

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

**Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»  
на тему:

Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу  
«Кронштейн передній»  
08-26.МКР.003.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ПМ-19м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Бажак Д.С. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., проф. каф. ТАМ

Буренніков Ю.А. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. АТМ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»  
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТАМ  
д.т.н., професор Козлов Л.Г.

«05» жовтня 2020 р.

### ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бажак Дмитро Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній»

керівник МКР Буренніков Юрій Анатолійович, к.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «25» вересня 2020 року №214.

2. Строк подання студентом МКР: 10 грудня 2020

3. Вихідні дані до МКР: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

## 6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видано	завдання виконано
Спеціальна частина	Проф. Буренніков Ю.А.		
Економічна частина	Проф. Лесько О.Й.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Доц. Віштак І.В.		

7. Дата видачі завдання «05» жовтня 2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	10.10	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	15.10	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	30.10	
4	Розв'язання поставлених задач	20.11	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	22.11	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	25.11	
7	Виконання розділу «Охорона праці безпека в надзвичайних ситуаціях»	25.11	
8	Попередній захист МКР	27.11	
9	Перевірка роботи на плагіат	20.11	
10	Нормоконтроль МКР	4.12	
11	Рецензування МКР	10.12	
12	Захист МКР		

Студент \_\_\_\_\_

Бажак Д.С.

Керівник МКР \_\_\_\_\_

Буренніков Ю.А.

## АНОТАЦІЯ

Бажак Д.С. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній»– Вінниця: ВНТУ, кафедра ТАМ, 2020 - 132с. РПЗ, 10 аркушів формату А1.

В даній роботі було виконано модернізацію технологічного процесу механічної обробки, запропоновано використати обкочування кулькою як фінішну обробку, а саме: проведено аналіз конструкції і технологічності деталі, вибрано спосіб виготовлення заготовки, спроектовано модернізований маршрут механічної обробки деталі на верстатах з ЧПК з розробкою змісту операцій, здійснено розмірний аналіз технологічного процесу та встановлені технологічні розміри, розміри припусків та заготовки, визначено режими різання з урахуванням оптимізації, спроектована ділянка механічної обробки; розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на ділянці механічної обробки. Розроблена графічна частина.

## ABSTRACT

Bazhak DS Improving the technological process of machining the workpiece type type "Front bracket" - Vinnytsia: VNTU, Department of TAM, 2020 - 132p. RPZ, 10 sheets of A1 format.

In this work, the modernization of the technological process of machining was performed, it was proposed to use ball rolling as a finishing, namely: the analysis of the design and manufacturability of the part, the method of manufacturing the workpiece, dimensional analysis of the technological process and the established technological dimensions, the sizes of allowances and workpieces, the cutting modes are determined taking into account the optimization, the machining section is designed; developed measures for labor protection and safety in emergencies at the site of machining. Developed graphic part.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ КУЛЬКОЮ	11
1.1. Напружено-деформований стан при обчуванні кулькою	11
1.2 Оцінка пластичності поверхневого шару металу	19
1.3 Висновки	22
2 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	23
2.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи	26
2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі	
2.3 Вибір способу виготовлення заготовки	
2.4 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва	
2.4 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні	
2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз	
2.6 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів	
2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу	57
2.8 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні	62
2.9 Визначення режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів	67
2.10 Визначення технічних норм часу для всіх операцій	70
2.11 Проектування ділянки механічної обробки	72
2.12 Висновки	80
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	81
3.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	81

3.2	Прогноз попиту на інноваційне рішення.....	84
3.3	Вибір каналів збуту та після продажного обслуговування.....	86
3.4	Виявлення основних конкурентів.....	88
3.5	Обрання методу ціноутворення.....	90
3.6	Оцінка рівня якості інноваційного рішення.....	94
3.7	Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення.....	96
3.8	Прогнозування витрат на виконання роботи.....	98
3.9	Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	100
3.10	Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	102
3.11	Висновки.....	103
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	104
4.1	Аналіз умов праці.....	104
4.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	108
4.2	Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи.....	110
4.4	Дослідження стійкості роботи обладнання ділянки механічної обробки в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій...	112
4.5	Висновки.....	114
	ВИСНОВКИ.....	119
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	120
	ДОДАТКИ	

## ВСТУП

**Актуальність.** Машинобудування – є важливою галуззю промисловості України. З його розвитком підвищується якість машин, приладів, механізмів, скорочуються строки виготовлення. Це все залежить від досконалості технологій. Ефективність машинобудування розвивається з вдосконаленням сучасних технологій, і спрямоване на підвищення швидкості обробки та скорочення основного та допоміжного часу на обробку.

**Мета і завдання дослідження.** Мета магістерської кваліфікаційної роботи – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній» шляхом застосування прогресивних технологічних процесів з використанням високопродуктивного обладнання, сучасного підходу до вибору верстатів, інструментів, оснащення, що забезпечить необхідну якість деталей при скороченні часу обробки, зменшенні необхідної кількості обладнання, працюючих, площ, енерговитрат, собівартості виробу.

Для досягнення поставленої мети повинні бути виконані такі **завдання:**

- провести огляд технології виготовлення деталі типу «Кронштейн передній»;
- на основі робочого креслення деталі виконати якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі;
- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та оптимальний спосіб виготовлення заготовки, виконавши відповідне техніко-економічне обґрунтування;
- вибрати методи обробки поверхонь деталі «Кронштейн передній»;
- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;
- розробити удосконалені варіанти маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній» з використанням обкочування кулькою, як фінішної обробки;
- вибрати кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;

- розрахувати режими різання, обрати оптимальні режими для обробки корпусу, з урахуванням матеріалу деталі;
- виконати нормування операцій технологічного процесу;
- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки деталі;
- провести розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталей типу «Кронштейн передній».

**Предмет дослідження** – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній».

**Методи дослідження.** Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точносне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній»; метод кінцевих елементів, що дозволив дослідити процес обкочування кулькою.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Дістала подальший розвиток методика дослідження процесу обкочування деталі кулькою, для забезпечення точності та шорсткості поверхні.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній» на базі використання сучасних підходів до побудови технологічних процесів механічної обробки, впровадження прогресивного автоматизованого обладнання, що дозволяє підвищити якість оброблених деталей, зменшити їх собівартість, суттєво скоротити при цьому виробничі площі.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися на конференції:

- Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)». – Режим доступу :

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021> (м. Вінниця, ВНТУ, 01-14 травня 2020 р.)

*Публікації.* Опубліковано тезу доповіді:

- Дослідження процесу обкочування кулькою [Електронний ресурс] / Бажак Д.С., Боролук Р.В. // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2021)», м. Вінниця, 01-14 травня 2021 р. – 2021.

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

## 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ КУЛЬКОЮ

### 1.1 Напружено-деформований стан при обчужуванні кулькою

Формування поверхневого шару здійснюється в результаті пластичного течіння, що відбувається в умовах знакоперемінної деформації при декількох несиметричних і неоднакових циклах навантаження. Тому параметри механічного стану поверхневого шару, в тому числі і степінь вичерпання ресурса пластичності, для запобігання значної помилки повинні визначатися з врахуванням складної історії навантаження і можливого заліковування дефектів металу при переміні знаку деформації.

Для розрахунку ресурсу пластичності необхідно встановити:

- траєкторію руху частинки поверхневого шару відносно інструменту;
- програму навантаження частинки, що відображає зміну вздовж траєкторії руху інтенсивності деформації зсуву і показника напруженого стану  $\eta$ ;
- залежність граничної пластичності металу від параметрів напруженого стану (діаграму пластичності металу).

Розрахунок степені використаного ресурсу пластичності здійснюється по різним моделям руйнування металу. Результати розрахунку залежать від використовуваної моделі.

При розрахунку напруженого і деформованого стану джерела деформації при обкатуванні роликком було встановлено, що деформування має немонотонний характер, але всю історію навантаження можна розбити на три зони, в кожній з яких деформація близька до монотонної. Це позаконтактна зона перед інструментом, контактна зона під інструментом і позаконтактна зона за інструментом. На границях цих зон змінюється вид

деформації і умова монотонності процесу в цілому порушується, що може призвести до зменшення інтенсивності росту використаного ресурсу пластичності. Це зменшення можна врахувати за допомогою коефіцієнта  $\alpha$ :

$$\psi = \sum \left[ \frac{e_u}{e_{pj}(\eta_j)} \right]^{\alpha_j(\eta_j)} \quad (1.1)$$

де  $j$  – номер монотонного етапу деформування.

Значення коефіцієнта  $\alpha$  залежить від показника напруженого стану. Враховуючи складність врахування цієї залежності при розрахунках використаного ресурсу пластичності значення  $\alpha$  приймають постійним для кожної ділянки монотонного навантаження.

Особливо ефективним є застосування обробки ППД деталей із різноманітними концентратами напружень. Збільшення границі витривалості при багатоцикловій втомлюваності тим вищі, чим більша концентрація напружень. В такому випадку ППД, як зміцнюючий метод обробки має перевагу у порівнянні з термічними і хімічно-термічними методами.

Існують експериментальні роботи, що вказують на підвищення контактної витривалості деталей після обробки ППД. Зміцнення зразків зі сталі 20ХНЗА шариком, діаметр якого 10 мм, при тискові 280 кгс/мм<sup>2</sup> підвищили їхню довговічність при терті кочення на 34-50 % в порівнянні зі шліфованими після цементації і термічної обробки зразками (і).

Л.І. Маркусом встановлено, що зразки, виготовлені зі сталі ШХ15 і зміцненні алмазним вигладжуванням, більш довговічні (при 50%-ній можливості руйнування – в 1.7, а при 10%-ній – в 3,5 рази), ніж зразки, оброблені суперфінішуванням.

Відомо, що різноманітні корозійні середовища чинять негативний вплив на втомну міцність деталей. Дослідженнями багатьох учених

встановлено, що обробка ППД сприяє усуненню дії агресивних середовищ на втомну міцність. Наприклад, накатування сталі 40Х дозволило повністю ліквідувати вплив корозійного ефекту; деталь мала одну і ту ж границю стійкості при дослідженні на повітрі та у воді.

Сьогодні не підлягає сумніву ефективність ППД як методу підвищенні зносостійкості деталей, що працюють в умовах тертя зі змащуванням. В даному випадку зменшується тривалість роботи і, відповідно, початкове зношування в період роботи за рахунок створення оптимального мікрорельєфу поверхневого шару деформаціям.

В залежності від конкретних умов роботи деталі в машині, той чи інший параметр якості поверхневого шару має привалюючий вплив на конструктивну міцність.

Зупинимося більш детально на впливі параметрів стану поверхневого шару на опір втомленості.

При ППД за рахунок пластичної деформації вихідних нерівностей формується шорсткість з малою висотою, великими значеннями відносної опорної довжини профілю, збільшеними радіусами вершин і впадин нерівностей. Така форма нерівностей в порівнянні зі зміцненням металу збільшує зносостійкість пар тертя, контактну жорсткість стиків і знижує здатність поверхонь до зношування. Останнє особливо важливо для гумово-манжетних ущільнень. При роботі в парі з поверхнею, обробленою ППД, спостерігається суттєве зниження зношування ущільнення і зменшення (в десятки разів) витікання мастила.

На деталі, які працюють на втомленість, найбільший вплив мають не вершини нерівностей, а форма їх западин. Западина є технологічним концентратором напруг тим більше, чим більша висота нерівностей і менший радіус впадини. Ефективний коефіцієнт концентрації визначається наступним виразом:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1k}} = \sqrt{1 + q(\alpha_{\sigma} - 1)}, \quad (1.2)$$

де  $\sigma_{-1}$  і  $\sigma_{-1k}$  - границя текучості гладенького зразка і зразка з концентратором напруг відповідно;

$q$  – коефіцієнт чутливості матеріалу до концентрації напруг;  $\alpha_\sigma$  - коефіцієнт концентрації напруг, що визначаються за формулою Г. Нейцбера:

$$\alpha_\sigma = 1 + 2\sqrt{\gamma \frac{R_z}{r}}, \quad (1.3)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт, що залежить від співвідношення кроку нерівностей до їхньої висоти;  $R_z$  – висотний параметр шорсткості;  $r$  – радіус западини нерівностей.

Вираз (1.3) може бути перетворено до вигляду:

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{200}{t_p s_m} [2\gamma R_{\max} R_v]^{0.5}, \quad (1.4)$$

де  $t_p$  – відносна опорна довжина профілю на рівні середньої лінії;  $s_m$  - середній крок нерівностей;  $R_{\max}$  – найбільша висота мікро профілю;  $R_v$  – відстань від лінії западин до середньої лінії.

При ППД формуються поверхні з досить малою шорсткістю і великим радіусом впадин  $r$  нерівностей. З виразу (1.4) слідує, що це має сприятливий вплив на опір втомлюваності. Проте цей вплив завжди проявляється в сукупності з іншими параметрами якості поверхневого шару. Для деталей, що працюють під дією циклічних навантажень, ці параметри мають суттєвіший вплив на довговічність, ніж шорсткість. Це пояснюється тим, що впадини нерівностей мають вплив на опір втомлюваності до тих пір, поки не виникає втомлювана тріщина. Крім того, після зміцнення ППД, втомлювала тріщина часто зароджується під поверхнею на певній глибині.

На період розвитку втомлюваної тріщини мають вплив деформаційні зміцнення і знімаючі залишкові напруження.

На відміну від гладеньких деталей, підвищення втомлюваної міцності деталей з концентраторами напруг зв'язують головним чином із сприятливою дією стискуючих залишкових напружень. Вклад кожного параметра якості поверхневого шару в зміцнення багато в чому залежить від властивостей матеріалу і його чутливості до концентрації напруг. Особливе значення вибір матеріалу має для деталей, що працюють на втомність.

При невеликих степенях наклепу (3-10%) і глибині зміцнення 10-20 мкм [5] відбувається ріст якості властивостей, який обумовлений зниженням дефектів решітки об'єму, протіканням процесу полігонізації, формуванням сприятливої субструктури. В той же час зріст зміцнення знижає пластичність сплавів, підвищує чутливість їх до перевантажень, зменшує тріщиностійкість. Підсилення впливу наклепу на опір втомності зі збільшенням бази дослідження пов'язано з розвитком в жаростійких сплавах при високій температурі дифузійних процесів, що викликають розміцнення деформованого шару деталей. Для таких деталей негативний вплив наклепу потрібно видаляти електрохімічною обробкою поверхневого шару чи термообробкою.

Вплив якості поверхневого шару на довговічність деталей необхідно розглядати на основі комплексного підходу, що враховує вплив всіх факторів. Такий облік можливий тільки шляхом аналізу пластичної течії металу в осередковій деформації, з одного боку, і обліку механічних властивостей металу, з іншої. Ключовим питанням цієї проблеми є чутливість металу до концентрації напруг, тобто здатність його накопичувати під дією технологічних і експлуатаційних навантажень.

## 1.2 Оцінка пластичності поверхневого шару металу

Розрахунок напружень, які виникають при вдавлюванні кульки діаметром  $d=18,26$  мм в плоску поверхню, виконували методом ліній ковзання по методиці [107]. Для побудови ліній ковзання використовували програму КОМПАС V9 а розрахунки проводили в програмі Microsoft Excel. Помістимо початок циліндричної системи координат  $r, \varphi, z$  в площину вільної границі середовища, а вісь  $z$  направимо в середину середовища.

При діаметрі кульки  $d=18,26$  мм і глибині вдавлювання  $h=0,8$  мм маємо криволінійну ділянку АВ (рис 1.1).

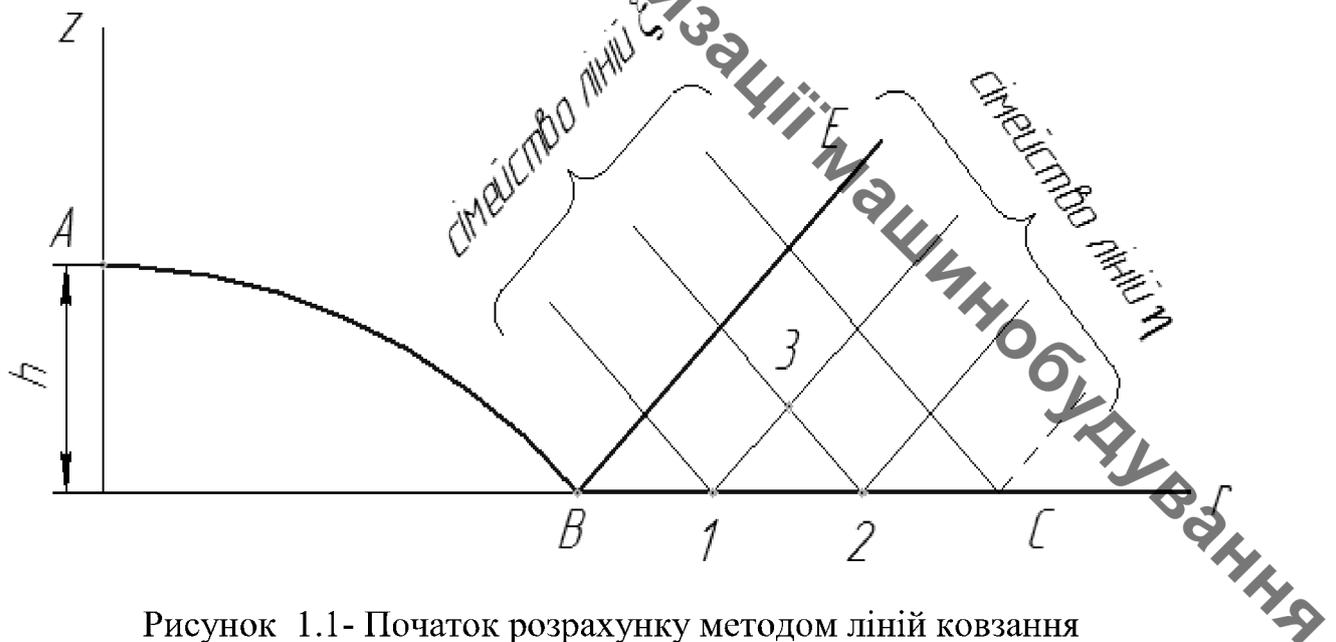


Рисунок 1.1- Початок розрахунку методом ліній ковзання

На вільній границі ВС для всіх точок кут нахилу дотичної до вибраних ліній ковзання в точці розриву дорівнює  $\theta=45^\circ$ , границя текучості  $\sigma_T=200$  МПа (для сталі 40Х) [108]. Також введемо поняття пластичної сталості середовища  $k$ , яка використовується в розрахунках і визначається за формулою:

$$k = \frac{\sigma_T}{2}. \quad (1.5)$$

Для побудови ліній ковзання в області ВСЕ (рис. 2.5) на вільній границі були взяті деякі точки [0,0], [1,1], [2,2], [3,3] .... [10,10] на відстані 10 мм одна від одної. Необхідні для подальшого розрахунку значення функцій кутів  $\eta$  і  $\xi$  у всіх точках вільної границі ВС знаходили за формулами:

$$\xi = -\left(\frac{\pi}{2} + 1\right); \quad (1.6)$$

$$\eta = \frac{\pi}{2} - 1. \quad (1.7)$$

На вільній границі знаходимо значення  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{rz}$ :

$$\sigma_r = \sigma + k \cdot \sin 2\theta; \quad (1.8)$$

$$\sigma_z = \sigma - k \cdot \sin 2\theta; \quad (1.9)$$

$$\tau_{rz} = -k \cdot \cos 2\theta; \quad (1.10)$$

де  $\sigma_r$ , – радіальне напруження;

$\sigma_z$ , – напруження в напрямі осі z;

$\tau_{rz}$  – дотичне напруження;

$\sigma$  – середнє напруження;

k – пластична стала середовища;

$\theta$  – кут нахилу дотичної до вибраних ліній ковзання в точці розриву.

