_{\text{знош}} = 0,0102$  мм.

- Визначається економічна точність обробки. При фрезеруванні фрезою  $\omega=0,15$  мм.

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq 0,3 - 1\sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,22^2 + 0,025^2 + 0^2 + 0,0102^2 + (0,6 \cdot 0,15)^2} = 0,06\text{мм.}$$

### 3.3 Проектування контрольного пристрою

#### 3.3.1 Розрахунок пристрою на точність

Похибка вимірювання даним пристроєм дорівнюватиме похибці індикатора годинного типу, що приймається для класу точності 0 дорівнює 0,004 мм і дійсних розмірів оправок, зазначених у маркуванні.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \delta - \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2} \quad (3.6)$$

де  $\varepsilon_{\text{и}}$  – похибка індикатора,  $\varepsilon_{\text{и}}=0,004$ мм;

#### 3.3.2 Призначення та опис роботи

Контрольний пристрій (креслення 151001.Д12.018.05 00 00) призначений для контролю перпендикулярності площини паза 132(+0,53;+0,20) щодо верхньої площини Д.

Для контролю використовується повірочна плита та пристрій, що складається з індикаторної стійки, на якій встановлений індикатор годинного типу.

Корпус букси встановлюється на повірочну плиту 1 на площину 140 мм. Стійка 2 пристрою встановлюється на повірочну плиту, на ній закріплюється

індикатор 3. Щуп індикатора стикається з пазом деталі з натягом 1мм. Контроль проводиться у верхній та нижній точках паза, переміщенням кронштейна по стійці.

## РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ

### 4.1 Аналіз напружено-деформованого стану корпусу букси

Стратегія розвитку залізничного транспорту передбачає збільшення швидкостей руху вантажних поїздів до 120 км/год за одночасного зниження рівня відмов на 20% [1]. Досягнення цих цілей пов'язане з вирішенням завдань щодо створення нових конструкцій вагонів підвищеної надійності та зниження динамічних впливів у системі «колесо – рейка» [2]. В даний час старіння рухомих одиниць та їх елементів призводить до частих відчеплення вагонів, що тягне за собою підвищення витрат на їх обслуговування та ремонт.

Одним з високонавантажених елементів ходових частин рухомого складу є корпус букси, що представляє собою литу деталь зі сталі 35Л, що сприймає динамічні навантаження з боку колісної пари, а також бічної рами візка.

При вписуванні рухомого складу в криві малого радіуса візка протягом усієї кривої займає перекісне положення, з'являється кут набігання колісної пари на зовнішню нитку, який сягає великих значень. З цієї причини виникають значні сили тиску гребенів коліс на рейку, що веде до підвищення опору руху та бічного зносу контактуючих поверхонь.

Раніше основним параметром, за яким проводилося обточування коліс, був прокат по колу катання, тоді як в даний час її виконують для відновлення профілю гребеня, що різко знижує термін служби колеса [1].

Зношування намагалися знизити шляхом розробки нового профілю поверхні катання коліс, змащуванням поверхонь, поверхневим зміцненням та ін. Ці способи хоч і підвищують ресурс рейок і гребенів коліс, але вони борються з наслідками, а не з причиною зношування. Для радикального вирішення проблеми потрібно для локомотивів, що працюють на ділянках з кривими малого радіусу, передбачати створення спеціальних пристроїв, що забезпечують керовану радіальну установку колісних пар (РУКП) локомотивних візків [1, 2].

Розрізняють три типи візків з РУКП: з мимовільною; з напівпримусовою та з примусовою установкою колісних пар. Мимовільна орієнтація забезпечується

підбором горизонтальної жорсткості буксового ресорного підвішування. Напівприсудлива виконується за рахунок наявності пасивних зв'язків між колісними парами в візку. Примусова здійснюється за допомогою керованих механізмів. Найкращі показники зниження інтенсивності зносу гребенів коліс у кривих спостерігаються у візків третього типу [3, 4].

Існуючі візки з керованими механізмами мають гідравлічну, пневматичну або механічну систему передачі управляючого зусилля на дві крайні колісні пари [5–10]. Найбільш перспективним варіантом є механічна система, тому що в ній відсутній трубопровід з робочою рідиною або газом, що зменшує складність конструкції візка та збільшує надійність системи.

У цих візках повідковий зв'язок замінюється жорсткими тягами, що передають зусилля, що управляє, від приводу на колісну пару. Використання такої передачі вимагає значних конструктивних змін у рамі візка, а висока поздовжня жорсткість на прямих ділянках шляху викликає прокат по колу катання коліс і збільшує необхідне зусилля для розвороту колісних пар в кривій.

У відомих візках розгортаючі пристрої встановлені на обох колісних парах, але при цьому розташуванні незбурний рух візка в кривій малого радіуса є нестійким. Стійкість руху збережеться, якщо пристрій, що розвертає, встановлений тільки на одній передній колісній парі. Управління розворотом першої по ходу руху колісною парою дозволяє багаторазово зменшити величину кута набігання колеса на рейку і бічного тиску при найменшому моменті, що управляє, порівняно з другою колісною парою і рамою візка [4].

Для усунення недоліків існуючих схем було розроблено перший варіант конструкції буксового вузла електровоза для механічних систем РУКП, запропонованої в [4]. Перевагами нової букси (рис. 4.1) є:

1. Пряме управління розворотом першої по ходу руху колісної пари без проміжних елементів.
2. Незначні зміни у конструкції рами візка, зменшення складності монтажу та обслуговування системи РУКП.

3. Зниження пружно-подовжніх сил, що перешкоджають примусовому розвороту колісної пари в традиційних візках, дозволяє усунути накопичення пошкоджень у повідцях і в корпусі букси, знижує величину моменту, що управляє, і забезпечує рівномірний знос бандажів на прямих ділянках шляху.

*Особливості конструкції модернізованого буксового вузла*

Для оцінки працездатності запропонованого варіанта модернізації та виявлення недоліків конструкції було виконано побудову тривимірної моделі нової конструкції буксового вузла електровоза сучасної машинобудівної системи автоматизованого проектування.

Модернізований буксовий вузол (рис. 4.1) складається з передньої кришки, корпусу букси, рами букси, гвинтового механізму та підшипників. Буксовий вузол електровоза був розділений на дві основні частини – це корпус та рама букси. Корпус букси є циліндром, у внутрішній частині якого знаходяться лабіринтне кільце, осьові підшипники, дистанційні кільця, корончаста шайба, стопорна планка. У верхній частині розташований Т-подібний повзун для спрямування руху корпусу та передачі вертикальних сил від рами букси. У нижній частині розташовується зубчаста рейка гвинтового механізму для передачі зусилля, що управляє, на корпус букси. Рама букси складається з двох припливів під пружини, що сприймають навантаження від рами візка, чотирьох кронштейнів для кріплення буксових повідців та трьох кронштейнів для кріплення гвинта в нижній частині рами букси. Упорні підшипники необхідні передачі тягових і гальмівних сил з корпусу на раму букси. Передня кришка не зазнавала змін.

Новий букс працює наступним чином. Під час руху рухомого складу в криволінійній ділянці шляху на гвинт подається керуючий момент від приводу системи РУКП. Під дією заданого моменту вал починає обертатися, поступово переміщуючи зубчасту рейку разом із корпусом букси, встановлюючи осі колісних пар по радіусу кривої. Таким чином, зменшується кут набігання колеса на рейку і, як наслідок, бічний знос поверхонь, що контактують.

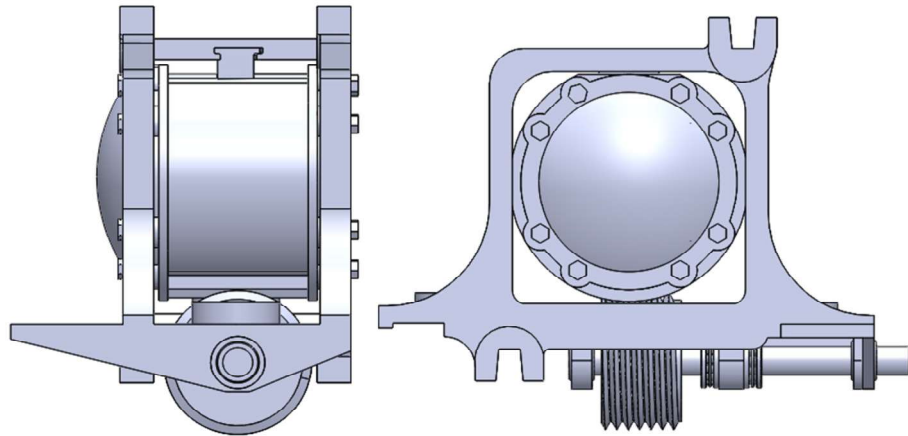


Рисунок 4.1 – Нова конструкція буксового вузла електровоза для механічних систем РУКП: а - вид збоку, б - вид спереду; 1 - корпус букси, 2 - передня кришка, 3 - рама букси, 4 - упорний підшипник, 5 - гвинт

Розрахункова схема для розрахунку міцності

Розрахунок міцності модернізованої букси виконувався на основі напружено-деформованого стану моделі з використанням методу кінцевих елементів.

Як матеріал запропонованої конструкції була обрана сталь 35Л, з якої виготовлений корпус серійного буксового вузла [2].

Граничні умови розрахунку повністю імітують навантаження та закріплення, які визначають поведінку буксового вузла в експлуатації. На рисунках 4.2 та 4.3 представлена розрахункова схема моделі буксового вузла.

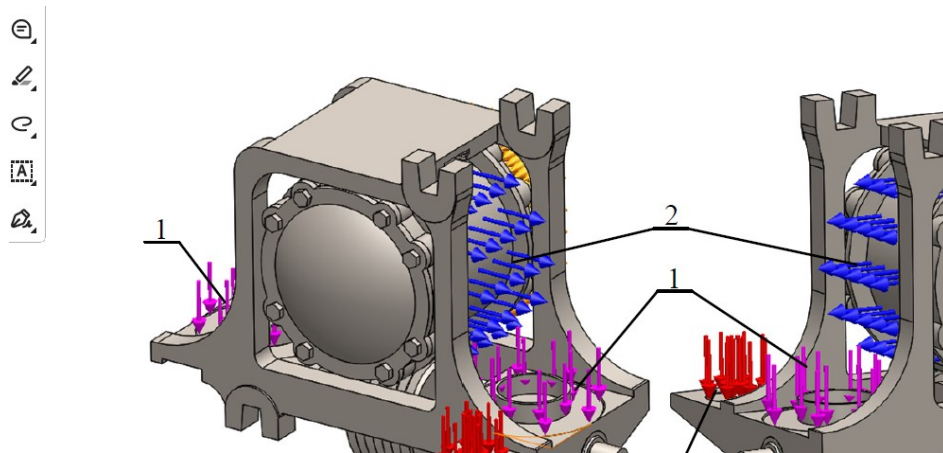


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема докладання сил: а - вид спереду, б - вид ззаду; 1 - навантаження від ваги підресореної частини електровоза, 2 - сила тяги, 3 - сила дисипації, 4 - відцентрова сила, 5 - сила від нерівності колії

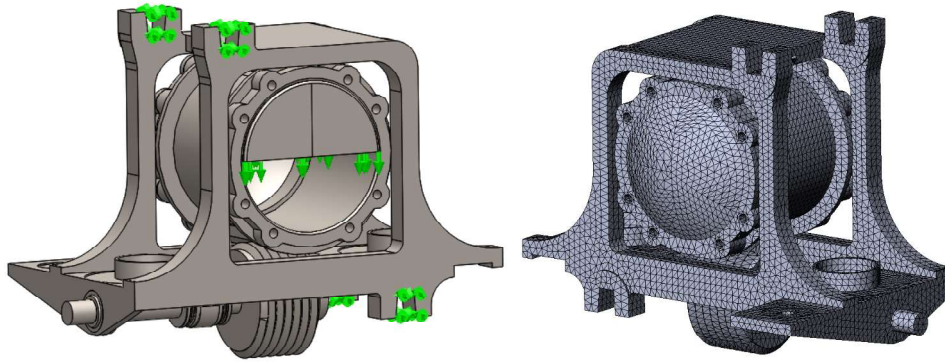


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема застосування обмежень

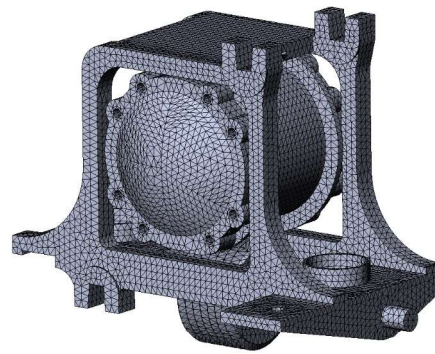


Рисунок 4.4 – Звичайно-елементна сітка модернізованого буксового вузла

У розрахунку були прикладені сили: від ваги підресореної частини електровоза, тяги, від нерівності шляху, дисипації та відцентрова сила. Відцентрова сила з'являється під час руху рухомого складу в кривих ділянках шляху і спрямована горизонтально назовні кривою. Сила дисипації передається на раму букси від гасника коливань при проходженні стиків та нерівностей колії.

Закріплення в місцях кріплення поводків моделюють їх взаємодію з рамою букси, що обмежують поздовжні та поперечні переміщення. Рух рами і корпусу букси вертикально вниз обмежує модель половини осі колісної пари, але допускає переміщення вгору, моделюючи поведінку буксового вузла при проходженні нерівностей шляху [2, 4].

На рисунку 4.4 показано кінцево-елементну сітку модернізованого буксового вузла.

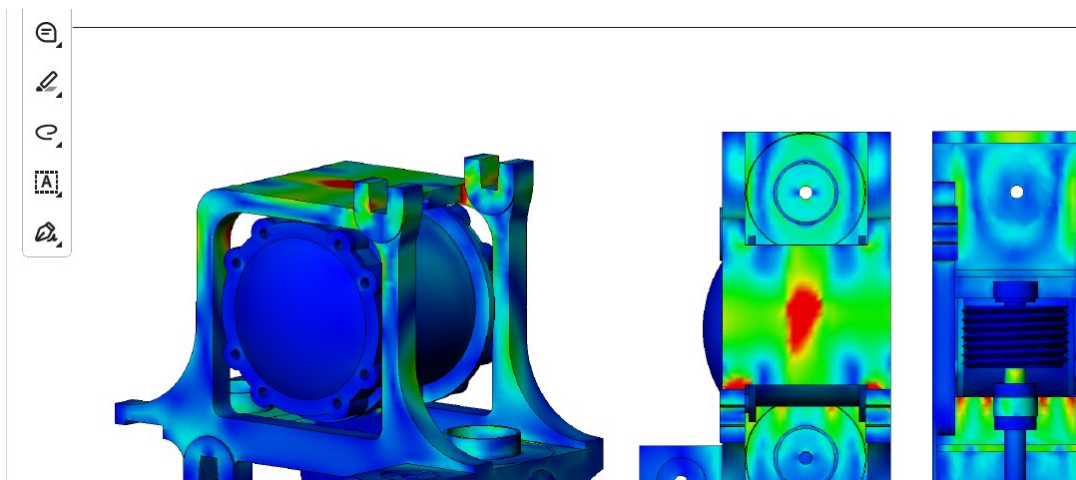


Рисунок 4.5 – Епюра напруг конструкції буксового вузла: а - вид збоку, б - вид зверху, в - вид знизу

а — вид збоку, б — вид зверху, в — вид знизу

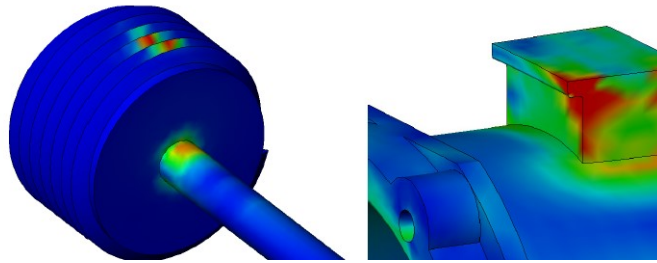


Рисунок 4.6 – Епюра напруг конструкції буксового вузла: а - в області гвинта, б - в області повзуна

#### *Аналіз результатів розрахунку міцності*

На рис. 4.5 та 4.6 представлені епюри напруг буксового вузла. Як видно з даних рисунків, основні концентрації напруг знаходяться в області повзуна, гвинта, центрального гвинтового кронштейна та в місцях кріплення буксових повідців. У зазначених вузлах напруги перевищують межу плинності матеріалу (235 МПа), що веде до руйнування деталей. Форма Т-подібного повзуна та гвинта є небажаною. При переміщенні повзуна по напрямному вирізу в рамі букси може статися його заклинювання. Велика різниця в перерізах гвинта призводить до високої напруги в зоні переходу. Найсуттєвішим недоліком у цій конструкції є те, що корпус букси не закріплений. При передачі зусилля на зубчасту рейку замість поступального руху корпус букси буде обертатися навколо осі колісної пари.