Значення параметрів в кожній точці заносимо до табл. 2.1.

Знаючи функції  $\xi$  і  $\eta$  на границі середовища ВС (рис. 2.2), можна, вирішуючи задачу Коші, побудувати лінії ковзання обох сімейств  $\xi$  і  $\eta$  в трикутній області ВСЕ, що прилягає до вільної границі. А також через відомі значення цих функцій ( $\xi$  і  $\eta$ ) в двох близьких точках можна наближено знайти значення тих самих функцій в точці перетину ліній ковзання різних сімейств, проведених через ці точки.

Дійсно, нехай  $\xi_L, \eta_L$  і  $\xi_M, \eta_M$  – значення функцій  $\xi$  і  $\eta$  в точках L і M (рис. 2.3). По них можуть бути знайдені значення  $\theta_L$  і  $\theta_M$  і, відповідно, побудовані дотичні в точках L і M до ліній ковзання.

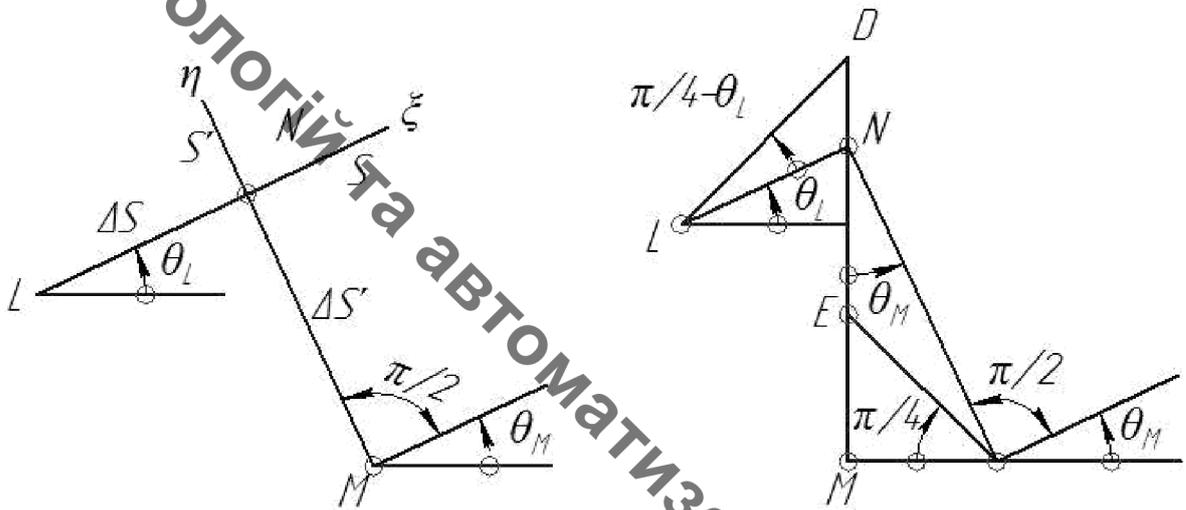


Рисунок 1.2 - Методика побудови точок ліній ковзання

Позначимо через точку N точку перетину двох дотичних S і S' до лінії ковзання двох різних сімейств, проведених через точки L і M. Так як, по припущенню, точки L і M близькі одна до одної, то точка N приблизно визначає точку перетину самих ліній.

Нехай LN – дотична до лінії ковзання першого сімейства і MN – до лінії ковзання другого сімейства. Якщо точка N лежить на позитивних напрямках цих дотичних, тобто напівпрямих, що утворюють кути  $\theta_L$  і  $\theta_M + \pi/2$  з напрямком  $r$ , то будемо мати:

$$\xi_N \approx \xi_L + \left( \frac{\partial \xi}{\partial s} \right)_L \Delta s = \xi_L + \frac{\cos \theta_L - \sin \theta_L}{r_L} L_{LN}, \quad (1.11)$$

$$\eta_N \approx \eta_M + \left( \frac{\partial \eta}{\partial s'} \right)_M \Delta s' = \eta_M + \frac{\cos \theta_M - \sin \theta_M}{r_M} L_{MN}. \quad (1.12)$$

де  $r$  – радіуси точок;

$L$  – відстань між відповідними точками;

$\xi_L, \eta_L$  і  $\xi_M, \eta_M$  – значення функцій  $\xi$  і  $\eta$  в точках  $L$  і  $M$ ;

$\theta$  – кут нахилу дотичної до вибраних ліній ковзання в точці розриву.

Величини  $r$  і  $L$  беремо з креслення.

Отже, з кожної точки на границі проводимо дотичні під кутом  $\theta=45^\circ$  і  $\theta=-45^\circ$ , на перетині яких утворяться точки другого ряду. У новоутворених точках знаходимо значення функцій  $\xi$  і  $\eta$  за формулами (2.7) і (2.8).

А значення кута нахилу дотичної до вибраних ліній ковзання  $\theta_n$  в кожній  $n$  точці знаходимо за наступною формулою:

$$\theta_n = \frac{\xi_n - \eta_n}{4}. \quad (1.13)$$

Знаючи кут  $\theta$ , як і в попередньому випадку, проводимо дотичні до кожної точки і отримуємо третій ряд, знаходимо значення функцій  $\xi$  і  $\eta$  і т.д. до отримання точки [0.10] (рис. 2.5). В усіх знайдених вузлових точках області ВСЕ знаходимо величини  $\sigma_r, \sigma_z, \tau_{rz}$  за формулами (2.4), (2.5), (2.6). Значення усіх величин заносимо до табл.2.1.

Не важко побачити, що кут  $\theta$  зменшується при переміщенні по лініям ковзання в глиб середовища. Щоб це довести, розглянемо точку  $F$ , що знаходиться на перетині лінії ковзання першого сімейства  $FD$  і ліній ковзання другого сімейства  $KF$  (рис. 1.2. ).

Вздовж лінії  $FD$  справедливе співвідношення:

$$\frac{\partial \xi}{\partial s} = \frac{\cos \theta - \sin \theta}{r}, \quad (2.10)$$

звідки

$$d\xi = \frac{dr - dz}{r}. \quad (1.13)$$

При переміщенні з точки F в точку D координата  $r$  зростає, а  $z$  зменшується. Таким чином,  $dr > 0$ ,  $dz < 0$  і, відповідно,  $d\xi > 0$ . Тому значення  $\xi$  в точці F менше тієї ж функції в точці D.

Вздовж лінії ковзання KF, в свою чергу,

$$\frac{\partial \eta}{\partial s} = \frac{\cos \theta - \sin \theta}{r}, \quad (1.14)$$

звідки

$$d\eta = \frac{dr' - dz'}{r} = \frac{dz - dr}{r}, \quad (1.15)$$

оскільки  $\partial s' \cos \theta - \partial s' \sin \theta = dz - dr$ .

При переході від точки F до точки K координати  $r$  і  $z$  зменшуються, внаслідок чого  $d\eta < 0$ . Тому значення функції  $\eta$  в точці F більше її значення в точці K, або, що одне і теж, в точці D, так як функції  $\xi$  і  $\eta$  на вільній границі середовища постійні.

Таким чином, значення різниці  $\xi - \eta$  в точці F менше, ніж її значення в точках D і K, а відповідно, і кут  $\theta$ , вирахований для точки F, менший, ніж для точок D і K, де він рівний  $\frac{\pi}{4}$ .

Розглянемо знаходження вузлових точок ліній ковзання в області BEG (рис. 2.3). Одну лінію ковзання BE, побудовану внаслідок розв'язку задачі Коші, сімейства  $\eta$  ми уже маємо. По даним значень функцій  $\xi$  і  $\eta$  на цій лінії можна, розв'язуючи тепер уже задачу Христіановича-Соколовського-Гурса, побудувати лінії ковзання і визначити значення  $\xi$  і  $\eta$  в цій області. Точка B

являється особливою точкою, де лінії ковзання сімейства  $\eta$  сходяться в одній, так званій, «точці розриву». Функція  $\xi$  в цій точці однозначна і рівна  $-\left(1 + \frac{\pi}{2}\right)$ . Проводимо до криволінійної поверхні АВ дотичну в точці В і відкладаємо від дотичної кут  $45^\circ$ . Таким чином ми маємо обмежену область ВЕГ, в якій і будуватимемо вузлові точки. Через точку розриву проведено п'ять променів, ділянки яких приймалися за початкові ділянки ліній ковзання, що виходять через ту ж точку. Провівши перпендикуляр до прямої, дотичної до лінії ковзання в точці [0.1], отримаємо в перетині з першим променем точку [-1.1]. Коли перпендикуляр, проведений уже до дотичної в точці [-1.1], перетне другий промінь, ми отримаємо ще одну точку [-2.1], і так – до точки [-17.1]. Інші точки шукаємо по аналогії з пошуком точок в області ВСЕ. Таким чином, знаючи кут  $\theta$  у точці, наприклад [0.1] і [0.2], ми можемо знайти точку [-1.2], знаючи кут  $\theta$  у точці [0.2] і [0.3], ми можемо знайти точку [-1.3] і т.д. (див рис. 2.5). Потім у згадуваних точках знаходились значення величин  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{rz}$  за формулами (2.4), (2.5), (2.6).

Виходячи від лінії ВГ і знайдених на ній значень функцій  $\theta$ ,  $\xi$  і  $\eta$ , можна знайти ці значення в області ВГА. Побудова точок проводилась аналогічним чином – по групам  $\{-18.1\}$ ,  $\{-18.2\} \dots \{-18.10\}$ ,  $\{-19.2\}$ ,  $\{-19.3\} \dots \{-19.10\}$  і т.д. аж до точки [-27.10]. При підрахунку значень функцій  $\xi$  і  $\eta$  враховувалось, що в точках контактної поверхні кульки  $\{-18.1\}$ ,  $\{-19.2\} \dots \{-27.10\}$  має місце співвідношення

$$\theta = \frac{\xi - \eta}{4} = \frac{\pi}{4}. \quad (1.16)$$

Результати розрахунків приведені в табл. 2.1.

В результаті було отримано лінії ковзання при вдавлюванні кульки, які показані на рис. 2.5.

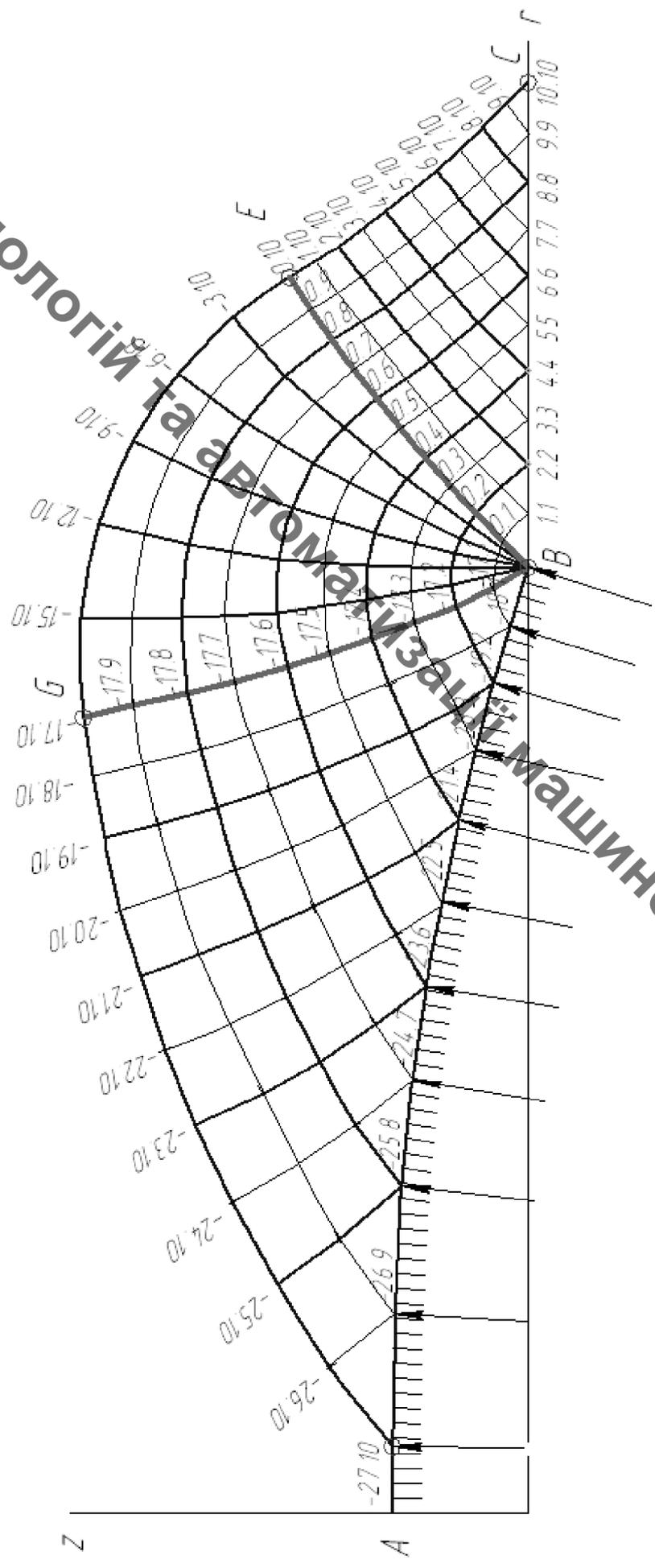


Рисунок 1.3 – Побудовані лінії ковзання для вдавлювання кульки

Таблиця 1.1 - Значення величин  $\eta$ ,  $\xi$ ,  $\theta$  в основних точках області

	-27	-25	-23	-21	-19	-17	-12	-6	0	2	4	6	8	10	Шукана функція
	-4,447	-4,176	-3,940	-3,749	-3,582	-3,447	-3,269	-3,066	-2,892	-2,834	-2,781	-2,706	-2,639	-2,571	$\xi$
	-7,390	-6,205	-5,420	-4,808	-4,269	-3,816	-2,310	-0,592	1,041	0,923	0,814	0,723	0,641	0,571	$\eta$
	0,735	0,507	0,370	0,265	0,172	0,092	-0,240	0,619	0,983	0,939	-0,796	0,857	-0,820	-0,786	$\theta$
		-3,782	-3,661	-3,529	-3,402	-3,292	-3,158	-2,996	-2,850	-2,783	-2,714	-2,643	-2,571		$\xi$
		-6,318	-5,550	-4,929	-4,379	-3,907	-2,419	-0,694	0,954	0,838	0,735	0,647	0,571		$\eta$
		0,634	0,472	0,350	0,244	0,156	-0,185	-0,576	-0,951	-0,905	-0,862	-0,823	-0,786		$\theta$
			-3,393	-3,307	-3,212	-3,123	-3,033	-2,913	-2,801	-2,726	-2,649	-2,571			$\xi$
			-5,629	-5,018	-4,467	-4,001	-2,521	-0,796	0,863	0,751	0,653	0,571			$\eta$
			0,559	0,428	0,314	0,219	-0,128	-0,529	-0,916	-0,869	-0,826	-0,786			$\theta$
				-3,091	-3,022	-2,952	-2,896	-2,817	-2,738	-2,655	-2,571				$\xi$
				-5,079	-4,536	-4,071	-2,616	-0,898	0,768	0,661	0,571				$\eta$
				0,497	0,379	0,280	-0,070	-0,480	-0,876	-0,829	-0,786				$\theta$
					-2,818	-2,964	-2,741	-2,703	-2,662	-2,571					$\xi$
					-4,590	-4,129	-2,701	-0,997	0,670	0,571					$\eta$
					0,443	0,341	-0,010	-0,427	-0,833	-0,786					$\theta$
						-2,571	-2,571	-2,571	-2,571						$\xi$
						-4,173	-2,773	-1,093	0,571						$\eta$
						0,400	0,050	-0,370	-0,786						$\theta$

ІНСТИТУТ МАШИНОБУДУВАННЯ

Таблиця 1.2 -Значення величин  $\sigma$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{rz}$  в основних точках області

	-27	-25	-23	-21	-19	-17	-12	-6	0	2	4	6	8	10	Шукана функція
1183,7	1038,1	936	855,7	785,1	726,3	557,9	365,8	185,1	191,1	196,7	198,3	199,8	199,8	200	$\sigma$
1078,2	838,1	1136	1027,5	632,2	906,6	695,5	173,7	262,4	41,9	165,8	350,6	153,2	153,2	367,4	$\sigma_r$
1289,2	1238,1	736	683,9	938	546	420,4	557,9	107,8	340,3	227,6	46	246,4	246,4	32,6	$\sigma_z$
169,93	1,58	-1,8	-102,3	-128,9	86,6	145,2	55,7	-184,5	-133,2	197,6	129,7	-194,5	-194,5	109,5	$\tau_{rz}$
	1010	921,1	845,8	778,1	719,9	557,7	369	189,6	194,5	197,9	199,6	200	200		$\sigma$
	1093,6	1051,1	714,9	719	884,2	698,5	356,1	349,2	177,4	-0,4	221,3	367,4	367,4		$\sigma_r$
	926,4	791,1	976,7	837,2	555,6	416,9	381,9	30	211,6	396,2	177,9	32,6	32,6		$\sigma_z$
	181,7	151,99	151,4	191,1	-114,0	142,05	199,6	120,5	199,3	26,4	-198,8	109,5	109,5		$\tau_{rz}$
		902,2	832,5	767,9	712,4	555,4	370,9	193,8	197,5	199,6	200				$\sigma$
		711,9	1018,6	966,3	717,3	727,2	207,1	-1,19	40,8	287,1	367,4				$\sigma_r$
		1092,5	646,4	569,6	707,5	383,7	534,7	388,8	354,2	112,1	32,6				$\sigma_z$
		-61,7	-73,3	25,6	-199,9	102,5	114,8	44,5	-124,3	-179,8	109,5				$\tau_{rz}$
			817	755,8	702,3	551,2	371,5	197	199,4	200					$\sigma$
			733,2	856,9	575,6	748,3	171,8	177,5	342,4	367,4					$\sigma_r$
			900,8	654,7	828,99	354,1	571,2	216,3	56,4	32,6					$\sigma_z$
			-181,6	-172,6	-154,8	34,1	-10,8	-199	-139,8	109,5					$\tau_{rz}$
				740,8	709,3	544,2	370	199,2	200						$\sigma$
				640,7	512,3	726,5	176,8	389,3	367,4						$\sigma_r$
				840,9	906,3	361,9	563,2	9,06	32,6						$\sigma_z$
				-173,1	-34,7	-82,3	-51,6	-62,0	109,5						$\tau_{rz}$
					674,4	534,4	366,4	200							$\sigma$
					483,7	639,1	166,4	367,4							$\sigma_r$
					865,1	429,7	566,4	32,6							$\sigma_z$
					60,4	-170,4	-1,8	109,5							$\tau_{rz}$

Значення  $\sigma$  в усіх точках, крім тих, що лежать на границі ВС, знаходимо за формулою

$$\sigma = k \frac{\xi + \eta}{2}, \quad (1.17)$$

де  $\sigma$  – границя текучості на зсув;

$k$  – пластична незмінна середовища;

$\xi, \eta$  – значення відповідних функцій в точках.