За результатами аналізу міцнісного розрахунку модель буксового вузла необхідно доробити. Повзун слід виконати прямокутної форми та збільшити на всю поверхню корпусу букси, що дозволить зменшити навантаження зі сторони рами букси та усунути заклинювання. Для збільшення площі контакту між зубчастою рейкою та гвинтом пропонується замінити дану передачу на передачу «гвинт - гайка» і перемістити її на бічну поверхню корпусу, що з'єднує раму букси з передньою кришкою, виключаючи обертання корпусу букси. Разом з цим передню кришку, корпус та раму букси слід видозмінити.

У перспективі планується підвищити навантаження на вісь колісної пари вантажного вагона до 250 кН. В результаті проходження складом коротких ізолюваних нерівностей (рейкових стиків, стрілочних перекладів тощо) виникають динамічні навантаження до 400 кН. Моделювання напружено-деформованого стану корпусу букси проводиться, виходячи з припущення про наявність таких навантажень в експлуатації.

У системі тривимірного моделювання «SolidWorks» створено модель, яка є прототипом об'єкта, що досліджується (рис. 4.7).

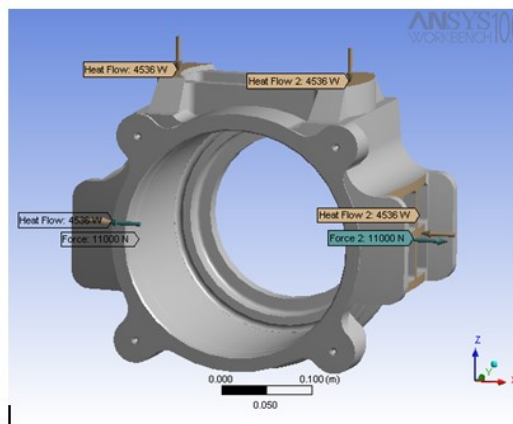


Рисунок 4.7 – Модель корпусу букси вантажного вагона

При дослідженні напружено-деформованого стану корпусу букси завантаженого вантажного вагона використовувався метод кінцевих елементів, який дає змогу врахувати геометричні параметри та реальні умови роботи конструкції, розподіл зовнішніх навантажень, а також фізичні властивості матеріалів, що використовуються в конструкції [3].

Розбиття корпусу букси на кінцеві елементи проводиться відповідно до стандартного алгоритму тетраедризації. Тривимірний твердотільний модель корпусу розбивається на 46 499 кінцевих елементів. Кількість вузлів – 77825, а кількість ступенів свободи становить 22094. Результати розбиття представлені рисунку 4.8.

Для отримання найточніших результатів виконувалося ущільнення сітки кінцевих елементів у зоні тріщини до 2 мм (рис. 4.8).

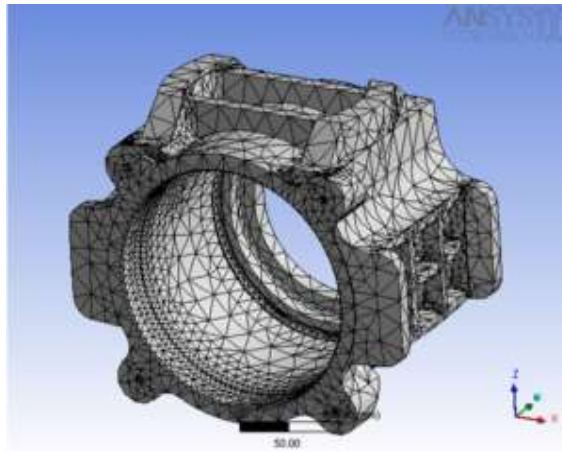


Рисунок 4.8 – Тривимірна модель корпусу букси з нанесеною сіткою кінцевих елементів

Тріщини в корпусах букс утворюються найчастіше в місцях переходу від більшого перерізу до меншого, наприклад, у місцях сполучення верхньої поверхні букси з бічними стінками, у дослідженні тріщина має поздовжню форму довжиною 20 мм і глибиною 1 мм, так як тріщину з такими параметрами можна виявити при візуальному огляді без застосування технічних засобів дефектоскопування (див. рис.4.1). Тріщини, розвиваючись, нерідко переходять у відколи.

Дослідження напружено-деформованого стану корпусу букси завантаженого вантажного вагона за наявності тріщини виконувалося при статичному навантаженні (навантаженні від завантаженого кузова вагона на опорну поверхню корпусу букси, при знаходженні рухомого складу у стані спокою), що дорівнює 135 кН. Для моделювання напружено-деформованого стану під навантаженням, що діє на корпус букси при русі складу 80 км/год по прямій ділянці шляху в зоні нормального та середньозношеного стиків, до моделі прикладається статичне навантаження, еквівалентне динамічному з урахуванням коефіцієнта вертикальної динаміки. У зоні нормального стику (зазор 20 мм) прикладається навантаження 300 кН, у зоні середньозношених стиків (зазор 35 мм) – 620 кН. Результати досліджень подано на рис. 4.9-4.10.

При статичному навантаженні межі плинності та витривалості сталі сталь 35Л не перевищені, отже, тріщина не розвивається (рис. 4.9), розвиток тріщини

відбувається при проходженні зони нормального рейкового стику (рис. 4.11) та зони середньозношеного рейкового стику.

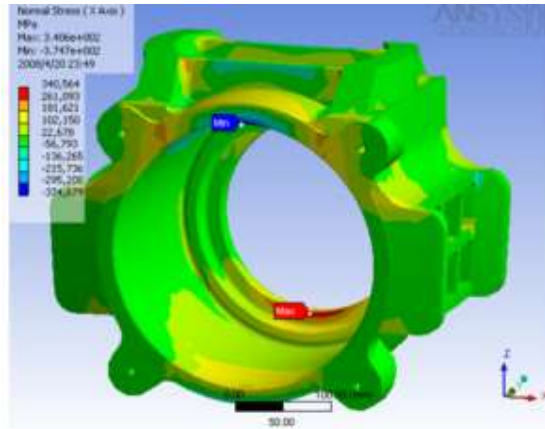


Рисунок 4.9 – Квіткокодований розподіл механічної напруги від впливу навантаження в матеріалі корпусу букси з тріщиною при статичному навантаженні

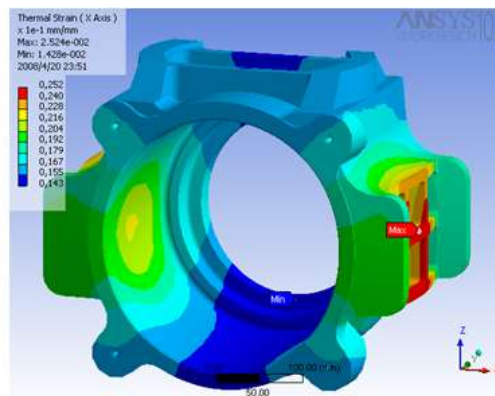


Рисунок 4.10 – Квіткокодований розподіл механічної напруги в матеріалі корпусу букси з тріщиною при проходженні зони нормального стику (зазор 20 мм)