Використовуючи отримане поле ліній ковзання (рис.2.5) та дані таблиці 2.1, розраховували середнє напруження  $\sigma$  по формулі (2.15) та компоненти тензора напружень  $\sigma_r, \sigma_z, \tau_{rz}$  по формулах (2.4) – (2.6). Результати розрахунку приведені в табл. 2.3. Отримані значення компонент тензора напружень методом ліній ковзання необхідні для перевірки достовірності результатів, розрахунків, отриманих методом скінчених елементів. Оскільки процес радіального вдавлювання супроводжується великими пластичними деформаціями, які значно перевищують можливі пружні, то ми вирішили доцільним розглядати лише пластичні деформації.

Для визначення напружено-деформованого стану при вдавлюванні кульки в пластичний напівпростір за вище вказаний програмний модуль користується наступними залежностями.

Залежність напруження від деформацій:

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon^{el}\}, \quad (1.18)$$

де  $\{\varepsilon^{el}\}$  - пружний вектор деформацій, що визначається за допомогою рівняння:

$$\{\varepsilon^{el}\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon^{th}\} \quad (1.19)$$

$\{\sigma\}$  - вектор напружень, який знаходиться таким чином:

$$\{\sigma\} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{xz}]^T, \quad (1.20)$$

При цьому нормальні та дотичні напруження визначаються за допомогою рівнянь:

$$\sigma_x = \frac{E_x}{h} (1 - (V_{yz})^2 \frac{E_z}{E_y}) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} (V_{xy} + V_{xz} V_{yz} \frac{E_x}{E_y}) \times \\ \times (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} (V_{xz} + V_{yz} V_{xy}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad ; \quad (1.21)$$

$$\sigma_y = \frac{E_y}{h} (V_{xy} + V_{xz} V_{yz} \frac{E_x}{E_y}) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} (1 - (V_{xz})^2 \frac{E_z}{E_x}) \times \\ \times (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} (V_{yz} + V_{xz} V_{xy} \frac{E_y}{E_x}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad ; \quad (1.22)$$

$$\sigma_z = \frac{E_z}{h} (V_{xz} + V_{yz} V_{xy}) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_z}{h} (V_{yz} + V_{xz} V_{xy} \frac{E_y}{E_x}) \times \\ \times (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} (1 - (V_{xy})^2 \frac{E_y}{E_x}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad ; \quad (1.23)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \cdot \varepsilon_{xy} \quad ; \quad (1.24)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \cdot \varepsilon_{yz} \quad ; \quad (1.25)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \cdot \varepsilon_{xz} \quad ; \quad (1.26)$$

Також рівняння (2.16) можна інвертувати наступним чином:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D]^{-1} \{\sigma\} \quad (1.27)$$

де  $\{\varepsilon\}$  - повний вектор деформацій, який визначаємо за формулою:

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yz} \quad \varepsilon_{xz}]^T \quad (1.28)$$

Відсутність складових напруження, що викликане розподіленим навантаженням  $\{\sigma\}_p^e$  пояснюється тим, що розглядаються лише умови загальної рівноваги, а не рівноваги всередині кожного елемента.

Сучасний рівень розвитку теорії пластичності дозволяє вирішувати більшість задач обробки металів тиском. Однією з цих задач є задача визначення рівня пошкодженості поверхневого шару металу при поверхневій пластичній деформації. Останнім часом для визначення рівня пошкодженості пластично деформованого металу використовують феноменологічну теорію деформує мості в основі якої лежить гіпотеза про залежність пластичності металу від історії навантаження, яка тим чи іншим способом задається в просторі інваріантів тензора напружень.

Під пластичністю будемо розуміти здатність металу змінювати свою форму без руйнування в вигляді макроскопічного порушення суцільності. В якості міри пластичності будемо використовувати накопичену до моменту руйнування пластичну деформацію

$$e_p = \int_0^{t_p} \dot{\varepsilon}_u d\tau \quad (1.29)$$

де  $\dot{\varepsilon}_u$  – інтенсивність швидкостей деформацій;

$t_p$  – час деформування до руйнування.

Величину  $e_p$  можна розглядати також як довжину траєкторії деформації в просторі вектора деформації.

В феноменологічній теорії пластичності в якості характеристики, яка описує залежність пластичності від схеми напруженого стану використовують діаграму пластичності. Діаграма пластичності будується на основі експериментальних досліджень і описує залежність пластичності металу від схеми напруженого стану. Схема напруженого стану визначається показником напруженого стану  $\eta$  [51, 57, 100, 115–117], який визначається формулою

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{3\sigma}{\sigma_u} \quad (1.30)$$

де  $I_1(T_\sigma)$  – перший інваріант тензора напружень;

$I_2(D_\sigma)$  – другий інваріант девіатора напружень;

$\sigma = \frac{1}{3}\sigma_{ij}\delta_{ij}$  – середнє напруження;

$\sigma_u$  – інтенсивність напружень.

В даній роботі виконані дослідження поверхневої пластичної деформації циліндричної заготовки із сталі 40Х. Тому діаграму пластичності будували саме для цієї сталі.

Для цього проводили експериментальні дослідження на розтяг, кручення і стиск.

При розтягу  $\eta = 1$ , а граничну деформацію визначали за формулою

$$e_p(1) = 2\ln \frac{d_0}{d} \quad (1.31)$$

де  $d_0$  – початковий діаметр робочої частини зразка;

$d$  – діаметр однорідно деформованої робочої частини зразка після руйнування.

Для зразків із сталі 40Х отримали наступні значення:  $d_0 = 10$  мм;  $d = 9,6$  мм, тому

$$e_p = 2 \ln \frac{d_0}{d} = 2 \ln \frac{10}{9.6} = 0.08 \quad (1.32)$$

Для визначення граничної деформації при  $\eta = 0$  проводили досліди на кручення. При цьому середнє значення кута нахилу твірної до осьового напрямку зразка дорівнювало  $\gamma = 33,5^\circ$ . Тому гранична деформація буде дорівнювати

$$e_p(0) = \frac{\text{tg}\gamma}{\sqrt{3}} = \frac{\text{tg}33,5^\circ}{\sqrt{3}} = 0,38 \quad (1.33)$$

При стиску  $\eta = -1$ , граничну деформацію  $e_p(-1)$  визначали за формулою

$$e_p(-1) = \ln \frac{h_0}{h} = \ln \frac{15}{4,8} = 1,14 \quad (1.34)$$

де  $h_0 = 15$  мм, початкова висота циліндричного зразка;

$h = 4,8$  мм, висота зразка після появи мікро тріщини на боковій поверхні.

Отримані результати апроксимували залежністю [57, 115]

$$e_p(\eta) = e_p(0) \exp(-\lambda \eta) \quad (1.35)$$

де

$$\lambda = \ln \frac{e_p(-1)}{e_p(0)} = \ln \frac{1,14}{0,38} = 1,1 \quad (1.36)$$

Тому діаграму пластичності для сталі 40X описували залежністю

$$e_p(\eta) = 0,38 \exp(-1,1\eta) \quad (1.37)$$

Так як при обкочуванні кулькою циліндричної заготовки в області контакту кульки з заготовкою має місце об'ємний напружений стан, то для описання залежності пластичності від схеми напруженого стану необхідно використовувати не менше двох показників напруженого стану [57, 117]. В даній роботі в якості другого показника напруженого стану прийнято параметр Надаї-Лоде

$$\mu_{\sigma} = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad (1.38)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження.

Тому в якості поверхні граничних деформацій прийнята залежність граничної деформації  $e_p$  від показника жорсткості напруженого стану  $\eta$  і параметра Надаї-Лоде  $\mu_{\sigma}$ . Для побудови поверхні граничних деформацій  $e_p(\eta, \mu_{\sigma})$  нами використано методику І.О. Сивака [118, 119]. При цьому поверхню граничних деформацій апроксимували залежністю

$$e_p(\eta, \mu_{\sigma}) = e_p(0,0) \exp(\lambda_2 \mu_{\sigma} - \lambda_1 \eta) \quad (1.39)$$

де

$$\lambda_1 = \ln \frac{e_p(-1,0)}{e_p(0,0)}, \quad (1.40)$$

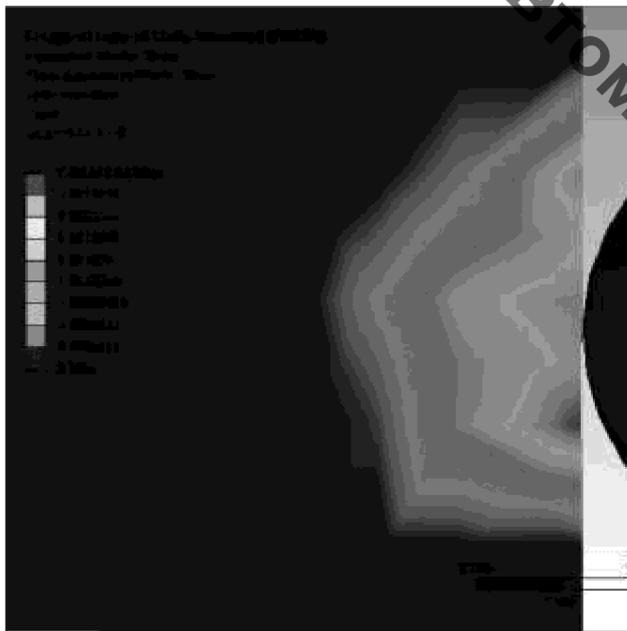
$$\lambda_2 = \ln \frac{e_p(0,1)}{e_p(0,0)}, \quad (1.41)$$

$e_p(0,0), e_p(-1,0), e_p(0,1)$  – граничні деформації при  $\eta=0, \mu_{\sigma}=0, \eta=-1, \mu_{\sigma}=0, \eta=0, \mu_{\sigma}=1$  відповідно.

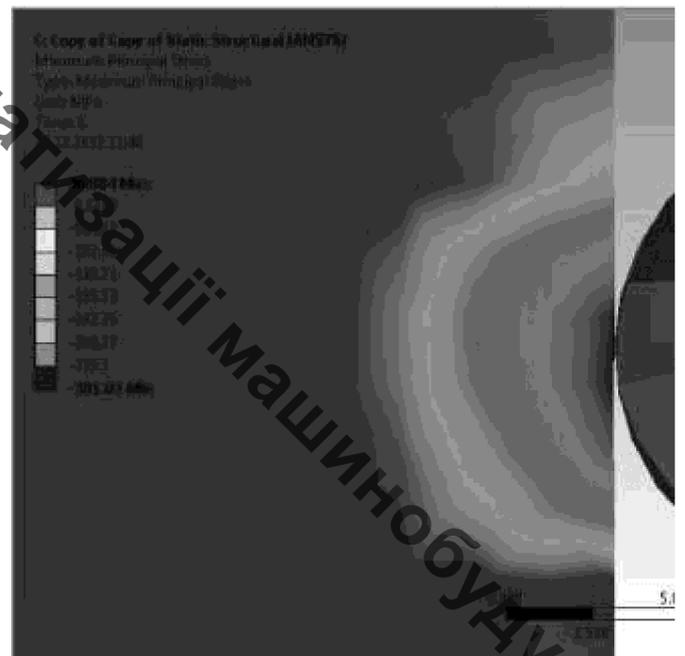
Значення коефіцієнтів апроксимації  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  знаходили по залежностях, приведених в роботі [118, 119]. При цьому були отримані наступні значення:  $\lambda_1 = 0,58$ ;  $\lambda_2 = 0,48$ .

В результаті для сталі 40Х залежність пластичності від схеми напруженого стану при об'ємному напруженому стані описували залежністю

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 0,38 \exp(0,48\mu_\sigma - 0,58\eta) \quad (1.42)$$



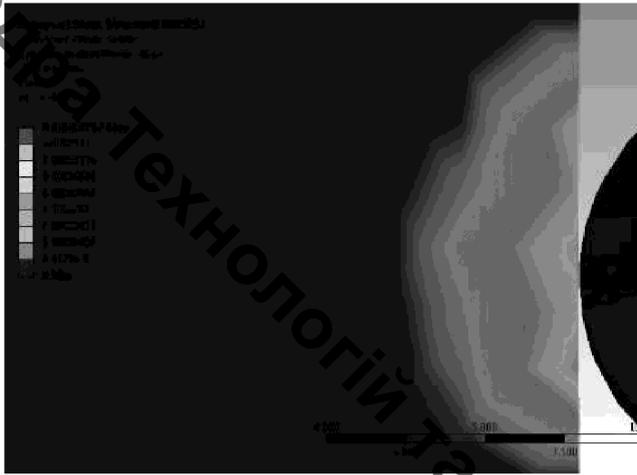
Інтенсивність деформацій  $\epsilon_i$



Головне напруження  $\sigma_1$

Рисунок 1.5- Результати розрахунку напружень для ролика з:  $R_{11} = 27\text{мм}$ ,  $R_{21} = 7\text{мм}$ ,  $R_{12} = 25\text{мм}$  для глибин вдавлювання  $h = 0,042\text{мм}$  МКЕ

Установлено, що найбільших значень компоненти тензора головних напружень досягають на вертикальній осі симетрії вм'ятини. При цьому по напрямку дії сили вдавлювання при глибині вдавлювання до  $0,05\text{мм}$  напруження зростають практично пропорційно глибині вдавлювання.



Інтенсивність деформацій

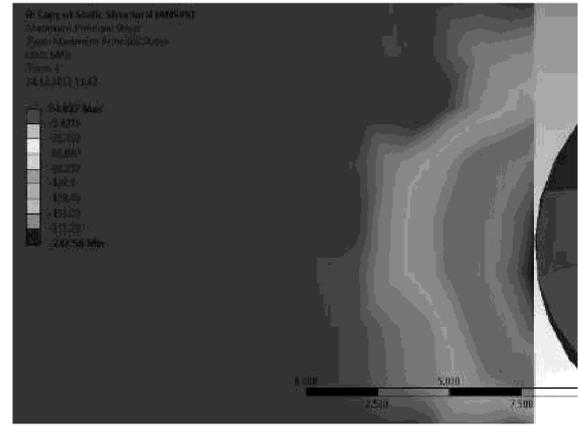
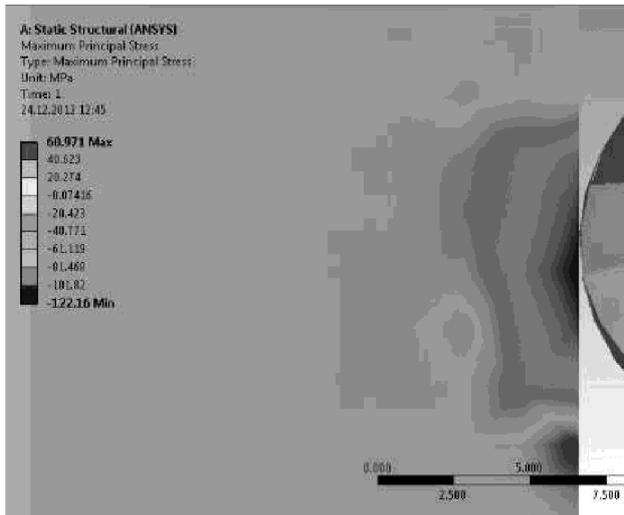
Головне напруження  $\sigma_1$ 

Рисунок 1.6- Результати розрахунку напружень для ролика з:  $R_{11} = 27\text{мм}$ ,  $R_{21} = 7\text{мм}$ ,  $R_{12} = 25\text{мм}$  для глибин вдавлювання  $h = 0,028\text{мм}$  МКЕ



Інтенсивність деформацій

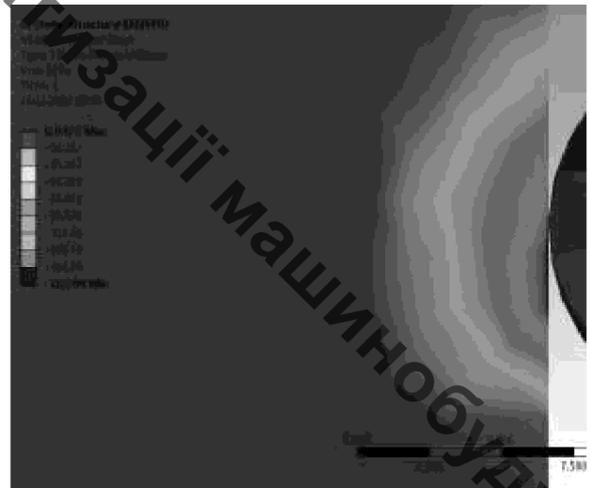
Головне напруження  $\sigma_1$ 

Рисунок 1.7- Результати розрахунку напружень для ролика з:  $R_{11} = 27\text{мм}$ ,  $R_{21} = 7\text{мм}$ ,  $R_{12} = 25\text{мм}$  для глибин вдавлювання  $h = 0,014\text{мм}$  МКЕ

Методом кінцевих елементів виконано розрахунок напружено-деформованого стану при вдавлювання роликів діаметром 51 мм з радіусом кривизни робочої поверхні 5,5 мм, діаметром 54 мм і радіусом робочої поверхні 7 мм та ролика з циліндричною робочою поверхнею діаметром 44,4 мм шириною 6 мм та радіусами заокруглень 1,6 мм в деталь діаметром 50 мм на глибини 0,014 мм, 0,028 мм і 0,042 мм.

Показано, що великих пластичних деформацій можна досягти при певних умовах немонотонної поверхневої пластичної деформації. При цьому сильно

деформований поверхневий шар металу набуває якісно нових властивостей - більшість із яких мають практичне значення. Завдяки немонотонності пластичної деформації, метал поверхневого шару набуває високої пластичності в поєднанні з великою міцністю. В сильно деформованому металі значно змінюються і інші його фізико-механічні властивості.

### 1.3 Висновок

1. Визначено компоненти тензора напружень для осесиметричної задачі вдавлювання кульки в пластичний півпростір методом ліній ковзання та МКЕ.
2. Визначені компоненти тензорів напружень для вдавлювання кульок трьох різних діаметрів в деталі з плоскою та криволінійною поверхнею.

## 2 РОЗРОБКА МАРШРУТУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

### 2.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи

Тип виробництва згідно ГОСТ 3.1121-84 визначається за коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.1)$$

де  $\sum O_i$  – кількість операцій, які виконуються на дільниці;

$\sum P_i$  – кількість робочих місць на дільниці.

Прийняті такі коефіцієнти закріплення операцій:

$K_{з.о.} = 1$  – масове виробництво;

$1 < K_{з.о.} \leq 10$  – великосерійне виробництво;

$10 < K_{з.о.} \leq 20$  – середньосерійне виробництво;

$20 < K_{з.о.} \leq 40$  – дрібносерійне виробництво.

Вихідними даними для визначення  $K_{з.о.}$ , а значить і типу виробництва, є робоче креслення і річна програма випуску деталі.

Згідно креслення деталі встановлені найбільш характерні переходи механічної обробки деталі “Кронштейн передній” і занесені до таблиці 1.1, це:

- фрезерування попереднє та остаточне торця довжиною 150 мм;
- фрезерування попереднє та остаточне торця довжиною 63 мм;
- свердління отворів  $\varnothing 11$
- свердління, зенкерування та розвертання отвору  $\varnothing 15$
- свердління, зенкерування та розвертання отвору  $\varnothing 10$
- свердління отворів під різь M10

Для записаних в таблиці 1.1 переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки  $T_{осн}$ , наприклад для фрезерування торця:

$$T_{\text{осн}} = (6 \cdot 150 + 4 \cdot 150) \cdot 0,001 = 1,5 \text{ (хв)}$$

Згідно рекомендацій, враховуючи масу деталі та програму випуску, наближено визначено тип виробництва, як серійний.

Штучно-калькуляційний час визначається  $T_{\text{шт-к}}$ , як добуток основного часу і коефіцієнта  $\varphi_K$ :

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{осн}} \cdot \varphi_K \text{ [хв]} \quad (2.2)$$

Відповідно отримаємо:

$$T_{\text{шт-к}} = 1,5 \cdot 1,75 = 2,63 \text{ (хв)}$$

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{\text{шт.к.}}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (2.3)$$

де  $N = 5400$  шт. – річна програма випуску деталі “Кронштей передній”;

$T_{\text{шт.к.}}$  – штучно-калькуляційний час, хв;

$F_d$  – дійсний фонд роботи обладнання ( $F_d = 3890$  год);

$\eta_{з.н.}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ( $\eta_{з.н.} = 0,75$ ).

Відповідно, наприклад для фрезерування торцю необхідна кількість верстатів складає:

$$C_{p1} = 5400 \cdot 2,63 / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,08$$

Одержану розрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийнятну кількість верстатів  $P$ , в даному випадкові 1 верстат.

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{C_{pi}}{P_i}, \quad (2.4)$$

де  $C_{pi}$  – необхідна кількість верстатів для виконання даної операції;

$P_i$  – кількість робочих місць для виконання даної операції.

Кількість операцій, які виконуються на  $i$ -му місці можна визначити за формулою:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.i}} \quad (2.5)$$

де  $\eta_{з.н.}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{з.ф.i}$  – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання, на  $i$ -ій операції.

Наприклад, при фрезерування торцю отримаємо:

$$O_1 = 0,75 / 0,08 = 9,26$$

Аналогічно виконано розрахунки для інших типових переходів механічної обробки. Сумарна кількість операцій, що можуть бути виконані на всіх робочих місцях  $\sum O_i$

$$\sum O_i = 9,26 + 22,05 + 50,6 + 19,96 + 39,92 + 37,11 = 178,9$$

Сумарна кількість прийнятих верстатів  $\sum P = 6$

Коефіцієнт закріплення  $K_{з.о.}$  відповідно складатиме:

$$K_{з.о}=178,9/6=29,82$$

Таблиця 2.1 – Визначення типу виробництва

№ п/п	Зміст технологічних операцій	d, мм	l, мм	Tос, хв	фк	Tшт.к., хв	Cp	P	h з.ф.	O
1.	фрезерування попередне та остаточне торця довжиною 150 мм;		150	1,5	1,7	2,63	0,08	1	0,08	9,26
2.	фрезерування попередне та остаточне торця довжиною 63 мм;		63	0,63		1,1	0,03	1	0,03	22,05
3.	свердління отворів Ø11	11	12	0,27		0,48	0,01	1	0,01	50,6
4	свердління, зенкерування та розвертання отвору Ø15	15	20	0,7		1,22	0,04	1	0,04	19,96
5	свердління, зенкерування та розвертання отвору Ø10	10	30	0,348		0,61	0,02	1	0,02	39,92
6	свердління отворів під різь M10	9	20	0,37		0,66	0,02	1	0,02	37,11
	Всього					6,69		6		178,9

Отже тип виробництва – дрібносерійне. Всі розрахункові дані занесені до таблиці 1.1.

Доцільність вибору групової чи потокової форми організації роботи визначається шляхом порівняння потрібного добового випуску виробів  $N_d$  і розрахункової добової продуктивності лінії  $Q_d$ . Якщо  $N_d < Q_d$ , то поточкову лінію використовувати недоцільно. Добовий випуск виробів і добову продуктивність лінії розраховують за формулами:

$$N_d = \frac{N}{254}, \quad (2.6)$$

де 254 кількість робочих днів в році;

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{шт-ксер} \cdot \eta_z}, \quad (2.7)$$

де  $T_{шт-ксер}$  – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, хв.;  $\eta_z$  – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{шт-ксер} = \frac{\sum T_{шт-к_i}}{\sum n_i}, \quad [\text{хв}] \quad (2.8)$$

де  $T_{шт-к_i}$  – штучно-калькуляційний час виконання  $i$ -го переходу, хв.;  $\sum n_i$  – сумарна кількість виконуваних переходів.

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{шт-к_i} = (2,63 + 1,1 + 0,48 + 1,22 + 0,61 + 0,66) / 6 = 1,12 \text{ (хв)}$$

Отже добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_d = \frac{952}{1,12 \cdot 0,8} = 683$$

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_d = \frac{5400}{254} = 21$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів значно менший добової продуктивності лінії то відповідно обираємо групову форму організації роботи.

При груповій формі організації роботи визначається кількість деталей в партії для одночасного запуску

$$n = \frac{N \cdot a}{254}, \quad (2.9)$$

де  $a$  – періодичність запуску деталей на обробку, в днях (6 днів)

$$n = \frac{5400 \cdot 12}{254} = 255$$

Розрахункове число змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях визначається за формулою:

$$c = \frac{T_{\text{шт-к.сп}} \cdot n}{476 \cdot 0,75} \quad (2.10)$$

$$c = \frac{1,12 \cdot 255}{476 \cdot 0,75} = 0,75$$

Визначаємо кількість деталей у партії, які необхідні для завантаження обладнання на основних операціях протягом цілого числа змін

$$n_{np} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot c_{np}}{T_{шт-с.ср}} \quad [\text{шт}] \quad (2.11)$$

$$n_{np} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot 1}{1,12} = 341 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо кількість деталей у партії 341 шт. Отже тип виробництва – дрібносерійне, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 341 шт.

## 2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі

Деталь кронштейн передній виготовляється із сірого чавуну і має ряд отворів та точних поверхонь. В якості технологічних баз можуть бути використані площини та отвори (установка на площину та два пальці) наприклад основа та два отвори Ø11, при цьому є можливість обробки всіх інших поверхонь.

Крім того є ряд глухих отворів, що є не технологічними елементами. При їх обробці ускладнюється вивід стружки, що приводить до необхідності періодично при свердлінні здійснювати допоміжні ходи: виводи свердло для видалення стружки. При обробці і базуванні деталі, потрібно пам'ятати про необхідність забезпечення взаємного розташування отворів, пазу. Для цього їх обробку можна виконати на одній операції за допомогою верстаного пристосування з поворотним механізмом, або використовувати оброблені елементи в якості технологічних баз.

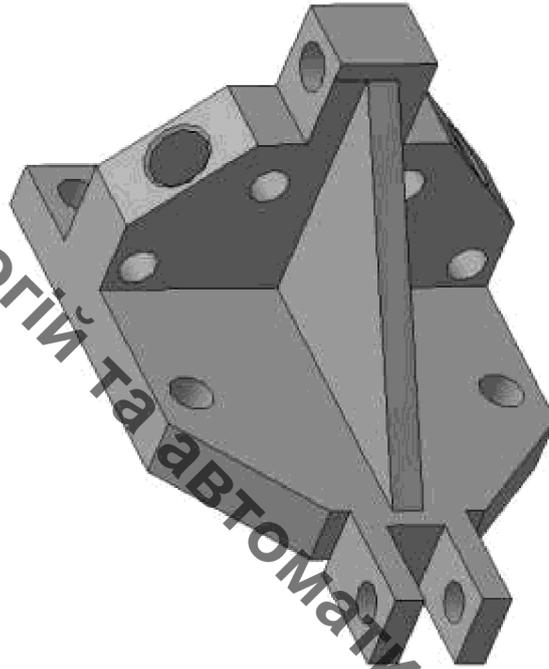


Рисунок 2.1 – Кронштейн передній

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою:

$$K_y = Q_{ye} / Q_e, \quad (2.12)$$

де  $Q_{ye}$  – кількість уніфікованих елементів;

$Q_e$  – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів

Розміри				Шорсткість	
Лінійні та діаметральні		Кутові			
$P_l$	$P_{l,y}$	$P$	$P_y$	Ш	Ш <sub>y</sub>
33	23	5	5	7	7
$Q_{ye} = 35$ $Q_e = 45$				$K_y = \frac{35}{45} = 0.778$	

Коефіцієнт точності обробки згідно ГОСТ 18831-73

$$K = 1 - \frac{1}{T_{cp}}, \quad (2.13)$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \text{ [мкм]} \quad (2.14)$$

де  $T_i$  – квалітет точності оброблюваних поверхонь даної деталі,  $n_i$  – кількість поверхонь деталі, що мають точність  $T_i$  квалітета.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт точності обробки

Квалітет	Кількість поверхонь	Розрахунок
7	4(Ø10H7, Ø15H7, Ø12H7)	7·4=28
9	4 (75, 25, 30, 15)	9·4=36
11	3 (20, 25, 50)	11·3=33
14	28	14·28=392
Всього	36	468

$$T_{cp} = \frac{468}{36} = 13 \text{ (мкм)}$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13} = 0.923$$

3 Коефіцієнт шорсткості поверхні згідно ГОСТ 18831-73

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}}, \quad (2.15)$$

де  $Ш_{cp}$  – середня шорсткість поверхні.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_K \cdot n_K}{\sum n_K}, [\text{мкм}] \quad (2.16)$$

де  $Ш_K$  – шорсткість оброблених поверхонь даної деталі;  $n_K$  – кількість поверхонь, що мають шорсткість, яка відповідає певному числовому значенню  $R_a$ , мкм.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

Шорсткість $R_a$ , мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6	3(Ø10H7, Ø15H7, Ø12H7)	4,8 9,6
3,2	3(25, 30, 15)	
12,5	30	375
Всього	36	389,4

$$Ш_{cp} = \frac{389,4}{36} = 10,82$$

$$K_T = \frac{1}{10,82} = 0,092$$

Отже виконуються умови:

$$K_y > 0,6, K_T > 0,8, K_{ш} < 0,32$$

тобто деталь за кількісними показниками технологічна.

Деталь відноситься до типу тіл обертання, тому для обробки її поверхонь доцільно застосувати високопродуктивні методи обробки, такі як токарна, фрезерна та свердлильна механічні обробки.

Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів та шорсткості співрозмірні між собою та відповідають вимогам стандартів. Відхилення

геометричної форми та розміщення поверхонь більші за відповідні показники верстатів – це дає можливість забезпечити вимоги точності на даному обладнанні.

Більшість розмірів даного креслення можуть безпосередньо вимірюватись за допомогою універсального вимірювального обладнання, окрім наступних: допуски співвісності та перпендикулярності, на цю контрольну операцію необхідно виготовити спеціальний вимірювальний пристрій або стенд.

Для механічної обробки важкодоступних місць не має, потреби у спеціальних пристосуваннях та вимірювальних інструментах теж немає.

Отже деталь технологічна за якісними та кількісними показниками.

### 2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

Метод виготовлення деталі лиття, так як матеріал має добрі ливарні властивості.

Можливі способи лиття:

- піщано-глинисті форми;
- в облицьований кокіль;
- оболонкові форми
- за виплавними моделями

Для виготовлення даної деталі пропоную 2 варіанти виготовлення — це лиття в піщано-глинисті форми з машинним формуванням.

При виборі прийнятих параметрів вхідних даних керуємося примітками до таблиць, де приведені рекомендації по призначенню параметрів точності з врахуванням типу виробництва і складності заготовки. Так як виробництво

середньосерійне і вилівок середньої складності приймаємо наближені до нижньої границі значення з вибраних діапазонів параметрів точності.

Таблиця 2.5 – Розрахунок розмірів заготовок отриманих литтям в піщано-глинисті форми

Параметри точності заготовки	Згідно ГОСТ 26645-85			Прийнято
Клас розмірної точності	7-12			10
Ступінь жолоблення	6-9			7
Ступінь точності поверхонь вилівка	7-13			10
Шорсткість поверхонь	Ra = 16 мкм			
Клас точності маси	5т-12			9т
Ряд припусків	3-6			4
Розрахункові розміри	12	25	30	20
Допуски: Розмірів	1,2	2,4	1,2	1,8
Форми та розміщення	0,5	0,5	0,5	0,5
Зміщення по площині роз'єму	-	1,2	-	-
зміщення через перекіс стержня	-	-	-	-
Нерівностей	0,4			
Маси	12%			
Загальні допуски	1,4	2,4	1,4	2,2
Припуски: мінімальний	0,4			
Кількість переходів механічної обробки	3	3	3	3
по точності розмірів	1	1	1	1
по точності взаємного розташування поверхонь	3	-	-	-
Загальний припуск	1,4	1,9	1,9	1,8
Розміри заготовки	13,4	28,8	33,8	23,6

Таблиця 2.6 – Розрахунок розмірів заготовок отриманих литтям в оболонкові форми

Параметри точності заготовки	Згідно ГОСТ 26645-85			Прийнято
Клас розмірної точності	(8-13т)			10
Ступінь жолоблення	5-8			7
Ступінь точності поверхонь вилівка	8-14			12
Шорсткість повеохонь	Ra = 25 мкм			
Клас точності маси	6-13			10
Ряд припусків	4-7			6
Розрахункові розміри	12	25	30	20
Допуски: Розмірів	1,4	2,6	1,4	2,0
Форми та розміщення	0,6	0,65	0,6	0,6
Зміщення по площині роз'єму	-	1,4	-	-
зміщення через перекіс стержня	-	-	-	-
Нерівностей	0,64			
Маси	16%			
Загальні допуски	1,8	2,8	1,8	2,4
Припуски: мінімальний	0,6			
Кількість переходів механічної обробки	3	3	3	3
по точності розмірів	1	1	1	1
по точності взаємного розташування поверхонь	3	-	-	-
Загальний припуск	1,9	2,4	2,3	2,1
Розміри заготовки	13,8	29,8	34,6	24,2

- Клас розмірної точності вилівка:
- Призначаємо враховуючи спосіб лиття, найбільший габаритний розмір вилівка (215 мм), тип матеріалу – сталь 45Л

- при литті в піщано-глинисті форми: (8 – 13т) 11т.
- при литті в оболонкові форми: (8 – 13т) 10.

Ступінь жолоблення елементів виливка призначаємо згідно відношення найменшого розміру елемента виливка до найбільшого (товщини або висоти до довжини елемента виливка).

Найбільший розмір – 150 мм і найтонша стінка – 15 мм для обох способів лиття: відношення становить 0,069. Також враховуємо, що форми багаторазові і термообробку:

- при литті в піщано-глинисті форми: (5 – 8) 7.
- при литті в оболонкові форми: (5 – 8) 7.

Ступінь точності поверхонь виливка призначаємо з врахуванням способу лиття, найбільшого габаритного розміру виливка (215мм) і матеріалу - сірий чавун СЧ 18.

- при литті в піщано-глинисті форми: (10 – 17) 15.
- при литті в оболонкові форми: (8 – 14) 12.

Шорсткість поверхонь виливка призначаємо, враховуючи прийнятий ступінь точності поверхонь виливка:

- при литті в піщано-глинисті форми: Ra=50 мкм.
- при литті в оболонкові форми: Ra=25 мкм.

Клас точності маси виливка призначаємо, враховуючи спосіб лиття, номінальну масу виливка - діапазон від 1 до 10, тип матеріалу - сірий чавун СЧ 18.

- при литті в піщано-глинисті форми: (7 – 14) 11.
- при литті в оболонкові форми: (6 – 13) 10.

Доцільно приймати таким же як і клас розмірної точності.

Ряд припусків призначаємо з врахуванням ступеня точності поверхні.

- при литті в піщано-глинисті форми: (6 – 9) 8.
- при литті в оболонкові форми: (4 – 7) 6.

Перед вибором допусків та припусків на механічну обробку поверхонь деталі, потрібно уважно вивчити робоче креслення деталі, встановити

оброблювані поверхні і розміри, що їх зв'язують та записати їх в розрахункову таблицю.

На тих ділянках виливка, де отвори, впадини, порожнини і тому подібне одержати способами лиття важко або неможливо, тому призначають напуски.

Згідно ГОСТ 26645-85 призначаємо:

Допуск розмірів – враховуючи клас розмірної точності (лиття в піщано-глинисті форми – 14т, лиття в оболонкові форми – 10) і номінальний розмір на який призначаємо допуск.

Допуск форми і розміщення - враховуючи ступінь жолоблення і номінальний розмір нормованої ділянки.

- лиття в піщано-глинисті форми – 7.
- лиття в оболонкові форми – 7

Допуск нерівностей - враховуємо ступінь точності поверхні виливка.

- лиття в піщано-глинисті форми – 15.
- лиття в оболонкові форми – 12.