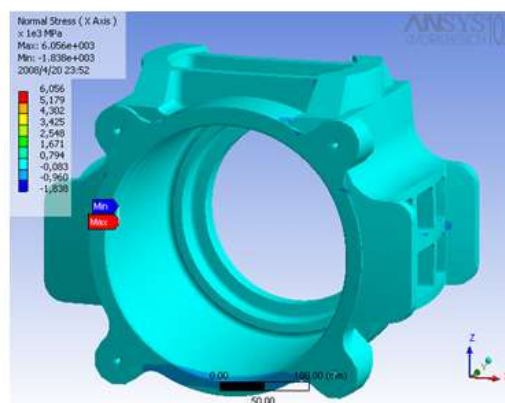


Рисунок 4.11 – Квіткокодований розподіл механічних напруг у матеріалі корпусу букси з тріщиною при проходженні зони середньозношеного рейкового стику (зазор 35 мм)

Найбільша напруга виникає на краях тріщини в місці переходу опорної поверхні в бічну поверхню корпусу букси. При статичному навантаженні на корпус букси 135 кН тріщина не зростає, напруги в цьому випадку 128 МПа. При проходженні складу в зоні нормальних стиків з навантаженням 300 кН тріщина розростається по краях, напруги становлять 299 МПа; а при проходженні середньозношених стиків з навантаженням 620 кН відбувається розрив тріщини, виникає напруга 590 Мпа. Межа витривалості сталі сталь 35Л становить 140 МПа, тоді при навантаженнях 300 і 620 кН в експлуатації виникає перевищення межі витривалості та плинності.

В результаті дослідження напружено-деформованого стану корпусу букси за наявності тріщини в місці переходу опорної поверхні визначені навантаження, при яких виникають напруги, що знаходяться за межами плинності та витривалості сталі сталь 35Л (це дозволяє дати рекомендації про додаткові місця діагностування при дефектоскопіюванні). Зниження цих напруг може бути досягнуто шляхом поліпшення механічних властивостей сталі, зміною конструкції корпусу букси та зниженням ударного впливу в системі «колесо-рейка» в зоні стику.

У цій роботі представлена модернізована конструкція буксового вузла локомотива, призначена для забезпечення радіальної установки осей колісних пар по радіусу кривої. Вона дозволить зменшити інтенсивність бічного зносу гребенів колісних пар та рейок без значних змін у рамі візка. Проведені дослідження першого варіанту конструкції буксового вузла показали, що в кількох місцях напруги перевищують межу плинності матеріала, є недоліки в геометричних формах деталей та передачі керуючих сил на корпус букси. На основі отриманих результатів досліджень намічені шляхи поліпшення конструкції модернізованого буксового вузла.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Умови безпечної роботи механічного цеху

Розділ пов'язаний із проєктом механічного цеху в умовах Шепетівського ремонтного заводу ділянку виготовлення деталей «Корпус 151.01.18» з урахуванням проходження виробничої переддипломної практики на даному заводі.

Основним поняттям безпеки життєдіяльності є небезпека та ризик.

Слід зазначити, що процедура визначення ризику є приблизною.

Можна виділити 4 варіанти методичних підходів до визначення ризику.

1. Інженерний, що спирається на статистику, розрахунок частот, ймовірнісний аналіз безпеки, побудови дерев небезпеки.

2. Модельний, заснований на побудові моделей впливу шкідливих факторів на окрему людину, соціальні, професійні групи тощо.

Ці методи ґрунтуються на розрахунках, для яких не завжди є дані.

3. Експертний, коли можливість різних подій визначається з урахуванням опитування досвідчених фахівців, тобто. експертів.

4. Соціологічний, заснований на опитуванні населення.

Перелічені методи відбивають різні аспекти ризику. Тому застосовувати їх необхідно у комплексі.

Стадії вивчення небезпек.

Стадія I – попередній аналіз небезпеки (ПАН).

Крок 1. Виявити джерела небезпеки.

Крок 2. Визначити частини системи, які можуть спричинити ці небезпеки.

Крок 3. Запровадити обмеження для аналізу, тобто виключити небезпеки, які не вивчатимуться.

Стадія II – виявлення послідовності небезпечних ситуацій, побудова дерева подій та небезпек.

Стадія III – аналіз наслідків.

*Методи аналізу.*

Аналіз безпеки може здійснюватися апріорно чи апостеріорно, тобто до чи після небажаної події. (Див. апріорна та апостеріорна оцінка ризику). В обох випадках метод може бути прямим і зворотним.

Апріорний аналіз – вибираються такі небажані події, які є потенційно можливими для даної системи та складається набір різних ситуацій, які можуть призвести до їхньої появи.

Апостеріорний аналіз – виконується після того, як небажані події вже сталися. Мета такого аналізу – виявлення ланцюга подій, що призвели до реалізації небезпеки та розробка рекомендацій на майбутнє.

Апріорний та апостеріорний аналіз доповнюють один одного.

Прямий метод аналізу спрямований у “майбутнє” і полягає у вивченні причин передбачати наслідки.

Зворотний метод спрямований до “минулого” і аналізує наслідки, щоб визначити причини. Аналіз починається з увінчуючої, небажаної події.

Маючи ймовірності та частоти виникнення первинних подій, рухаючись від минулого до майбутнього, можна визначити ймовірність (частоту) події, що увінчує, тобто ризик. З огляду на все це зупинимося на дотриманні санітарно-гігієнічних норм щодо повітряно-теплового режиму виробничого середовища.

## 5.2 Умови праці у виробничому приміщенні

Для утримання в зимовий період відповідної санітарної норми температури в приміщеннях ділянки влаштовують опалення та повітряну завісу для захисту від прориву холодного повітря в приміщення через прорізи будівлі (ворота, двері тощо).

Для опалення приміщення ділянки застосовують центральне парове опалення, батареї встановлені біля бічних стінок по периметру будівлі.

Повітряна завіса є повітряним струменем, спрямованим під кутом холодного потоку повітря, вона виконує роль повітряного шибера, зменшуючи прорив холодного повітря через проріз. Відповідно до БНіП 2.04.05-91 повітряна завіса встановлена біля прорізів опалювального приміщення, що відкривається не рідше одного разу на годину, або на 40 хвилин одночасно при температурі зовнішнього

повітря  $-15^{\circ}\text{C}$  і нижче. Швидкість виходу повітря із повітряної завіси дорівнює 5 м/с.

Ефективним засобом забезпечення належної чистоти та допустимих параметрів мікроклімату повітря робочої зони є промислова вентиляція. Вентиляцією називається організований і регульований повітрообмін, який забезпечує видалення з приміщення забрудненого повітря і подачу його місце свіжого.

За способом переміщення повітря розрізняють системи природної та механічної вентиляції. Система вентиляції, переміщення повітряних мас в якій здійснюється завдяки виникаючій різниці тисків зовні і всередині будівлі, називається природною вентиляцією.

Вентиляція, за допомогою якої повітря подається до виробничих приміщень або видаляється з них по системах вентиляційних каналів з використанням для цього спеціальних механічних спонукателів, називається механічною вентиляцією.

Механічна вентиляція в порівнянні з природною має низку переваг: великий радіус дії внаслідок значного тиску, створюваного вентилятором; можливість змінювати або зберігати необхідний повітрообмін незалежно від температури зовнішнього повітря та швидкості вітру; піддавати повітря, що вводиться в приміщення, попередньому очищенню, осушенню або зволоженню, підігріву або охолодженню; організовувати оптимальний розподіл повітря з подачею повітря безпосередньо до робочих місць; вловлювати шкідливі виділення безпосередньо в місцях їх утворення та запобігати їх розповсюдженню по всьому об'єму приміщення, а також можливість очищати забруднене повітря перед викидом його в атмосферу. До недоліків механічної вентиляції слід віднести значну вартість спорудження та експлуатації її та необхідність проведення заходів щодо боротьби з шумом.

Системи механічної вентиляції поділяються на загальнообмінні, місцеві, змішані, аварійні та системи кондиціонування.