Допуск маси – залежно від класу точності маси виливка і номінальної маси виливка діапазон від 1 до 4 кг.

- лиття в піщано-глинисті форми – 11.
- лиття в оболонкові форми – 10.

Допуск зміщення по площині роз'єму - присутній на діаметральний розмір 215 мм.

- при литті в піщано-глинисті форми: 2,2.
- при литті в оболонкові форми: 1,8.

Допуск на перекіс стержня встановлюється для діаметральних розмірів, що формуються за допомогою стержнів. Призначається 1, 2 класи точніше класу розмірної точності по номінальному розміру найбільш тонкої із стінок виливка.

Мінімальний припуск призначаємо залежно від ряду припусків:

- при литті в піщано-глинисті форми: 1.

- при литті в оболонкові форми: 0,6.

Загальний припуск на механічну обробку назначають при ліквідації похибки розмірів, форми і розміщення, нерівностей і дефектів оброблюваної поверхні, що формуються при виготовленні виливка і послідовних переходів її обробки з метою підвищення точності оброблюваного елемента виливка. Значення загального припуску вибираємо в залежності від кількості переходів механічної обробки. Тому для вибору загального припуску спочатку потрібно визначити кількість механічної обробки кожної із оброблюваних поверхонь.

Кількість переходів механічної обробки визначаємо в залежності від необхідної точності розмірів оброблюваної деталі.

По точності розмірів вибираємо в залежності від допуску розміру виливка і співвідношення між допусками розмірів деталі і виливка:  $\frac{T_{\text{розм.дет.}}}{T_{\text{розм.вил.}}}$

При визначенні лінійних розмірів потрібно з'ясувати як формується розмір заготовки:

Якщо лінійний розмір пов'язує дві поверхні, що обробляються і є охоплюваними, то припуски додаються до розміру деталі.

Мінімальна товщина стінок згідно [2] назначається так, щоб забезпечувати необхідну розрахункову міцність і жорсткість та задовольняти вимогам технології вибраного способу лиття.

- при литті в піщано-глинисті форми – 6-8 мм,
- при литті в оболонкові форми – 1,5-2 мм,

Оскільки, значення товщини стінок деталі значно більші за мінімальну товщину стінок, що одержуються при литті. Тому забезпечується необхідна розрахункова міцність і жорсткість.

Радіуси заокруглень в значній мірі визначають якість виливка. Дуже малі радіуси призводять до концентрації напружень і можливості виникнення тріщин, якщо надто великі, то можливість виникнення раковин, пустот.

Радіуси заокруглень вибираємо в залежності від співвідношення  $(S+S_1)/2$  і від матеріалу виливка.

Радіуси заокруглень при литті в піщано-глинисті форми наведені в таблиці

Таблиця 2.7 – Радіуси заокруглень для зовнішніх поверхонь

$\frac{S+S_1}{2}$	Кут між спряженими елементами	Радіус заокруглень
$(29,3+52)/2=40,65$	90°	4
$(48,8+15)/2=31,9$	90°	4

Таблиця 2.7 - Радіуси заокруглень при литті в оболонкові форми наведені

$\frac{S+S_1}{2}$	Кут між спряженими елементами	Радіус заокруглень
$(30,9+14)/2=22,45$	90°	4
$(30,6+19)/2=24,8$	90°	4

Формовочні нахили призначаються з метою полегшення видалення моделі з форми і стержня. Нахили встановлюються в залежності від розмірів заглиблень, висоти формоутворюючої поверхні, способу лиття і виду модельного комплексу. При литті в оболонкові форми приймаємо: 0°54'...1°54'

Мінімальний діаметр отворів, що виконуються литтям, вибирають так, щоб уникнути сильного перегрівання і пригорання стержня до стінок отвору. Мінімальний розмір литих отворів залежить від товщини стінки і може бути визначено по формулі:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1S, [\text{мм}] \quad (2.17)$$

де  $d_0$  - вихідний діаметр;  $S$  – товщина стінки, мм.

Вихідний діаметр вибирається в залежності від матеріалу вилівка (Сталь

45Л):

$d_0 = 7$  мм. При товщині стінки для розміру 15 мм

$$d_{\min} = 7 + 0,1 \cdot 30 = 10 \text{ (мм)}$$

Отже  $d_{\min} = 10$  і розміри на кресленні, які становляться  $\angle d_{\min}$  не виготовляють литтям.

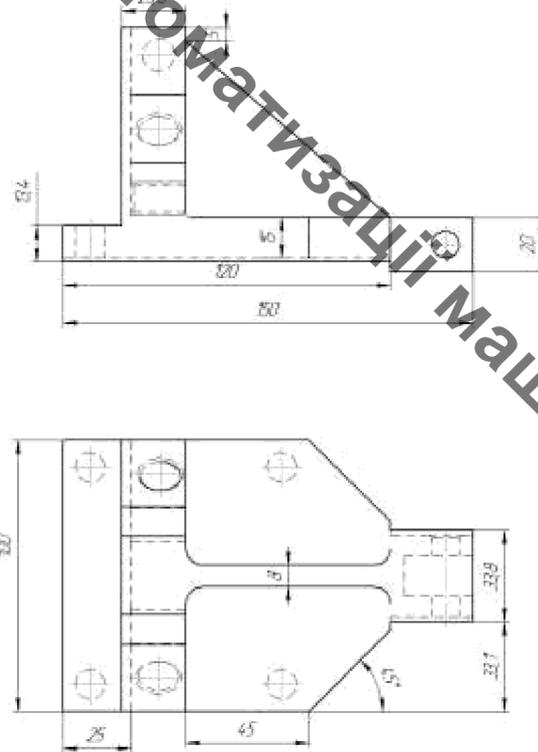


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки в піщано-глинисті форми

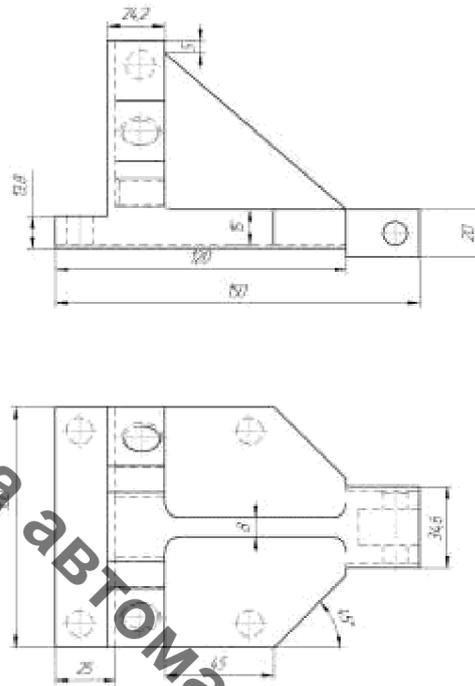


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки в оболонковій формі

Масу заготовок визначасмо за допомогою твердотільного моделювання в КОМПАС 3D-V12.

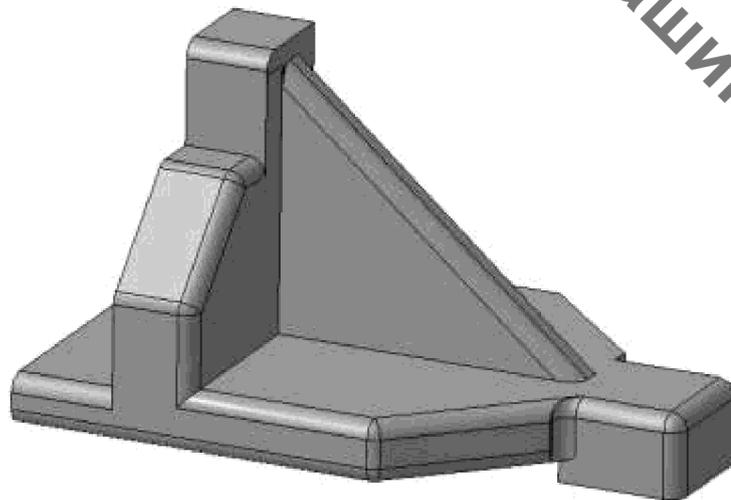


Рисунок 2.4 – 3D модель заготовки

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$\gamma = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} \quad (2.18)$$

$\gamma = 2,43/1,85 = 0,76$  – в піщано-глинисті форми;

$\gamma = 2,57/1,85 = 0,72$  – в оболонкові форми.

Отже, коефіцієнт використання матеріалу при литті в піщано-глинисті форми більший ніж при литті в оболонкові форми, тобто менше матеріалу знімається у вигляді стружки з поверхонь заготовки при механічній обробці.

Вартість заготовки – це економічний показник, який впливає на собівартість виготовлення деталі. Для того, щоб надати перевагу якомусь способу литтю необхідно визначити вартість заготовок.

Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$C_{\text{заг.лит}} = \frac{(Q_{\text{заг}} \cdot C_{\text{Л}} \cdot K_{\text{T}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{П}})}{1000} - \frac{(Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}}) \cdot C_{\text{відх}}}{1000} \quad (2.19)$$

де  $C_{\text{Л}}$  - базова вартість 1т заготовок, грн., враховуючи спосіб одержання литої заготовки;

$K_{\text{T}}$  - коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок, враховуємо спосіб лиття, матеріал заготовки і клас розмірної точності;

$K_{\text{М}}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки. Враховуємо спосіб лиття і марку матеріалу;

$K_{\text{С}}$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки. Дана деталь не складної конфігурації і можна віднести до 2 групи складності, також враховуємо спосіб лиття і матеріал заготовки;

$K_{\text{В}}$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки. Вибраємо згідно способу лиття, маси вилівка, матеріалу вилівка;

$K_{\text{П}}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва, тобто розміру ручної програми випуску заготовок. Попередньо визначаємо групу серійності в залежності від способу лиття, маси вилівок і об'єму. При литті в піщано-глинисті форми і лиття оболонкові форми – 2 група серійності;

Для лиття в піщано-глинисті форми:

$C_{л} = 15600$  грн;  $K_T = 1,05$ ;  $K_M = 1$ ;  $K_C = 0,83$ ;  $K_B = 0,91$ ;  $K_{П} = 1$ ;

$$C_{\text{шт}} = \frac{(2,43 \cdot 15600 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1)}{1000} - \frac{(2,43 - 1,85) \cdot 24,8}{1000} = 56,645$$

Для лиття в оболонкові форми:

$C_{л} = 24400$  грн;  $K_T = 1$ ;  $K_M = 1$ ;  $K_C = 0,9$ ;  $K_B = 0,86$ ;  $K_{П} = 1,1$ ;

$$C_{\text{шт}} = \frac{(2,43 \cdot 24400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,86 \cdot 1,1)}{1000} - \frac{(2,43 - 1,85) \cdot 24,8}{1000} = 90,56$$

Висновок: хоча коефіцієнт використання при литті в оболонкові форми вищий ніж при литті в піщано-глинисті форми але собівартість при литті в піщано-глинисті форми нижча ніж при литті в оболонкові форми. Таким чином економічно доцільнішим є варіант лиття в піщано-глинисті форми.

2.4 Аналітичний огляд відомих маршрутів механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва

Розробка технологічного процесу механічної обробки виконується на основі принципів “Єдиної системи підготовки виробництва” ЄСТП ГОСТ 14.001–73.

Технологічний процес механічної обробки деталі “Корпус” розробляємо на основі типових технологічних процесів обробки подібних деталей.

Серійний тип виробництва характеризується великою номенклатурою виробів, що обробляються партіями. Отже, в даному технологічному процесі механічної обробки, доцільно використовувати універсальне обладнання, верстати з ЧПК, гнучкі переналагоджувані лінії, стандартну і спеціалізовану оснастку, що дозволяє швидко переналагоджувати виробництво на випуск інших виробів.

При розробці методів обробки поверхонь, розробляємо маршрут механічної обробки користуючись типовими технологічними процесами обробки подібних деталей. Типізація технологічного процесу механічної обробки вносить подібність в технологію виготовлення деталей даного класу, скорочує кількість різних варіантів обробки до мінімуму в залежності від типу виробництва, скорочує строки проектування і покращує якість розробленого технологічного процесу.

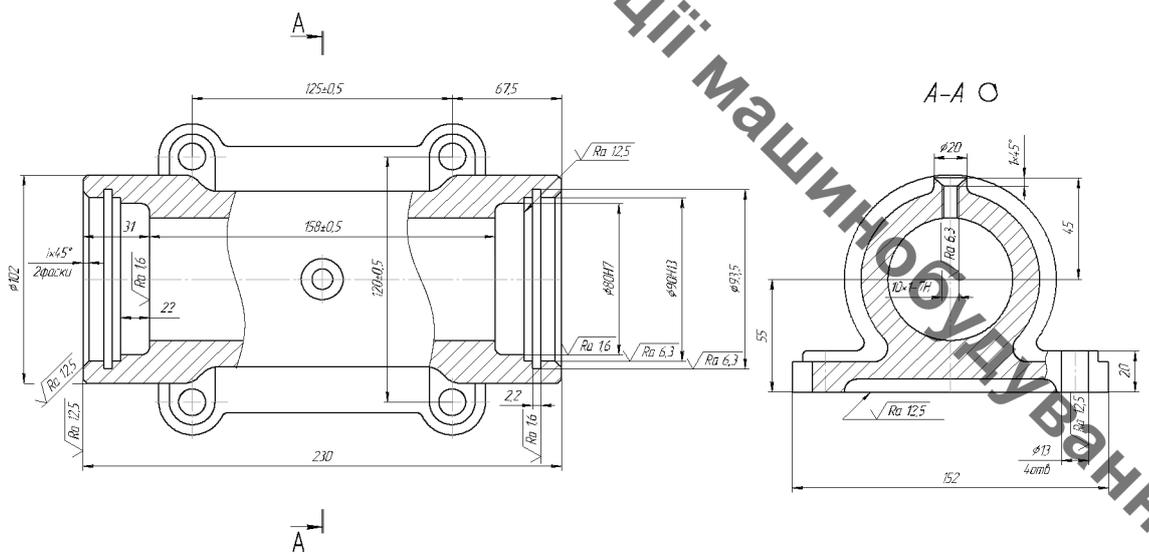


Рисунок 2.5 – Корпус підшипників

В розглядуваній деталі так, як і в типовій в якості конструкторських баз є площина і кріпильні отвори, на яку базується деталь. В якості допоміжних конструкторських баз в обох деталях виступають внутрішні циліндричні поверхні з високим квалітетом точності.

В розглядуваній і типовій деталях використовуються подібні методи обробки. В запропонованій деталі використовується обладнання з ЧПУ так, як і в розглядуваній деталі, але так, як деталь має досить складну конфігурації (деякі

отвори обробляються через інші), то можна використовувати таке ж обладнання з ЧПУ.

Таблиця 2.8– Типовий технологічний процес

№ операції	Зміст і назва операції	Тип обладнання
005	<p>Багатоцільова з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку</li> <li>2. Фрезерувати площину основи попередньо, остаточно</li> <li>3. Свердли 4 отв. <math>\varnothing 13</math></li> <li>4. Фрезерувати площину бобишки <math>\varnothing 20</math> остаточно</li> <li>5. Свердли і нарізати різьбу M10•1-7H</li> <li>6. Фрезерувати торець <math>\varnothing 120</math>, витримуючи розмір 230 попередньо, остаточно</li> <li>7. Розточити виточки <math>\varnothing 80H7</math> попередньо, остаточно; <math>\varnothing 90H13</math> і фаску 1x45 остаточно</li> <li>8. Фрезерувати канавку <math>2,2 \pm 0,5</math> остаточно</li> </ol>	Багатоцільовий з ЧПУ IP500MФ4

Проаналізувавши вище написане, можна сказати, що даний типовий технологічний процес підходить для подальшого використання.

2.5 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки поверхні

Відповідно до наведених вище вимог визначимо кількість переходів і способи та методи попередньої та остаточної обробки для отвору  $\varnothing 15H7$ , враховуючи, що допуск точності відповідного розміру після свердління складатиме 0,18:

$$\varepsilon = 0,18 / 0,018 = 10$$

Отже можна проводити обробка за три переходи і призначаємо:

$$\varepsilon_1 = 5$$

Відповідно тоді ступень уточнення другого переходу складатиме:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon / \varepsilon_1$$

Тобто:

$$\varepsilon_3 = 10 / 5 = 2$$

Таблиця 2.9 – Кількість ступеней механічної обробки

Розмір деталі	Стадія обробки	Отримуваний квалітет
Ø10H7	Розвертання	7
	Зенкерування	9
	Свердління	12
M10-7H	Нарізання різі	7
	Свердління	12
Ø12H7	Розвертання	7
	Зенкерування	9
	Свердління	12

Допуск складатиме:

$$T_1 = 0,18 / 5 = 0,036 \text{ (мм)}$$

$$T_2 = 0,036 / 2 = 0,018 \text{ (мм)}$$

Остаточно приймаємо наступні переходи механічної обробки даної поверхні: свердління (12 квалітет точності); зенкерування (9 квалітет точності); розвертання (7 квалітет точності).

## 2. 6 Вибір чистових і чорнових технологічних баз

При виборі чорнових баз має вирішуватися одна із двох задач: зняття рівномірного мінімального припуску при подальшій механічній обробці або зв'язок оброблених і необроблених поверхонь. В даному випадку вирішується друга задача, оскільки заготовка встановлюється на площину та два торці, які в подальшому не обробляються.

Таблиця 2.10 - Аналіз похибок базування на операції 005

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Токарно-револьверна з ЧПК	Ø11	Відсутня	Діаметральний розмір
	30, 15, 70, 80	Відсутня	Обробка з одного установа
	12, 10	Відсутня	Виконання принципу суміщення баз

При виборі чистових баз необхідно, щоб похибка базування була мінімальною.