Загальнообмінна вентиляція призначена для асиміляції надмірної теплоти, вологи та шкідливих речовин у всьому обсязі робочої зони приміщень. Вона

застосовується у тому випадку, якщо шкідливі виділення надходять безпосередньо у повітря приміщення, робочі місця не фіксовані, а розташовуються по всьому приміщенню. Зазвичай об'єм повітря  $L_{пр}$ , що подається в приміщення при загальнообмінній вентиляції, дорівнює об'єму повітря  $L_v$ , що видаляється з приміщення. Однак у ряді випадків виникає необхідність порушити цю рівність. Так, в особливо чистих цехах електровакуумного виробництва, для яких велике значення має відсутність пилу, обсяг припливу повітря робиться більшим за обсяг витяжки, за рахунок чого створюється деякий надлишок тиску у виробничому приміщенні, що виключає потрапляння пилу з сусідніх приміщень. У загальному випадку різниця між обсягами припливного і витяжного повітря не має перевищувати 10...15%.

Істотний вплив на параметри повітряного середовища в робочій зоні надають правильна організація та влаштування припливних та витяжних систем. У випадку різниці між обсягами припливного і витяжного повітря не має перевищувати 10...15%.

Вентиляція поділяється на природну та механічну.

Повітрообмін при природній вентиляції відбувається внаслідок різниці температур повітря у приміщенні та зовнішнього повітря, а також внаслідок дії вітру.

Природна вентиляція виробничих приміщень може бути неорганізованою та організованою.

При неорганізованій вентиляції надходження та видалення повітря відбувається через не щільність і пори зовнішніх огорож (інфільтрація), через вікна, квартирки, спеціальні прорізи (провітрювання).

Організована (піддається регулюванню) природна вентиляція виробничих приміщень здійснюється аерацією та дефлекторами.

Дефлектори є спеціальні насадки, що встановлюються на витяжних повітроводах і використовують енергію вітру. Дефлектори застосовують для видалення забрудненого або перегрітого повітря із приміщень порівняно невеликого об'єму.

В даний час найбільшого поширення набув дефлектор. При підборі дефлекторів визначаю діаметр підвідного патрубку  $D$  (м) і, відповідно, конструктивні розміри дефлектора:

$$D = 0,0188 \times \sqrt{L_d/v_d} \quad (5.1)$$

де  $L_d$  – продуктивність дефлектора,  $L_d = 2000$  м<sup>3</sup>/ч;  $v_d$  – швидкість повітря в патрубку, м/с, яка приймається рівною половиною швидкості вітру  $v_v$ ; при  $v_v = 4$  м/с,  $v_d = 2$  м/с.

$$D = 0,0188 \times \sqrt{2000/2} = 0,59 \text{ м.}$$

Великих тепловиділень від верстатів, які застосовують у цьому цеху, немає. Тому спеціальні заходи щодо видалення нагрітого повітря не проводяться, а незначне тепло, що походить від них, вивірюється через дверні та спеціальні отвори. Загалом приміщення цеху задовольняє вимоги ДСТУ EN 482:2016 Повітря робочої зони.

### 5.3 Природне та штучне освітлення

Для штучного освітлення обмежимося наведенням прикладу розрахунку кількості світильників для штучного освітлення приміщення механічного цеху (МЦ).

Розрахунок штучного освітлення робочого місця здійснюється методом коефіцієнта використання світлового потоку:

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A+B)} \quad (5.2)$$

де  $A$ ,  $B$  – розміри приміщення,  $A = 18$  м,  $B = 24$  м ;

$h = H - h_c - h_p$  – розрахункова висота до світильника ;

$H$  – висота приміщення,  $H = 9$  м;

$h_p$  – висота столу;

$h_c$  – довжина звису.

Для штучного освітлення приміщення вибираємо світильник Л201Б з несвітлопропускними боковинами, з пластмасовою екрануючою решіткою, з чотирма люмінесцентними лампами ЛБ-80 – потужністю 80 Вт. Висота підвісу світильника від стелі  $h_c = 2$  м,  $h_p$  – висота робочої поверхні над підлогою.

$$h = 9 - 2 - 1 = 6 \text{ м.}$$

Коефіцієнти відображення:

– для плит перекриттів  $\rho_{пл} = 0,6$ ;

– для пофарбованих світлою фарбою стін  $\rho_{ст} = 0,7$ ;

- для темної підлоги  $\rho_{пол} = 0,1$ .

$$i = \frac{18 \times 24}{6 \times (18 + 24)} = 1,71.$$

За допомогою індексу приміщення та коефіцієнтів відображення знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,61 \cdot 10^2 = 61$ .

Відстань між центрами вибирається із співвідношення

$L/h = 1,2 \dots 1,4$ , де  $h$  – відстань між центрами світильників.

$$L = 6 \times 1,2 = 7,2 \text{ м.}$$

Світловий потік лампи ЛБ – 80 потужністю 80 Вт -  $\Phi_l = 600$  лм.

Визначимо кількість світильників за формулою:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{432}{7,2^2} = 8,33 \text{ шт.}$$

Приймаємо  $N = 8$  шт.

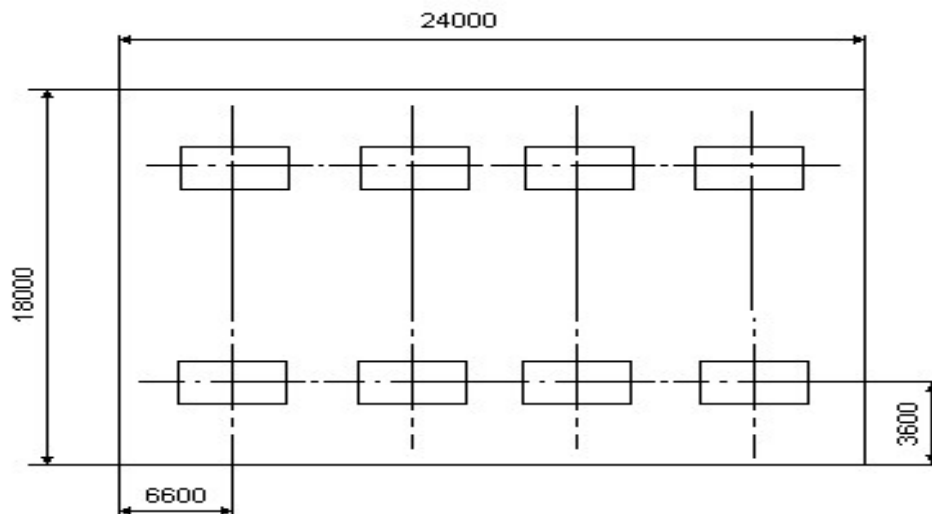


Рисунок 5.1 – Можлива схема розміщення світильників

У світильнику Л201Б знаходяться чотири лампи. Визначимо світловий потік світильника:

$$\Phi = \frac{E \times K_3 \times S \times Z}{N \times \eta}, \text{ лм} \quad (5.3)$$

де  $E$  – задана мінімальна освітленість, для V розряду зорових робіт  $E = 100$  лк ;

$K_3$  – коефіцієнт запасу для люмінесцентних ламп,  $K_3 = 1,5$  ;

$S$  – площа, яка освітлюється,  $S = 432 \text{ м}^2$  ;

$Z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної, характеризують нерівномірність освітлення, для люмінесцентних ламп,  $Z = 1,1$  ;

$N$  - число світильників ;

$\eta$  - коефіцієнт використання.

$$\Phi = \frac{100 \times 1,5 \times 432 \times 1,1}{8 \times 61} = 146 \text{ лм.}$$

Для штучного освітлення ділянки потрібно 8 світильників типу Л 201Б зі стартерною схемою запалювання. Довжина світильника Л201Б – 1,275 м, ширина – 0,775 м.

Визначаємо потужність світильників

$$\Sigma P = P \times n, \quad (5.4)$$

де  $P$  - потужність однієї лампи, Вт;

$n$  – кількість світильників, шт.

$$\Sigma P = 80 \times 8 = 640 \text{ Вт.}$$

Встановлення місцевого освітлення вирішується щоразу індивідуально. Від правильного вибору місця кріплення світильника та напрямку світлового потоку залежить якість освітлення робочого місця.

#### 5.4 Шум та вібрація. Вплив на організм, профілактика

Під впливом шуму знижується зір, з'являється головний біль, запаморочення, змінюється ритм дихання та серцевої діяльності, підвищується внутрішньочерепний та кров'яний тиск, порушується процес травлення, відбувається зміна об'єму

внутрішніх органів, розвивається глухота. Усі ці патології ведуть до розвитку професійної "шумової хвороби".

Важливим засобом профілактики шкідливого впливу шуму на працюючих є санітарне нормування шуму на робочих місцях. Проводиться це за ДСТУ 2867-94.

Відповідно до ДСТУ EN 62359:2018 щодо впливу на людину шум класифікується:

за характером спектру шуму:

- широкопasmовий шум з безперервним спектром шириною більше однієї октави;

- тональний шум, у спектрі якого є виражені тони, що вимірюються в 1/3 октавних смугах частот по перевищенню рівня в одній смузі над сусідніми не менше ніж на 10 дБ;

за тимчасовими характеристиками шуму виділяють:

- постійний шум, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день/за час вимірювання в приміщеннях житлових/громадських будівель змінюється в часі не більше ніж на 5дБ при вимірюваннях на часовій характеристиці шумометра "повільно";

- непостійний шум, рівень якого за 8-годинний робочий день, робочу зміну змінюється більш ніж на 5 дБ при вимірюваннях на часовій характеристиці шумометра "повільно".

Непостійні шуми поділяють на:

— шум, що коливається в часі, рівень звуку якого безперервно змінюється в часі;

- уривчастий шум, рівень звуку якого поступово змінюється (на 5 дБ і більше);

- імпульсний шум, що складається з 1/декілька звукових сигналів, кожен тривалістю менше 1с, при цьому рівні звуків в дБА відрізняються не менше, ніж на 7 дБ.

Вібрацією називаються механічні коливання пружних тіл – частин апаратів, інструменту, машин, обладнання тощо.

Вібрація характеризується такими основними параметрами:

- частотою коливання;
- амплітудою;
- віброшвидкістю;
- прискоренням коливальних рухів.

Вібрація відноситься до факторів, що мають високу біологічну активність. Вона небезпечно впливає на окремі органи тіла та організм людини в цілому, викликаючи вібраційну хворобу. Також вібрація руйнівню діє на машини, обладнання та виробничі будівлі.

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує параметри виробничої вібрації та правила роботи з вібронебезпечними механізмами та обладнанням, ДСТУ 12.1.012:2008 «Система стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги», Санітарні норми СН 2.2.4/2.1.8.556-96 «Виробнича вібрація, вібрація у приміщеннях житлових та громадських будівель». Нормованими параметрами є середні квадратичні значення вібронебезпеки  $V$  та його логарифмічні рівні  $L_v$ .

Таблиця 6.1 – Гранично допустимі рівні звуку на робочих місцях:

Категорія напруженості трудова процесів	Категорії складності труд. процесів				
	Легка	серед. тяж.	важ. I степ.	важ. II степ.	важ. III степ.
Напруга легкої степ.	80	80	75	75	75
Напруга серед. степ.	70	70	65	65	65
Напруга важк. I степ.	60	60	-----	-----	-----
Напруга важк.. II степ.	50	50	-----	-----	-----

Відповідно до вимог проектування промислових підприємств для боротьби з вібрацією на ділянці обробки валів застосовані такі способи:

- динамічне гасіння вібрації здійснюється шляхом встановлення агрегатів на фундаменти;
- збільшення жорсткості системи (введення ребер жорсткості);

- застосування засобів індивідуального захисту (рукавиці, рукавички, віброзахисні пластини) при роботі з ручним механізованим інструментом, застосовується спец взуття.

Інтенсивний шум на виробництві сприяє зниженню уваги та збільшенню числа помилок при виконанні роботи, виключно сильний вплив надає шум на швидкість реакції, збір інформації та аналітичні процеси, через шум знижується продуктивність праці та погіршується якість роботи. Шум ускладнює своєчасну реакцію працюючих на попереджувальні сигнали транспорту всередині ділянки (автовантажувачів, мостових кранів), що сприяє виникненню нещасних випадків на виробництві.

Нормовані параметри шуму на робочих місцях визначені ДСТУ 2867-94 та Санітарними нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель та на території житлової забудови».

Загальний рівень звукового тиску не повинен перевищувати 85 дБ.

Основними джерелами шуму більшості металорізальних верстатів є приводи, електродвигуни та ріжучий інструмент у процесі роботи.

Шумові характеристики обладнання:

Багатоцільовий вертикальний верстат HAAS EC-1600 – 78 дБ,

Верстат свердлильно-фрезерно-розточувальної моделі IP320ПМФ4 – 80 дБ,

На ділянці рівень шуму вбирається у 85дБ, що у допустимих межах і становить складності для працюючих.

Робота на металорізальних верстатах вимагає свободи маніпулювання в робочій зоні верстата (установка та закріплення заготовки, вимірювання деталі в процесі обробки, видалення стружки, зміна інструменту).

Це виключає застосування звукоізолюючих кожухів. Основними шляхами зниження вібрацій та шуму металорізальних верстатів на ділянці є: застосування високоякісних підшипників, малошумних зубчастих передач та електродвигунів, дотримання технологічної дисципліни при складанні вузлів верстата, застосування раціональних конструкцій різального інструменту та пристроїв, жорсткість їх

кріплення. Як індивідуальні пристрої для захисту органів слуху робітники на ділянці користуються вкладишами і навушниками.

Оскільки на ділянці обробки валів працюють кілька верстатів, то приміщенні відбувається деяке посилення шуму.

Визначається сумарний рівень шуму від п'яти верстатів із рівнями 3x78, 2x80дБ.

Розрахунок шуму.

Знайдемо площу облицювання з пінопласту з відкритими порами з коефіцієнтом звукопоглинання  $\alpha_{\text{обл}} = 0,57$ ;  $f = 1000$  Гц в приміщенні з розмірами  $H = 12$  м;  $A = 24$  м;  $B = 20$  м (об'єм приміщення  $8640 \text{ м}^3$ ).

Розрахунок  $\Delta L_{\text{тр}}$  виробляють у кожній з восьми активних смуг. Знайдені величини рівнянь порівнюємо з допустимими за нормами  $L_{\text{доп}}$  та визначаємо потрібне зниження рівня шуму (дБ) :

$$\Delta L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}}. \quad (5.5)$$

$$L_1 - L_2 = 85 - 80 = 5 \text{ дБ.}$$

За довідковими даними поправка  $\Delta L = 5,5$  дБ, відповідно, сумарний рівень шуму двох віддалених джерел шуму:

$$L_{\text{общ}} = 85 + 5,5 = 90,5 \text{ дБ.}$$

$$\Delta L_{\text{тр}1} = 90,5 - 78 = 2,5 \text{ дБ (500Гц)};$$

$$\Delta L_{\text{тр}2} = 90,5 - 80 = 11,5 \text{ дБ (1000Гц)};$$

Середній коефіцієнт звукопоглинання внутрішніх поверхонь площею  $8640 \text{ м}^2$  до встановлення облицювання з площею  $S_{\text{обл}}$  :

$$\alpha = \frac{VS_{\text{орг}}}{(VS_{\text{орг}})+1} = \frac{\frac{300}{432}}{\left(\frac{300}{432}\right)+1} = 0,4. \quad (5.6)$$

де  $V = 300 \text{ м}^2$  – постійна приміщення.

За довідковими даними  $\Delta A_{\text{тр}} = 9000 \text{ м}^2$ , тоді

$$S_{\text{обл}} = \frac{\Delta A_{\text{тр}}}{\alpha_{\text{обл}}} = \frac{9000}{0,4} = 22500 \text{ м}^2.$$

У цьому випадку найбільш раціонально розмістити облицювання на стінах та стелі приміщення.

### 5.5 Заходи з електробезпеки

Захисне заземлення служить виключно для захисту людей від ураження струмом. Воно являє собою спеціально виконане у вигляді сталевого або мідного провідника з'єднання металевих частин електроустановки, що зазвичай не знаходяться під напругою, з заземлювачами зануреними в землю.