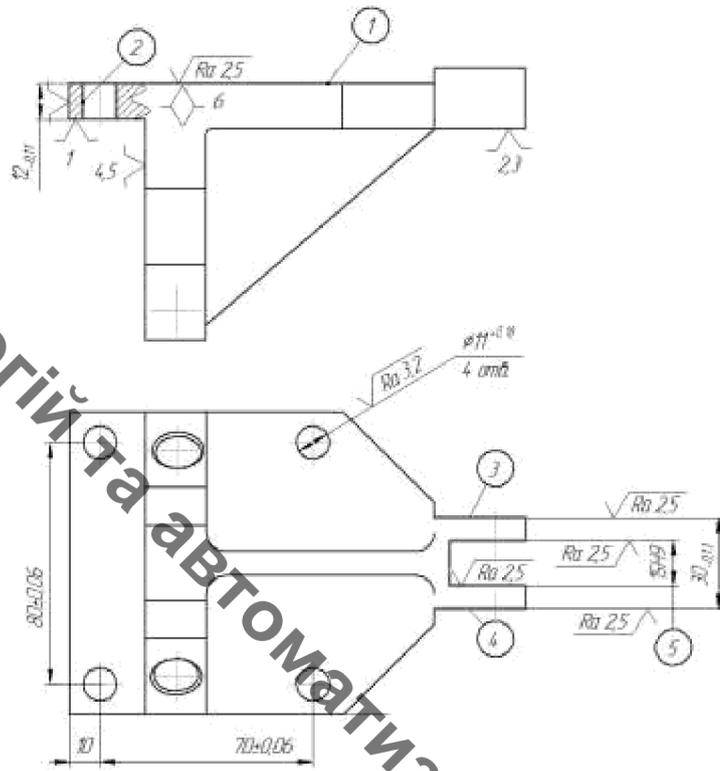


Рисунок 2.6- Схема базування на операції 005

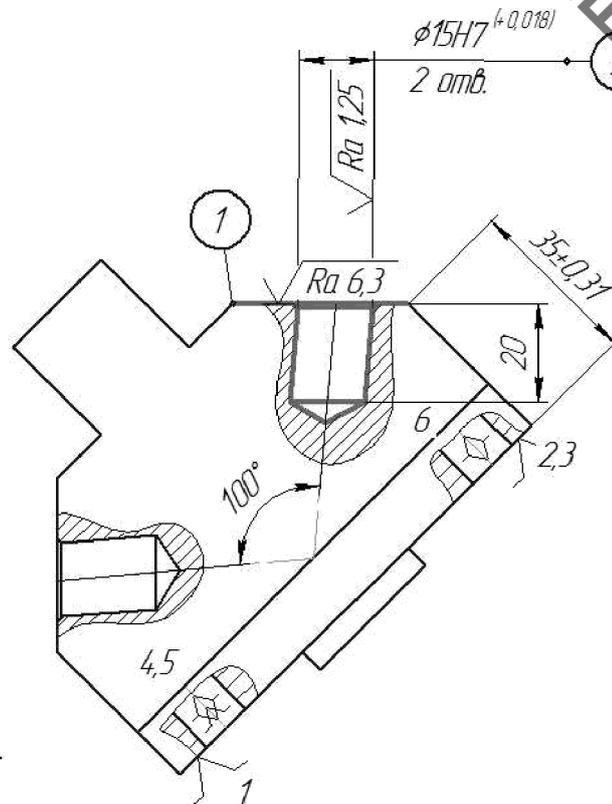


Рисунок 2.7 – Схема базування на операції 010

Таблиця 2.11 - Аналіз похибок базування на операції 010

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Токарно-	Ø15H7	Відсутня	Діаметральний розмір
револьверна з	20, 100	Відсутня	Обробка з одного установка
ЧПК	35	Відсутня	Виконання принципу суміщення баз

На операції 015 фрезерується площа та свердлиться отвори.

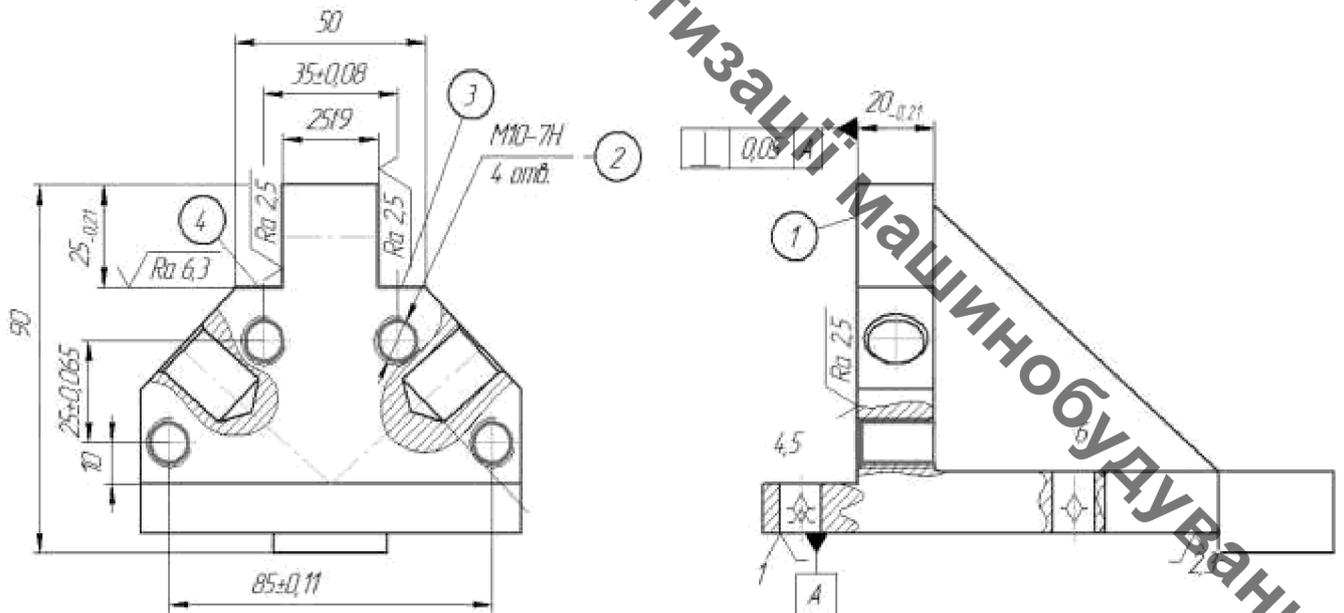


Рисунок 2.8 – Схема базування на операції 015

Виникає похибка базування на розмір 25, вона буде рівна допусковій розміру 75 (0,12 мм), що менше допуску на розмір 25 (0,21 мм).

І буде похибка базування на розмір 20. Вона залежатиме від зазору між отворами і пальцями, на які встановлюється деталь:

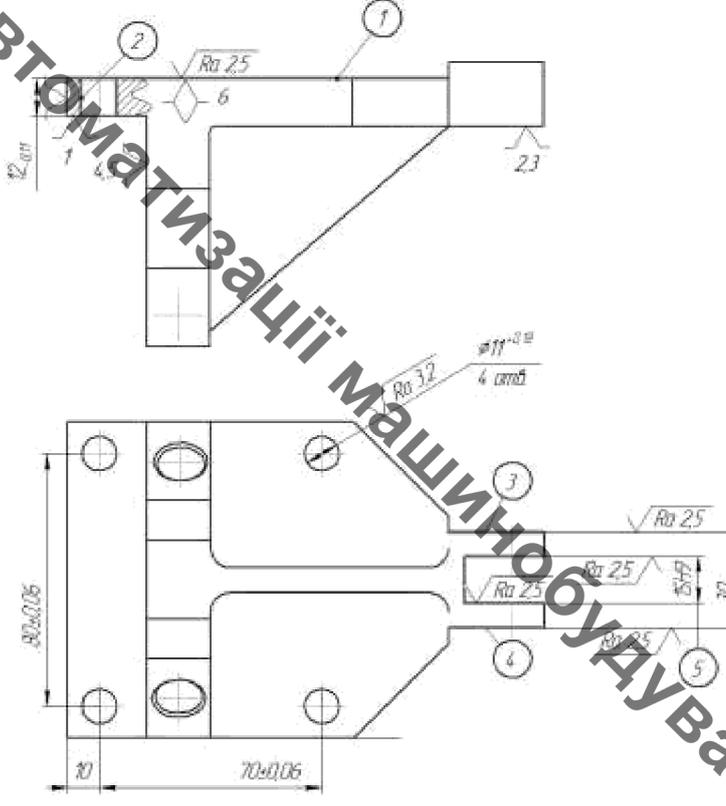
Похибка базування рівна

$$tg\alpha = (0,027 + 0,011 + 0,013) / \sqrt{70^2 + 80^2} = 0,00048(\text{мм})$$

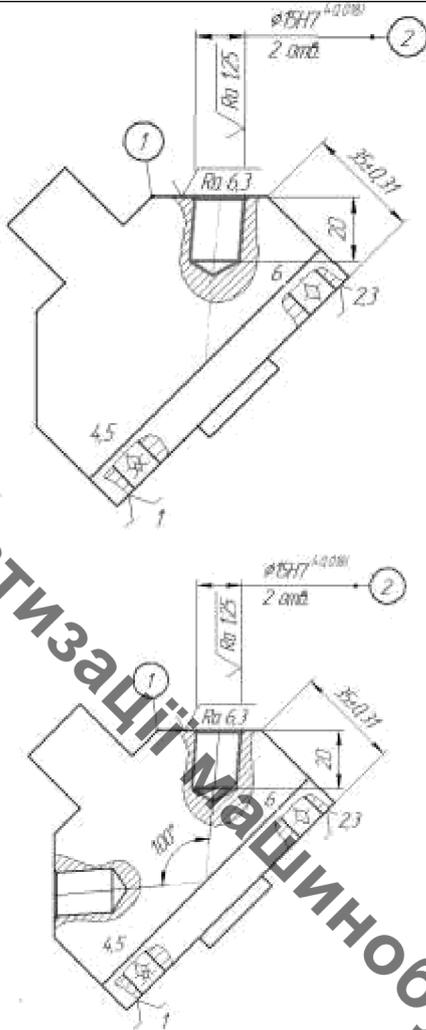


2.7 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів та зображенням схем базування

Таблиця 2.14 -Маршрут механічної обробки

№ операцій	Зміст операцій та переходів	Схема базування	Мо-дельв верс.
1	2	3	4
005	<p>Фрезерна з ЧПК</p> <p>1 Встановити і закріпити заготовку</p> <p>2 Фрезерувати площину 1 попередньо</p> <p>3 Фрезерувати площину 1 остаточно</p> <p>4 Центрувати 4 отвори 2</p> <p>5 Свердлити 4 отвори 2</p> <p>6 Зенкерувати 4 отвори 2</p> <p>7 Розвернути 4 отвори 2</p> <p>8 Фрезерувати площину 3</p> <p>9 Фрезерувати площину 4</p> <p>10 Фрезерувати паз 5</p> <p>11 Зняти заготовку</p>	 <p>The drawing shows a mechanical part with the following features and specifications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>1</b>: Top surface finish <math>Ra 2.5</math>.</li> <li><b>2</b>: Chamfered edges with <math>Ra 2.5</math> finish.</li> <li><b>3</b>: Chamfered edges with <math>Ra 2.5</math> finish.</li> <li><b>4</b>: Four holes with diameter <math>\varnothing 11^{+0.012}</math> and depth <math>4 \text{ mm}</math>.</li> <li><b>5</b>: Groove with <math>Ra 2.5</math> finish.</li> <li><b>6</b>: Chamfered edge with <math>Ra 2.5</math> finish.</li> <li>Dimensions: <math>12 \text{ mm}</math>, <math>10</math>, <math>70 \pm 0.06</math>, <math>80 \pm 0.06</math>, <math>25 \text{ mm}</math>, <math>70</math>.</li> </ul>	4

Продовження таблиці 2.14

1	2	3	4
010	<p>Фрезерна з ЧПК</p> <p>Установ 1</p> <p>1 Встановити і закріпити заготовку</p> <p>2 Фрезерувати площину 1</p> <p>попередньо</p> <p>3 Фрезерувати площину 1 остаточно</p> <p>4 Центрувати отвір 2</p> <p>5 Свердлити отвір 2</p> <p>6 Зенкерувати отвір 2</p> <p>7 Розвернути отвір 2</p> <p>8 Зняти заготовку</p> <p>Установ 2</p> <p>1 Встановити і закріпити заготовку</p> <p>2 Фрезерувати площину 1</p> <p>попередньо</p> <p>3 Фрезерувати площину 1 остаточно</p> <p>4 Центрувати отвір 2</p> <p>5 Свердлити отвір 2</p> <p>6 Зенкерувати отвір 2</p> <p>7 Розвернути отвір 2</p> <p>8 Зняти заготовку</p>		Фрезерний з ЧПУ HAAS MINIMILL

II

родовження таблиц 2.14

1	2	3	4
015	<p>Фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Встановити і закріпити заготовку</li> <li>2 Фрезерувати площину 1</li> <li>3 Фрезерувати площину 1 остаточно</li> <li>4 Центрувати отвори 2</li> <li>5 Свердлити 4 отвори 2</li> <li>6 Зенкувати фаску в 4 отворах 2</li> <li>7 Нарізати різь в 4 отворах 2</li> <li>8 Фрезерувати площину 3</li> <li>9 Обкотити площину 4</li> <li>10 Зняти заготовку</li> </ol>		Фрезерний з ЧПУ HAAS MINIMILL
020	<p>Свердлильна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Встановити і закріпити заготовку</li> <li>2 Центрувати отвір 1</li> <li>3 Свердлити отвір 1</li> <li>4 Зенкерувати отвір 1</li> <li>5 Розвернути отвір 1</li> <li>6 Центрувати отвір 2</li> <li>7 Свердлити отвір 2</li> <li>8 Зенкерувати отвір 2</li> <li>9 Розвернути отвір 2</li> <li>10 Зняти заготовку</li> </ol>		Свердильний з ЧПК 2P13502

## 2.8 Розмірний аналіз технологічного процесу

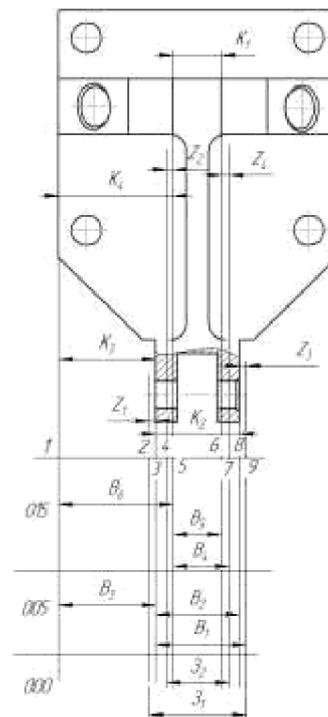
Допуски технологічних розмірів визначаються виходячи з точності механічної обробки. Таблиці економічної точності на металорізальних верстатах наведені у відповідних таблицях. Згідно цим таблицям середня точність однократної обробки відповідає 12-му квалітету.

Таблиця 2.15– Допуски технологічних розмірів

Розміри заготовки	$Z_1$	$Z_2$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$
Попередні значення допусків	0,52	0,52	0,13	0,052	0,62	0,13	0,052	0,62

### 4.5.3 Розмірна схема технологічного процесу

Одним із перших етапів розмірного аналізу є побудова розмірної схеми технологічного процесу та виявлення технологічних розмірних ланцюгів (рисунок 4.5). На розмірній схемі вказуються конструкторські розміри, припуски та технологічні розміри.



Рисунки 2.10 – Розмірна схема першого технологічного процесу

Граф, складений із конструкторських розмірів  $K_1K_2\dots$  і припусків називається вихідним графом (деревом).

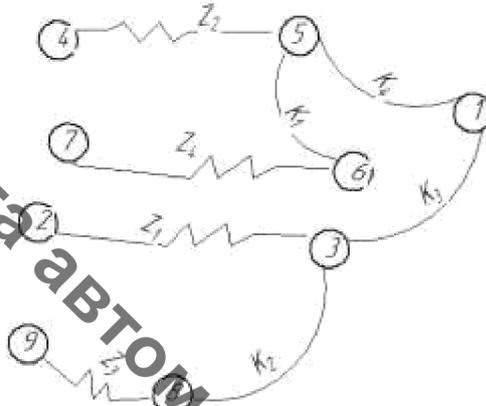


Рисунок 2.11 – Вихідний граф-дерево

Граф, складений із технологічних розмірів  $B_1B_2\dots$  і розмірів заготовки  $Z_1Z_2\dots$  називається похідним графом.

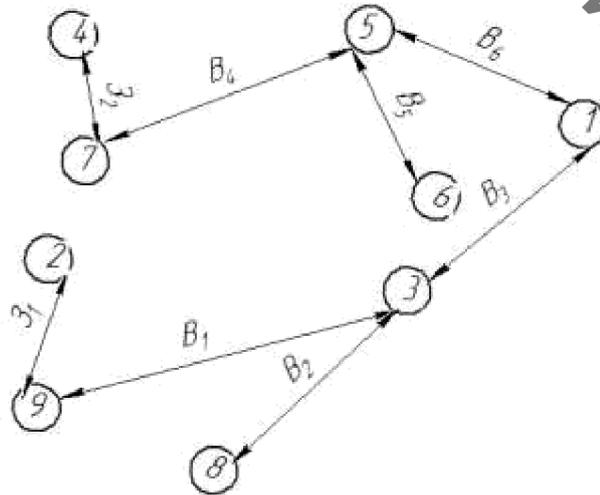


Рисунок 2.12 – Похідний граф-дерево

Суміщений граф являє собою графічне зображення ТП механічної обробки.