Основне завдання при влаштуванні захисного заземлення — вибрати опір заземлювача так, щоб людина, що стикалася з пошкодженим електроустановкою, не могла зазнати впливу удару електричного струму. Безпека буде досягнута в тому випадку, якщо напруга, під якою може опинитися людина, торкаючись корпусу електродвигуна і стоячи на землі (напруга дотику  $U_{\text{пр}}$ ) або тільки стоячи на землі, але не торкаючись пошкодженого електродвигуна (крокова напруга  $U_{\text{кр}}$ ), буде в межах безпечної напруги (близько 40 В).

Величина опору захисного заземлення має бути  $\leq 4$  Ом, так як

$$R_{\text{защ}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{зам}}} = \frac{40}{10} = 4 \text{ Ом}, \quad (5.7)$$

де  $R_{\text{защ}}$  — опір захисного заземлення в Ом;

$U_{\text{пр}}$  — допустима напруга дотику, дорівнює 40 В;

$I_{\text{зам}}$  — струм при короткому замиканні 10 А..

При розрахунку заземлювальних пристроїв завжди задаються припустимою величиною напруги дотику  $U_{\text{пр}}$  виходячи з умов безпеки.

Розраховане заземлення не може забезпечити безпечної експлуатації установки, якщо не враховувати властивості ґрунту, в який закопаний заземлювач. Відомо, що ґрунт не є ідеальним провідником, а має дуже великий питомий опір.

Тому струм, стікаючи в землю із заземлювача, розтікається по всьому її об'єму. Потенціал  $U$  в точці А на відстані  $r$  від заземлювача визначається за формулами:

$$U = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}, \quad (5.8)$$

де  $\rho$  — питомий опір ґрунту.

Очевидно, що  $U_{\text{max}}$  опиниться на поверхні заземлювача і повинен дорівнювати нулю на нескінченно великій відстані від нього:

$$U_{\max} = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{r_{\text{ззз}}}, \quad (5.9)$$

де  $r_{\text{ззз}}$  – радіус заземлювача.

Ділячи рівняння (5.8) і (5.9) одно на інше, отримаємо

$$\frac{U}{U_{\max}} = \frac{r_{\text{ззз}}}{r},$$

Оскільки відношення потенціалів у двох точках ґрунту залежить від радіусу заземлювача та відстані цих точок від заземлювача. Отже, різниця потенціалів між двома точками зростає у міру наближення до заземлювачів. Звідси необхідно, щоб значення потенціалу на одиницю довжини не було більшим і перевищувало напругу дотику.

Говорячи про захисне заземлення, слід відрізнити його від робочого заземлення, яке служить для того, щоб запобігти підвищенню напруги в деяких промислових установках.

Захисне заземлення слід застосовувати в мережах, які не мають безпосереднього заземлення нейтральної точки (нуля).

Проходячи через організм людини, електропотік справляє термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію. Характерними видами електричних травм є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні пошкодження та електроортальмія.

Допустимим вважається струм, при якому людина може самостійно звільнитися від електричного ланцюга.

При гігієнічному нормуванні ДСТУ 12.1.038-95 встановлює гранично-допустиму напругу дотику та струму. Протікаючі через тіло людини (рука-рука, рука-нога) при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановок виробничого та побутового призначення постійного та змінного струму частотою 50 та 40 Гц.

Розрахунок опору заземлювального пристрою для фрезерного верстата.

Розрахунок ведеться за стандартною довідковою методикою за прийнятими вихідними даними: довжина заземлювача  $l = 2,5$  м; діаметр заземлювача  $d=0,05$  м; глибина розміщення геометричного центру від поверхні

$H = 1$  м; ґрунт – суглинок.

Опір природних заземлювачів визначаємо за формулою

$$R_{\ell} = \frac{\rho}{2\pi l} \times \left( \ell n \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ell n \frac{4H+l}{5H-l} \right), \quad (5.10)$$

де  $\rho$  – розрахунковий опір ґрунту, Ом;

$l = 2,5$  м – довжина заземлювача;

$d = 0,05$  м – діаметр заземлювача;

$H = 1$  м – глибина розміщення геометричного центру заземлення від поверхні.

Визначимо розрахунковий опір ґрунту

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \times \psi = 40 \times 1,5 = 60 \text{ Ом}, \quad (5.11)$$

де  $\rho_{\text{изм}} = 40$  Ом – питомий опір ґрунту, виміряний;

$\psi = 1,5$  – кліматичний коефіцієнт (при середній вологості ґрунту).

$$R_{\ell} = \frac{60}{2 \times 3,14 \times 2,5} \left( \ell n \frac{2 \times 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \ell n \frac{4 \times 1 + 2,5}{5 \times 1 - 2,5} \right) = 19,4 \text{ Ом}.$$

Приблизна кількість заземлювачів:

$$n_{\text{пр}} = \frac{R_e}{R_{\text{доп}}} = \frac{19,4}{4} = 4,85 \text{ шт}, \quad (5.12)$$

де  $R_{\text{доп}} = 4$  Ом – максимальний додатковий опір заземлювального пристрою.

Повна кількість заземлювачів:

$$n_{\text{точ}} = \frac{R_e}{R_{\text{доп}} \eta_{\text{ст}}} = \frac{19,4}{4 \times 0,72} = 6,74 \text{ шт}, \quad (5.13)$$

де  $\eta_{\text{ст}} = 0,72$  – коефіцієнт використання заземлювача із труб, за довідковими даними.

Приймаємо  $n = 7$  прим.

Довжина сполучної смуги

$$L = a \times (n - 1) = 2,5 \times (7 - 1) = 15 \text{ м}. \quad (5.14)$$

Опір сполучної смуги:

$$R_{\ell} = \frac{\rho}{2\pi L} \ell n \frac{2L^2}{bt_0} = \frac{60}{2 \times 3,14 \times 15} \times \ell n \frac{2 \times 15^2}{0,05 \times 1} = 6,240 \text{ Ом},$$

де  $b = 0,05$  м – ширина сполучувальної смуги;

$t_0 = 1$  м – глибина, де розташована сполучна смуга.

Загальний опір заземлювального пристрою:

$$R_{з.у.} = \frac{1}{\frac{\eta_{ст}}{R} + \frac{\eta_{п}}{R_{п}}} = \frac{1}{\frac{7 \times 0,72}{19,4} + \frac{0,64}{6,4}} = 2,8 \text{ Ом}, \quad (5.15)$$

де  $\eta_n = 0,67$  – коефіцієнт випробування сполучної смуги.

Умова  $R_{з.у.} < R_{дон}$ ,  $2,8 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$ , виконується, отже, заземлювальний пристрій можна використовувати як захисний заземлювач.

Всі верстати, розташовані на ділянці, приводяться в дію електродвигунами, тому існує небезпека ураження електричним струмом.

Відповідно до ДСТУ Б А.3.2-12:2009 всі верстати та агрегати мають робочу ізоляцію струмопровідних частин, заземлення, автоматичне відключення, плавкі запобіжники, огороження струмопровідних частин.

Електродвигуни – закритого типу, що унеможлиблює дотик до деталей під напругою.

При обслуговуванні електроустановок застосовані такі заходи безпеки: діелектричні рукавички, боти або калоші, діелектричні килимки або підставки, інструмент з рукоятками струмоізолюючими.

## 5.6 Безпека у НС. Пожежна безпека

У виробничих умовах найпоширенішими джерелами займання є:

- а) іскри, що утворюються при коротких замиканнях;
- б) пробою ізоляції;
- в) куріння на робочому місці;
- г) використання відкритого вогню у приміщенні;
- д) використання несправних електроприладів.

Пожежовибухонебезпечність виробництва визначається параметрами пожежонебезпечності та кількістю матеріалів і речовин, що використовуються в технологічних процесах, режимами роботи верстатів, наявністю можливих джерел запалення та умов для швидкого поширення вогню у разі пожежі.

Відповідно до НПБ 105-95 всі об'єкти відповідно до характеру технологічного процесу з вибухопожежної та пожежної небезпеки поділяються на 5

категорій. Категорія будівлі ділянки обробки валів – Д; ступінь вогнестійкості будівель I згідно з БНіП 21.01-97.