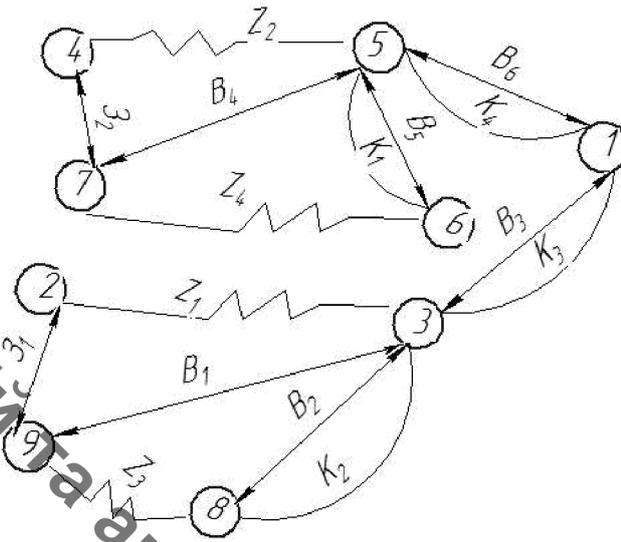


Рисунок 2.13 – Суміщений граф-дерево

Таблиця 2.16 – Мінімальні припуски

Припуски	$Z_1$	$Z_3$	$Z_3$	$Z_4$
$Z_{\min}$	0,6	0,6	0,6	0,6

Таблиця 2.17 – Рівняння розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідома ланка
1	$B_5 - K_1 = 0$	$B_5 = K_1$	$B_5$
2	$B_2 - K_2 = 0$	$B_2 = K_2$	$B_2$
3	$B_3 - K_3 = 0$	$B_3 = K_3$	$B_3$
4	$B_6 - K_4 = 0$	$B_6 = K_4$	$B_6$
5	$B_4 - Z_4 - B_5 = 0$	$Z_4 = B_4 - B_5$	$B_4$
6	$B_1 - Z_2 - B_2 = 0$	$Z_2 = B_1 - B_2$	$B_1$
7	$B_1 + Z_1 - 3_1 = 0$	$Z_1 = 3_1 - B_1$	$3_1$
8	$B_3 + Z_3 - 3_2 = 0$	$Z_3 = 3_2 - B_3$	$3_{12}$

4.5.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів і маршруту механічної обробки

Відповідно до визначених вище технологічних рівнянь визначимо для кожного розміру цього межі:

Відповідно до визначених вище технологічних рівнянь визначимо для кожного розміру цього межі:

$$1. B_5 = K_1 = 25^{+0,052} (\text{мм})$$

$$2. B_2 = K_2 = 30_{-0,052} (\text{мм})$$

$$3. B_3 = K_3 = 35^{\pm 0,31} (\text{мм})$$

$$4. B_6 = K_4 = 37,5^{\pm 0,31} (\text{мм})$$

$$5. Z_{4 \min} = B_{3 \min} - B_{5 \max};$$

$$B_{4 \min} = 0,6 + 25,052 = 25,652 (\text{мм})$$

$$B_{4 \max} = B_{4 \min} + T(B_4) = 25,652 + 0,13 = 25,782 (\text{мм})$$

$$B_4 = 25,652^{+0,13} (\text{мм})$$

$$Z_{4 \max} = B_{4 \max} - B_{5 \min} = 25,782 - 25 = 0,782 (\text{мм})$$

$$6. Z_{4 \min} = B_{1 \min} - B_{2 \max};$$

$$B_{1 \min} = 0,6 + 30 = 30,6 (\text{мм})$$

$$B_{1 \max} = B_{1 \min} + T(B_1) = 30,6 + 0,13 = 30,73 (\text{мм})$$

$$B_1 = 30,73_{-0,13} (\text{мм})$$

$$Z_{2 \max} = B_{1 \max} - B_{2 \min} = 30,73 - 29,948 = 0,782 (\text{мм})$$

$$7. Z_{1 \min} = Z_{1 \min} - B_{1 \max}$$

$$Z_{1 \min} = 30,73 + 0,6 = 31,33 (\text{мм})$$

$$Z_{1 \max} = 31,33 + 0,52 = 31,85 (\text{мм})$$

$$Z_1 = 31,85_{-0,52} (\text{мм})$$

$$Z_{1 \max} = Z_{1 \max} - B_{1 \min} = 31,85 - 30,6 = 1,25 (\text{мм})$$

$$8. Z_{3 \min} = Z_{2 \min} - B_{3 \max}$$

$$Z_{2\min} = 25,782 + 0,6 = 26,382 \text{ (мм)}$$

$$Z_{2\max} = 26,382 + 0,52 = 26,902 \text{ (мм)}$$

$$Z_2 = 26,9^{+0,52} \text{ (мм)}$$

$$Z_{3\max} = Z_{2\max} - B_{3\min} = 26,9 - 25,652 = 1,248 \text{ (мм)}$$

Таблиця 2.18 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру у	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на креслені вихідної заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
1	2	3	4	5	6	7
Z <sub>1</sub>	30,73	31,85	0,52	31,85		31,85 <sub>-0,52</sub>
Z <sub>2</sub>	26,38	26,9	0,52	26,9		26,9 <sup>+0,52</sup>
1	2	3	4	5	6	7
B <sub>1</sub>	30,6	30,73	0,13	30,73	30,73 <sub>-0,13</sub>	
B <sub>2</sub>	29,948	30	0,052	30	30 <sub>-0,052</sub>	
B <sub>3</sub>	34,69	25,31	0,62	35	35 <sup>±0,31</sup>	
B <sub>4</sub>	25,652	25,782	0,13	125,65	25,65 <sup>+0,13</sup>	
B <sub>5</sub>	25	25,052	0,052	25	25 <sup>+0,052</sup>	
B <sub>6</sub>	37,19	37,81	0,62	37,5	37,5 <sup>±0,31</sup>	

Отже визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес.

Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні

Визначення значень Rz і T проводимо відповідно до рекомендацій. Заготовка виливок в оболонкові форми.

Таблиця 2.19– Параметри поверхонь

Стан поверхні	Параметр шорсткості $R_z$	Параметр точності $T$
Заготовка	40	260
Свердління	50	50
Зенкерування	50	50
Розвертання	20	25

Сумарне значення просторових відхилень при установці по зовнішньому діаметрові з при жимом торцевої поверхні:

$$\rho = \sqrt{\rho_{жол}^2 + \rho_{зм}^2} \text{ [мкм]} \quad (2.20)$$

$$\rho_{жол} = \sqrt{(\Delta_k \cdot D)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2} = \sqrt{(0.7 \cdot 15)^2 + (0.7 \cdot 20)^2} = 25 \text{ (мкм)}$$

$$\rho_{зм} = 0.12 \text{ (мм)}$$

$$\rho = \sqrt{25^2 + 120^2} = 122,6 \text{ (мкм)}$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1}, \text{ [мкм]} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.20– Значення просторових відхилень

Назва переходу	Формула	Значення, мкм
Свердління	–	122,6
Зенкерування	$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_3$	5
Розвертання	$\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_3$	2,45

Похибка установки при чорновому розточуванні  $\varepsilon_1$ :

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_\sigma^2 + \varepsilon_\tau^2} \text{ [мкм]}.$$

$\varepsilon_3 = 120$  мкм – похибка закріплення,

Похибка базування при установці на площину і два пальці рівна

$$\operatorname{tg} \alpha = (0,027 + 0,011 + 0,013) / \sqrt{70^2 + 80^2} = 0,00048 (\text{мм})$$

$$\varepsilon_0 = 20 \cdot 0,00048 = 0,0095 (\text{мм})$$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{9,5^2 + 120^2} = 120,4 (\text{мм}),$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot 0,05 = 120,4 \cdot 0,05 = 6 (\text{мкм}),$$

$\varepsilon_2$  – залишкова похибка установки при другому переході.

На основі отриманих вище даних проводимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою:

$$2Z_{i\min} = 2 \cdot (R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) [\text{мкм}] \quad (2.22)$$

Мінімальний припуск:

зенкерування:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{123^2 + 120,4^2}) = 2 \cdot 272 (\text{мкм}),$$

розвертання:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{6^2 + 5^2}) = 2 \cdot 115 (\text{мкм}),$$

При розвертанні маємо отримати розмір вказаний на креслені:  $d = 15,018$  мм.

Наступні розміри отримуємо послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

Таблиця 2.21 – Визначення максимальних розмірів

Вид переходу	Розміри	
	Розрахунковий	Прийнятий
Розвертання		$d_{\max 1} = 15,018 \text{ мм}$
Зенкерування	$d_2 = 15,018 - 2 \cdot 0,105 = 14,802 \text{ мм}$	$d_{\max 2} = 14,802 \text{ мм}$
Свердління	$d_4 = 14,802 - 2 \cdot 0,272 = 14,258 \text{ мм}$	$d_{\max 4} = 14,29 \text{ мм}$

Мінімальні граничні розміри визначаються шляхом віднімання від найменших граничних розмірів допусків відповідних переходів.

Таблиця 2.22 – Визначення мінімальних розмірів

Вид переходу	Розміри
Зенкерування	$d_{\min 2} = 14,802 - 0,043 = 14,759 \text{ мм}$
Свердління	$d_{\min 4} = 14,29 - 0,18 = 14,11 \text{ мм}$

Мінімальні граничні значення припусків  $Z_{\min}$  рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальне значення  $Z_{\max}$  – відповідно різниця найменших граничних розмірів.

Для розвертання:

$$2Z_{\max 2} = 15 - 14,759 = 0,241 (\text{мм}),$$

$$2Z_{\min 2} = 15,018 - 14,802 = 0,216 (\text{мм})$$

Для зенкерування:

$$2Z_{\max 3} = 14,759 - 14,11 = 0,649 (\text{мм}),$$

$$2Z_{\min 3} = 14,802 - 14,29 = 0,512 (\text{мм}).$$

Таблиця 2.23 – Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам на обробку діаметральної поверхні

Технологічні переходи	Елементи припуску				Розрахунковий	Розрахунковий розмір	Допуск	Граничні розміри		Граничні значення припусків	
	R <sub>z</sub>	T	ε	ρ				d <sub>max</sub>	d <sub>min</sub>	2Z <sub>min</sub>	2Z <sub>max</sub>
Свердління	50	50		123		14,258	0,18	14,29	14,11		
Зенкеруванн я	50	50	12	5	2-272	14,802	0,043	14,802	14,759	0,512	0,649
Розвертання	25	30	6	2,45	2-105	15,018	0,018	15,018	15	0,216	0,241

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max 3} - 2Z_{\min 3} = 241 - 216 = 25 \text{ (мкм)},$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 43 - 18 = 25 \text{ (мкм)},$$

$$2Z_{\max 2} - 2Z_{\min 2} = 355 - 218 = 137 \text{ (мкм)},$$

$$\delta_4 - \delta_5 = 180 - 43 = 137 \text{ (мкм)}$$

Отже всі проведені розрахунки є правильними і не потребують уточнення.

Визначення оптимальних припусків на обробку тісно пов'язане із встановленням проміжних та початкових розмірів заготовки. Ці розміри необхідні для конструювання штампів, спеціального різального та вимірювального інструменту, а також для настроювання металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання. На основі визначених припусків можна обґрунтовано визначити масу початкових заготовок, режими різання, а також норми часу на виконання операцій механічної обробки.

В машинобудування використовують дослідно - статичний та розрахунково – аналітичний методи встановлення припусків на обробку. В попередньому розділі використано розрахунково-аналітичний метод, що базується на

урахуванні конкретних умов виконання технологічного процесу обробки.

Використовуючи даний метод визначимо припуски на циліндричні поверхні валу, а результати заносимо до таблиці 4.16

Таблиця 2.24- Припуски на циліндричні поверхні

Розмір деталі	Стадія обробки	Припуск на перехід	Отримуваний розмір
Ø10H7	Свердлити	4,55	9,1
	Зенкерувати	0,3	9,7
	Розвернути	0,15	10
M10	Свердлити	3,75	Ø7,5
	Зенкувати фаску	1	Ø7,5
	Нарізати різь	1,25	M10

2.10 Визначення режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів

Наведемо повний розрахунок режимів різання при свердлінні отворів Ø15.

Аналітичний розрахунок режимів різання для свердління отвору розпочинається із визначення глибини різання, яка рівна половині діаметру отвору, який свердлиється і в даному випадку складає 10 мм.

Подачу рекомендують приймати в межах від 0,34 до 0,43 мм/об при заданих умовах обробки. Приймаємо подачу рівною 0,4 мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v [\text{м/хв}] \quad (2.23)$$

де  $T$  - стійкість інструменту, 45 хв;

$C_v, x_v, y_v, m, q_v$  – коефіцієнти і показники степені в формулі для розрахунку

швидкості різання. Згідно з [13] вони рівні:

$$C_v=9.8; x_v=0; y_v=0,5; m=0,2, q_v=0.4.$$

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт, який є добутком цілого ряду коефіцієнтів, які враховують реальні умови механічної обробки:

$$K_v=K_{Mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \quad (2.24)$$

Всі складові відображають вплив певного фактора на швидкість різання:

$K_{Mv}$  – якість оброблюваної поверхні, 1;

$K_{uv}$  – матеріал ріжучої частини, 1 (ВК:);

$K_{lv}$  – глибину отвору, що свердлиється, 1.

Отже загальний поправочний коефіцієнт:

$$K=1 \cdot 1 \cdot 1=1$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{9,8 \cdot 15^{0,4}}{45^{0,2} 5,5^0 0,25^{0,5}} \cdot 1 = 22(\text{м/хв.}).$$

Круний момент при свердлінні розраховується за формулою:

$$M=C_M D^{q_M} S^{y_M} K_p[\text{Н}\cdot\text{м}] \quad (2.25)$$

де  $C_M, q_M, x_M, y_M$  – коефіцієнти і показники степені для розрахунку крутного моменту при свердлінні. Вони рівні  $C_M=0,3452; q_M=2,0; x_M=0; y_M=0,8$ .

Коефіцієнт  $K_p$  рівен коефіцієнтові  $K_{Mp}$  і рівен одиниці. З урахуванням цього крутний момент:

$$M = 0,345 \cdot 15^{2,0} \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1 = 66.3(\text{Н}\cdot\text{м})$$

О

сьова сила при свердлінні означається за формулою:

$$P_o = C_p D^{q_p} S^{y_p} K_p \text{ [H]} \quad (2.26)$$

де  $C_m, q_m, x_m, y_m$  – коефіцієнти і показники степені для розрахунку осьової сили при свердлінні. Вони рівні:

$$C_p = 680; q_p = 1,0; y_p = 0,7.$$

З урахуванням цього осьова сила:

$$P_o = 680 \cdot 15^{1,0} \cdot 0,4^{0,7} \cdot 1 = 8020 \text{ (H)}$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N = M \cdot n / 9750 \quad (2.27)$$

де  $n$  – число обертів інструмента, що становить:

$$n = 1000 \cdot 22 / 3,14 \cdot 20 = 350 \text{ (об/хв.)}$$

Потужність:

$$N = 66,3 \cdot 350 / 9750 = 2,38 \text{ (кВт)}$$

При зенкеруванні даного отвору приймаємо подачу 0,65 мм/об.

Швидкість різання:

$$V = \frac{16,3 \cdot 15^{0,3}}{3^{0,2} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 0,65^{0,5}} \cdot 1 = 25 \text{ (м/хв.)}$$

Осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot 67 \cdot 0,2^{1,2} \cdot 0,65^{0,65} \cdot 1 = 73,4 \text{ (H)}$$

Крутний момент:

Таблиця 2.25 – Режими різання на операції

Назва переходу, операції	Глибина різання, мм	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/хв	Частота обертання шпинделя, об/хв	Потужність різання, кВт
	2	3	4	5	6
<u>005 – Фрезерна з ЧПК</u>					
Фрезерувати площину 1 попередньо	1,2	0,50	334,41	887,51	9,46
Центрувати 4 отвори	2,50	0,35	14,73	938,08	0,36
Свердлити 4 отвори 2	10	0,4	22	350	2,38
Зенкерувати 4 отвори 2	0,2	0,65	25	393	0,12
Розвернути 4 отвори 2 остаточно	0,10	0,80	6,88	109,60	0,06
Фрезерувати площину 3 попередньо	1,2	0,50	334,41	887,51	9,46
Фрезерувати площину 1 остаточно	0,80	1,20	294,91	782,68	9,09
Фрезерувати площину 3 остаточно	0,80	1,20	294,91	782,68	9,09
<u>010- Багатоцільова з ЧПК</u>					
Фрезерувати площину 1 попередньо	1,2	0,50	334,41	887,51	9,46
3 Фрезерувати площину 1 остаточно	0,80	1,20	294,91	782,68	9,09
4 Центрувати отвір 2	2,50	0,35	14,73	938,08	0,36
5 Свердлити отвір 2	6,00	0,35	20,90	554,77	1,22
6 Зенкерувати отвір 2	0,4	0,2	279,9	2785,7	7,0
7 Розвернути отвір 2	0,2	0,2	343,5	3418,3	3,4

$$M = 10 \cdot 0,09 \cdot 15^1 \cdot 0,2^{0,9} \cdot 0,65^{0,8} \cdot 1 = 73,4 (\text{Н}\cdot\text{м})$$

Число обертів інструмента, що становить:

$$n=1000 \cdot 25/3,14 \cdot 20=393 \text{ (об/хв.)}$$

Потужність:

$$N=73,4 \cdot 393/9750=0,12 \text{ (кВт)}$$

## 2.11 Визначення технічних норм часу на операції

Нормування в машинобудуванні – це встановлення технічно обґрунтованих норм часу. Нормування технологічних процесів здійснюють для кожної операції. Технічною нормою часу називають час, необхідний для виконання технологічної операції в певних організаційно-технічних умовах конкретного виробництва. Розрізняють три методи нормування: технічного розрахунку за нормативами; порівняння і розрахунку за підвищеними типовими нормативами; встановлення норм на основі вивчення затрат робочого часу. При першому методі тривалість операції встановлюють розрахунком за мікроелементами на основі аналізу послідовності і змісту дій робітника і верстата. При другому методі норму часу визначають наближено, за підвищеними типовими нормативами. При третьому методі норму часу встановлюють на основі хронометражу. Цей метод має особливе значення для вивчення і узагальнення передових прийомів праці. А також для розробки нормативів, необхідних для встановлення технічно обґрунтованих норм розрахунком.

Скористаємося першим методом розрахунку, при цьому врахуємо, що визначення норм часу для верстатів з ЧПК дещо відрізняється від загально прийнято для універсальних і спеціальних верстатів. Приведемо приклад розрахунку на операції 005.

Норма штучного часу згідно [23] визначається за формулою:

$$T_{ш} = (T_{ц.а.} + T_{в}) \cdot \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{від}}{100}\right) \text{ [хв]} \quad (2.28)$$

де  $T_B$  – допоміжний час, що складається із:

$$T_B = T_{\text{вуст}} + T_{\text{воп}} + T_{\text{ввим}} \text{ [хв]} \quad (2.29)$$

$T_{\text{вуст}}$  – допоміжний час на установку і зняття деталі, згідно довідника для даної операції складає 0,55 хв на площину і два торці;

$T_{\text{воп}}$  – допоміжний час пов'язаний із операцією, включає в себе час на:

- встановлення заданого взаємного розташування деталі і інструмента по координатам – 0,32 хв;
- перевірку приходу інструмента в задану точку після обробки – 0,15 хв;
- встановлення і зняття щитка від забризкування емульсією – 0,03 хв.

$$T_{\text{воп}} = 0,15 + 0,32 + 0,03 = 0,5 \text{ (хв.)};$$

$T_{\text{ввим}}$  – допоміжний час на контрольні вимірювання, що складається в даному випадкові із чотирьох замірів штангенциркулем, одного заміру пробкою. В сумі час затрачений на вимірювальні операції складає:

$$T_{\text{ввим}} = 0,11 \cdot 4 + 0,2 = 0,64 \text{ (хв.)}$$

Час на організаційне і технічне обслуговування робочого місця і особисті потреби приводяться в відсотках від оперативного часу і складають:

$$a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{від}} = 9\% \quad (2.30)$$

$T_{\text{ц.а.}}$  – час на цикл роботи за програмою. Для того щоб визначити дану складову необхідно зобразити шлях за яким рухається інструмент, як показано на рисунку 2.14. За допомогою даної схеми складається таблиця переміщень інструменту (таблиця 2.23), в яку заносяться всі відстані які проходить

інструмент за цикл своєї роботи і хвилині подачі при цих переміщеннях, при цьому враховується що підводиться і відводиться інструмент на прискореній подачі.