Запобіжні заходи:

- використання прихованої проводки для живлення апаратури;
- застосування в ланцюгах живлення автоматичного вимкнення;
- регулярний інструктаж працюючих;
- контроль за станом електрообладнання та своєчасне усунення його несправності;
- заборона куріння на робочому місці;
- допуск до електроустаткування лише осіб, знайомих із правилами його експлуатації.

Засоби пожежогасіння:

- вогнегасники ОУ-5, ОУ-8;
- ящик із піском;
- кран пожежного водопроводу, розташований біля ділянки.

В якості техніки, призначена для захисту різних об'єктів від пожежі, застосовується засіб сигналізації. Пожежна сигналізація швидко та точно повідомляє про пожежу з місця її виникнення. На ділянці використовують автоматичні теплові пожежні сповіщувачі, які включаються при зміні параметрів навколишнього середовища в момент виникнення пожежі.

У разі виникнення пожежі необхідно:

- вивести із приміщення всіх людей, крім двох співробітників;
- останнім розпочати гасіння пожежі за допомогою вогнегасників;
- викликати пожежну команду;
- відключити напругу живлення;
- за необхідності скористатися пожежним водопроводом

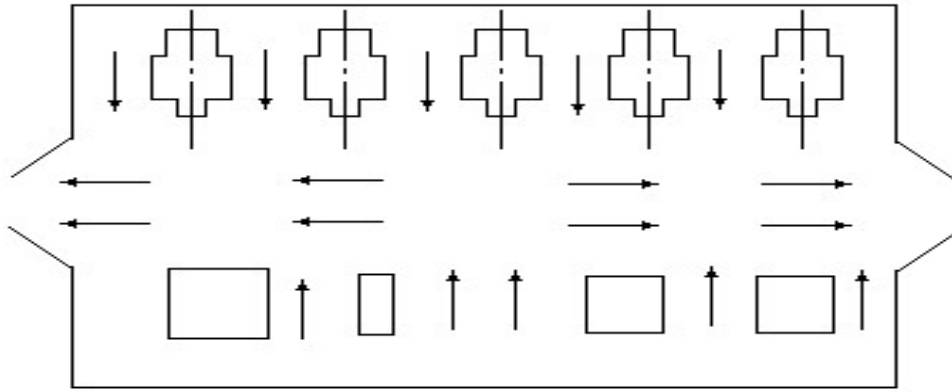


Рисунок 6.2 – План евакуації при пожежі

### 5.7 Охорона довкілля. Утилізація відходів машинобудівного виробництва

Механічна обробка металів на верстатах супроводжується виділенням пилу, туманів, масел та емульсій, які через вентиляційну систему викидаються з приміщень. Тому на ділянці застосовуються апарати очищення вентиляційних та технологічних викидів в атмосферу – сухі пиловловлювачі (циклони типу СК-ЦН-34) згідно з БНіП 2.04.05-86. Звільнившись від пилу повітря не перевищує ГДВ (гранично-допустимий викид), відповідно ДСТУ 2195-99.

На ділянці механічної обробки основними домішками стічних вод є пил, абразивні металеві частинки, сода, масла, розчинники, мила, фарби. Побутові стічні води, що утворюються в раковинах, санітарних вузлах, душових містять великі домішки (залишки їжі, ганчірки, пісок тощо). Для спуску виробничих та господарських вод передбачені каналізаційні пристрої. Каналізація складається з внутрішніх каналізаційних пристроїв, розташованих у будівлі, зовнішньої каналізаційної мережі (підземних труб, каналів), насосних станцій, споруд для очищення, знешкодження та утилізації стічних вод, пристроїв їх випуску у водоймище.

Відповідно до Водного кодексу України всі стічні води підприємства повинні піддаватися очищенню від шкідливих речовин перед скиданням у водоймище.

Для очищення стічних вод використовується проціджування, яке реалізується в ґратах типу РД-200, застосовуються пісковловлювачі, відстійники, гідроциклони,

зернисті фільтри, аеротенки, споруди для насичення очищених стічних вод киснем.

Тверді відходи машинобудівного виробництва містять амортизаційний брухт (відходи при модернізації обладнання, оснащення інструменту), стружки та тирсу металів, осадки та пил (відходи систем очищення повітря).

Для захисту ґрунтів, лісових угідь, поверхневих та ґрунтових вод від неорганізованого викиду твердих та рідких відходів використовуються збір промислових та побутових відходів на звалищах та полігонах. На полігонах також здійснюють переробку промислових відходів.

Полігони створені відповідно до вимог БНіП 2.01.28-85 та використовуються для знешкодження та захоронення токсичних відходів промислових підприємств.

Здійснюється розв'язання задачі з переробки промислових відходів – збирання та переробка відходів металів. Забруднення та засмічення металовідходів призводять до великих втрат під час переробки, тому збирання, зберігання та здавання їх регламентується спеціальними стандартами: ДСТУ 4121:2022 Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови; ДСТУ 3211:2009 Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови.

## Висновки

У дипломній роботі представлений механічний цех з докладною розробкою ділянки виготовлення «Корпус 151.01.18».

Запропоновано варіант технологічного процесу механічної обробки деталі з використанням високопродуктивних багатоцільових верстатів із ЧПУ. Це дозволило сконцентрувати обробку деталі на трьох верстатах, що особливо важливо за умов автоматизованого виробництва.

Використання для обробки деталі прогресивних конструкцій різальних інструментів, оснащених пластинами твердого сплаву зі зносостійким покриттям, дало можливість підвищити режими різання та знизити трудомісткість виготовлення деталі.

Застосування в конструкціях верстатних пристроїв пневматичних затискних пристроїв дозволили зменшити допоміжний час на встановлення, закріплення та зняття деталі.

Внаслідок запропонованих у дипломній роботі технологічних, конструкторських та організаційно-економічних рішень отримано зниження собівартості деталі.

У магістерській роботі висвітлено питання, пов'язані з безпекою життєдіяльності, розроблено заходи, що забезпечують безпечні умови праці, у тому числі у надзвичайних ситуаціях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.
2. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник / Юрчишин І.І. та ін. Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
3. Якимов А.В., Царюк В.Н., Якимов В.А. и др. Технология машиностроения: Учебник для студ. машиностр. вузов. / Под редакцией Якимова А.В. Одесса: Астропринт, 2012. 784с., ил.
4. Гевко Б.М. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: Навчальний посібник. [Текст] / Гевко Б.М., Матвійчук А.В. Тернопіль: ТДТУ, 2004. 131 с.
5. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. 386 с.
6. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залого. Суми: Сумський державний університет, 2013. 371 с.
7. Родін П.Р. і др. Металорізальні інструменти. В 2-х ч. / П.Р. Родін, Ю.М. Бугай, Н.С. Равська, В.І. Солодкий. Київ, «Вища школа», 1993. Ч.1. 226 с., іл.
8. Данюк В. М., Абрамов В. М. Нормування праці. К.: ВІПОЛ, 1995. 465 с.
9. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПК. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
10. Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігаль В.Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
11. Гордєєв А. І. Урбанюк Є.А., Сілін Р.С. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ 2013. 159 с., іл.

12. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т., Гордєєв А. І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник / За ред. Р.Т. Карпика. Хмельницький: ХДУ, 2003. 222 с., іл.
13. Желєзна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2004. 796 с.
14. Контрольна робота з дисципліни "Проектування контрольно-вимірювальних пристроїв" Вінниця, 2015. 13 с.
15. П.А. Лінчевський та ін.. Обробка деталей на обробно-розточувальних верстатах / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред.. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300с. ISBN 966-575-048-8
16. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша 2004. 248 с.
17. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці в галузі освіти. Суми: Університетська книга, 2001. 345 с.
18. SANDVIK COROMAT [Електронний ресурс] // [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com). 2021. Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ruru/products/pages/technologies.aspx#inveio>.
19. <http://ecat.secotools.com/>
20. Євтухов, В. Г. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В.Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
21. Приходько, В. П., Литвин О.В. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин: Навч. посіб. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 212 с.
22. Кушніров, П. В. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Технологічна оснастка» / Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.