На операції 005 виконується свердління отворів та нарізання різі. Для того, щоб визначити норми часу необхідно спочатку визначити довжину робочого ходу:

$$L_{p.x.} = l_0 + l_1 + l_2 + l_3 \text{ [мм]} \quad (2.31)$$

де  $l_0$  – глибина отвору;  $l_1$  – довжина підводу інструмента;  $l_2$  – довжина врізання інструмента,  $l_3$  – довжина перебігу інструмента.

При свердлінні отвору  $\varnothing 11$  згідно [23]:

$$l_1 + l_2 + l_3 = 9,5 \text{ (мм)}$$

Враховуючи довжину отворів отримаємо довжину робочого ходу інструмента: 90; 50 мм відповідно. Тоді основний час складатиме:

$$T_{o1} = 100,5 / 24,5 = 0,926 \text{ (хв.);}$$

$$T_{o2} = 59,5 / 213 = 0,377 \text{ (хв.);}$$

Допоміжний час, який складається із: часу на установку і зняття деталі, часу на вмикання і вимикання верстату, контрольні вимірювання, складає 1,11 хв.

Відповідно штучний час:

$$T_{шт} = (0,926 + 0,377 + 0,1 + 1,11) \cdot 1,08 = 3,24 \text{ (хв.).}$$

Норми часу для всіх операцій наведено в таблиці 2.26

Таблиця 2.26 – Норми часу

Операції	Основний час, хв	Штучний час, хв
005	2,674	3,7
010	7,176	10,1
015	1,788	2,5
020	5,776	7,8

## 2.12 Розробка елементів ділянки механічної обробки

При серійному типі виробництва можна використати приведену програму для подібних виробів, що дозволить розробляти технологічну документацію відразу на декілька виробів, а точніше розробляється технологічний процес на одну деталь представника, а всі інші приводяться до неї за допомогою коефіцієнта приведення.

Таблиця 2.271 – Приведена програма виробництва

Найменування деталі	Маса, кг	Програм випуску, шт	Коефіцієнт приведення по			Коефіцієнт приведення	K·N
			масі	точності	серійності		
1	2	5	6	7	8	9	10
Кроштейн	1,85	5400	1	1	1	1	5400
Корпус	1,4	4200	0,83	0,94	1,04	0,81	3404
Кришка 2	1,6	4600	0,91	0,891	1,03	0,83	3811
Всього						12615	

Отже при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників буде використовуватися приведена програма, тобто проектується дільниця, на якій вироблятиметься дві подібні деталі.

Кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = T_{\text{пр}} / (\Phi_d \cdot m) \quad (5.5)$$

де  $T_{\text{пр}}$  – сумарна трудомісткість деталей, год;

$\Phi_d$  – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год;

$m$  – кількість робочих змін

Враховуючи проведене раніше нормування часу розраховуємо сумарну трудомісткість деталей:

На операціях 005-010-015 трудомісткість виконання робіт складатиме:

$$T_{\text{пр}} = \frac{(3,7 + 10,1 + 2,5) \cdot 12615}{60} = 3427 \text{ (год)}$$

Для операції 020 трудомісткість виконуваних робіт складає:

$$T_{\text{пр}} = \frac{7,8 \cdot 12615}{60} = 1639 \text{ (год)}$$

Отже кількість фрезерних верстатів складає:

$$C_p = \frac{3427}{3890} = 0,88$$

Свердлильних верстатів:

$$C_p = \frac{1639}{3890} = 0,42$$

Отримані результати занесемо до таблиці 5.2

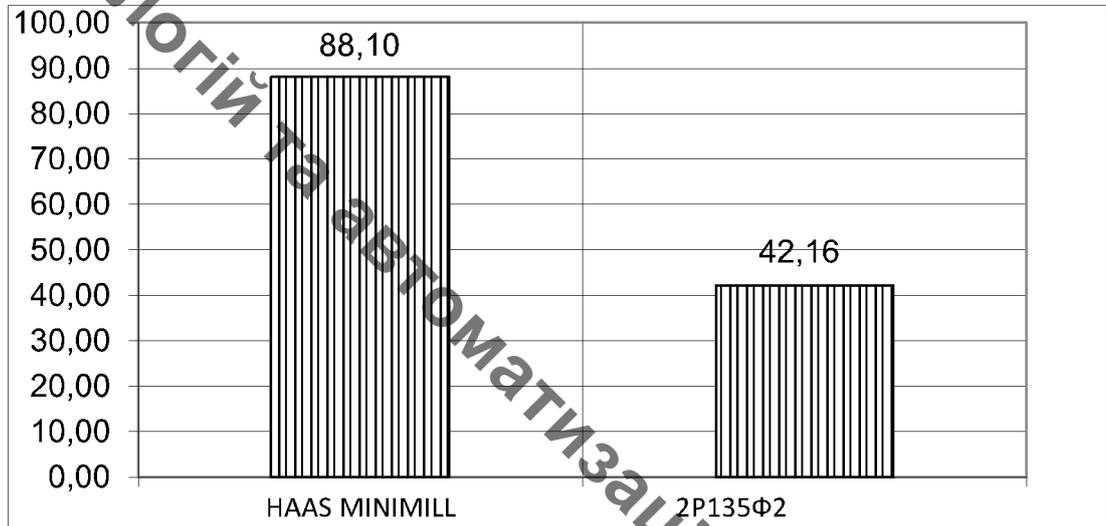


Рисунок 2.14 – Графік завантаження обладнання

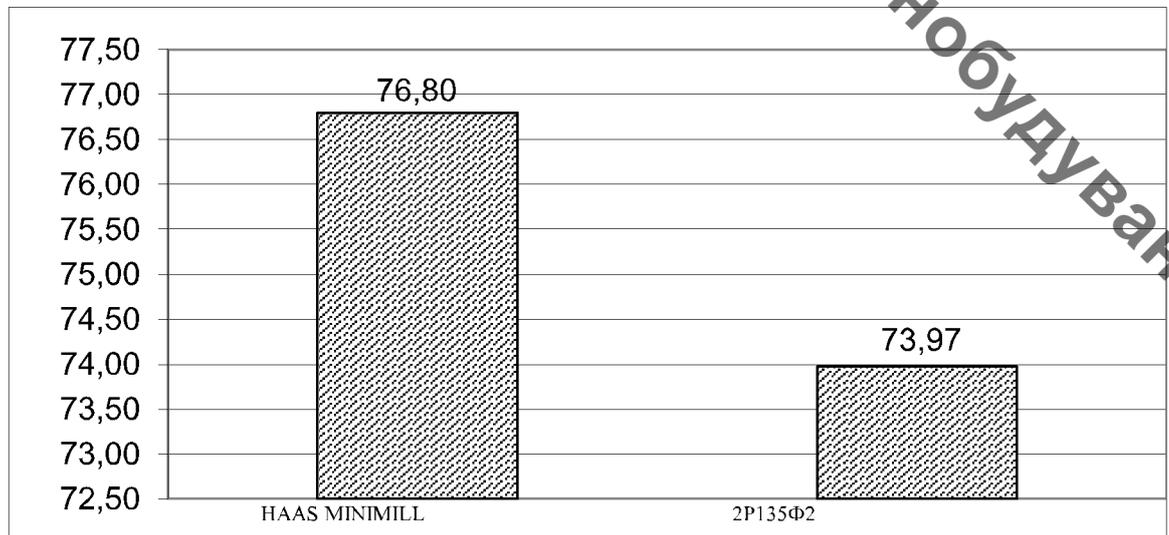


Рисунок 2.15 – Графік використання обладнання за основним часом

Таблиця 2.28 - Розрахунок кількості обладнання.

$N_{оп}$	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження по основному часові.
005	Фрезерна з ЧПК	0,88	1	0,88	65,12	0,768
015						
020	Свердлильна з ЧПК	0,42	1	0,42		0,739

Аналогічно визначаються коефіцієнти завантаження інших верстатів, результати заносимо до таблиці 5.2.

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою

$$P = C_{пр} \cdot \Phi_d \cdot K_z / \Phi_v \cdot K_m \quad (2.32)$$

де  $C_{пр}$  – прийнята кількість верстатів, шт;

$\Phi_v$  – ефективний річний фонд роботи верстатника, год;

$K_m$  – коефіцієнт багатостанкового обслуговування.

Наприклад для роботи на багатоцільовому верстаті необхідно:

$$P = 1 \cdot 3890 \cdot 0,88 / 1 \cdot 1840 = 1,86$$

При розрахунку ефективний фонд роботи верстатника прийнятий рівним 1840 год (тривалість робочої неділі – 41 год, основної відпустки – 18 днів).

Отже для виконання заданого обсягу роботи необхідно 12 робітників.

Аналогічно поводимо розрахунки для інших операцій, а результати записуємо до таблиці.

Таблиця 2.29 – Кількість робітників –верстатників

Назви верстатів	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	$\Phi_{д,}$ год	$K_з$	$K_м$	$P,$ чол	$P_{пр,}$ чол
Фрезерний з ЧПК	1	1840	0,88	1	1,86	2
Свердлильний з ЧПК	1		0,42	1	0,83	1

Оскільки вважаємо, що верстати мають довантажуватися іншими деталями, то приймаємо 3 робітника.

Згідно таблиці 5.3 сума всіх основних робочих -3 чол.

Кількість допоміжних робітників складає 20-25% від кількості верстатників, відповідно:

$$P_{др}=(0,2\dots0,25)\cdot3=0,6\dots0,75$$

Приймаємо 2 допоміжних робітника.

При дрібносерійному виробництві кількість ІТР складає 21-15% від кількості верстатів, тобто:

$$P_{ІТР}=(0,15\dots0,21)\cdot3=0,54\dots0,72$$

Приймаємо 1 чол ІТР.

Кількість службовців при серійному виробництві, та при чисельності основних робітників менше 75 чол., складає 2,2% від кількості основних робітників верстатників, отримаємо:

$$P_{СКП}=0,022\cdot3=0,066$$

Приймаємо 1 чол.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу складає 2% від кількості усіх працівників, тобто:

$$P_{МОП}=0,02\cdot(3+1+1+1)=0,12$$

Приймаємо 1 чол молодшого обслуговуючого персоналу. Отримані дані занесемо до таблиці

Таблиця 2.30 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники		3
Допоміжні робітники	20...25%	1
ІТР	15...21%	1
СКП	2,2%	1
МОП	2%	1

Отже на дільниці механічної обробки для виготовлення деталі по запропонованому маршруту механічної обробки, має бути розміщено 2 металорізальних верстатів, які обслуговуються 3 основними робітниками. Крім того для забезпечення нормальної роботи дільниці необхідно ще 4 робітника. Але як показали розрахунки використання даного технологічного процесу забезпечить отримання деталі з відповідними кресленню показниками точності.

### 2.13 Висновки

В результаті проектування технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Кронштейн передній», виконано наступне:

- зроблений аналіз конструкції та технологічності деталі;
- визначено тип виробництва і форму організації на ній;
- з двох альтернативних запропонованих варіантів на базі техніко–економічного порівняння визначено спосіб виготовлення заготовки;
- виконано аналітичний огляд відомих та типових маршрутів обробки подібних до заданої деталі;

- визначено способи та кількість етапів обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності;
- обґрунтовано вибрані технологічні бази деталі;
- запропоновано маршрут механічної обробки;
- виконано розмірний аналіз технологічного припуску;
- аналітично визначено припуски та технологічні розміри на одну з найбільш точних поверхонь – циліндричну поверхню  $\varnothing 15H7$ ;
- аналітичним способом визначені режими обробки;
- спроектована ділянка механічної обробки, для чого розрахована приведена програма, визначено верстатів та їх коефіцієнти завантаження, розрахована кількість працюючих;
- розроблена графічна частина, до складу якої увійшли креслення деталі та заготовки, плакати з технологічним маршрутом та розмірним аналізом процесу.

### 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів які оцінили комерційний потенціал розробки за 12-ю критеріями, наведеними в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні.	Потрібні незначні фінансові ресурси.	Потрібні значні фінансові ресурси.	Потрібні незначні фінансові ресурси.	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислово-му комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведено в таблицю за зразком таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Буренніков Ю.А.	Савуляк В.В.	Сухоруков С.І.
	Бали, виставлені експертами:		
1	1	2	2
2	1	2	1
3	3	3	3
4	2	3	3
5	4	4	3
6	1	2	2
7	2	3	3
8	2	4	3
9	1	2	2
10	2	3	3
11	3	3	4
12	3	4	4
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =25	СБ <sub>2</sub> =35	СБ <sub>3</sub> =33
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{25 + 35 + 33}{3} = 31$		

Дана розробка має рівень комерційного потенціалу вище середнього.

### 3.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення

Деталь «Кронштейн передній», для якої розробляється маршрут механічної обробки в магістерській кваліфікаційній роботі, може використовуватися для ремонту гідравлічних систем. При цьому на дільниці планується виготовляти декілька типорозмірів деталей, для цього підбирається обладнання і пристосування, які можуть переналагоджуватися на інші типорозміри. Це дозволить випускати продукцію, в якій будуть зацікавлені цілий ряд користувачів гідросистем і відповідно величина попиту на ринкові України складатиме близько 70 000.

З метою прогнозування попиту визначимо ємність ринку обладнання. Для цього опрацювавши статистичні дані, прийнемо:

- Середня кількість споживачів, які використовують товари аналогічні розроблюваному 70 000 шт ;
- Середній відсоток споживачів, які зацікавляться придбанням інноваційного продукту  $P_n=80\%$ ;
- Середній термін заміни інноваційного продукту - 4 роки;
- Середній відсоток споживачів, що захочуть придбати розроблений товар повторно  $C_n=80\%$ .

Посилаючись на прогнозовані дані, розраховуємо наступні показники:

Потребу в інноваційному продукті:

$$P_i = P \cdot P_n / 100 [\text{шт}] \quad (3.1)$$

$$P_i = 70000 \cdot 80 / 100 = 56000 \text{ (шт.)}$$

Оптимістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$ОП = \Pi_i / T [\text{шт}] \quad (3.2)$$

$$ОП = 56000 / 4 = 14000 \text{ (шт.)}$$

Песимістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$ПП = ОП \cdot C_p / 100 [\text{шт}] \quad (3.3)$$

$$ПП = 14000 \cdot 0,8 = 11200 \text{ (шт.)}$$

Реалістичний прогноз попиту на інноваційне рішення:

$$РП = (ОП + ПП) / 2 [\text{шт}] \quad (3.4)$$

$$РП = (14000 + 11200) / 2 = 12600 \text{ (шт.)}$$

Попит на продукцію буде постійний, оскільки вантажні перевезення широко розповсюджені в нашій країні. Крім того можна налагодити випуск подібних виробів ( а обладнання дозволить це зробити) до іноземних вантажних автомобілів, що значно підвищить попит продукцію, що може виготовлятися.

### 3.3 Вибір каналів збуту та після продажного обслуговування

Канали розподілу (збуту) – це сукупність фірм чи окремих осіб, які виконують посередницькі функції щодо фізичного переміщення товарів і перебирають на себе або сприяють передаванню права власності на товари на шляху їх просування від виробника до споживача. Зважаючи, що інноваційний продукт є товаром кінцевого споживання і його цільовим сегментом є

машинобудівні підприємства та невеликі майстерні, оптимальними каналами збуту можуть бути:

- канал нульового рівня, що передбачає реалізацію пристосування, безпосередньо від виробника;

Канал першого рівня може використовуватись у випадках встановлення постійного представництва виробника у регіонах (оптового дилера).

При цьому виробник передбачає надання послуг з гарантійного сервісного обслуговування протягом 6 місяців та навчання персоналу роботі із пристосування, і надання рекомендованих режимів роботи.

### 3.4 Виявлення основних конкурентів

На сьогоднішній день в Україні використовуються корпуси, в яких отвір не має поверхнево зміцненого шару. Тобто ця поверхня значно зношується і деталь або замінюють або ставлять втулки, що дає можливість ще деякий час експлуатувати машину. Але це вимагає додаткових затрат часу та коштів.

Нова розробка є кращою ніж аналог.

### 3.5 Обрання методу ціноутворення

Метод ціноутворення – це конкретний спосіб, прийом, сукупність послідовних дій щодо визначення та обґрунтування ціни конкретного товару. Розділення методів на групи є досить умовним і залежить від того, який чинник домінує при визначенні ціни і з якого починається її обґрунтування.

При обранні методу ціноутворення на пристрій для суміщеного обкочування слід урахувати конкуренцію на ринку. Конкуренцію даному пристрою можуть скласти лише закордонні аналоги.

Зважаючи на кращі параметри деталі ніж у аналога, пропонується продавати деталь за ціною дещо вищою, але зважаючи на кращі технічні параметри вона залишиться конкурентоспроможною на ринку нашої країни та дозволить подальше завоювання лідерства за показниками обсягів продажу.

### 3.6 Оцінка рівня якості інноваційного рішення

Оцінка рівня інноваційного рішення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного в технічному відношенні варіанта інженерного рішення. Визначимо абсолютний та відносний рівні якості розроблюваного пристрою.

Визначимо абсолютний рівень інноваційного рішення за формулою:

$$K_{ap} = \sum_{i=1}^n P_{Hi} \cdot \alpha_i$$

Де  $P_{Hi}$  - числове значення  $i$ -го параметру інноваційного рішення;

$n$  - кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінки;

$\alpha_i$

- коефіцієнт вагомості відповідного параметра.

$$K_{ap} = 9 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,3 = 8,1$$

Далі визначаємо рівень якості окремих параметрів інноваційного рішення, порівнюючи його показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів, основних товарів конкурентів.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру та занесемо їх у таблицю 4.6, для цього скористаємося формулами:

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}}$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}}$$

$P_{Hi}$ ,  $P_{Bi}$  - - числові значення і-го параметра відповідно нового і базового виробів.

Таблиця 3.6 – Основні технічні параметри інноваційного рішення та товару -конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	новий		
Твердість поверхневого шару	160	180	1,125	50%
Шорсткість поверхонь	1,6	0,8	2	30%
Квалітет точності	8	7	1,14	20%

$$q_1 = 180/160 = 1,125$$

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначасмо за формулою:

$$K_{яв} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i$$

$$K_{яв} = 1,125 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,3 + 1,14 \cdot 0,2 = 1,39$$

Відносний коефіцієнт показника якості інноваційного рішення більший одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару конкурента на 39%.

### 3.7 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення

Конкурентоспроможність продукції – це комплексна багатоаспектна характеристика товару, що визначає його переваги на ринку порівняно з аналогічними товарами-конкурентами як за ступенем відповідності конкретній потребі, так і за витратами на їх задоволення.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками для нашого пристосування є технічні параметри, а також ціна придбання та експлуатаційні витрати при використанні пристрою.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення з урахуванням вищевказаних груп показників можна визначити за формулою:

$$K = I_{тп} / I_{еп}$$

Де  $I_{тп}$ - індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

$I_{еп}$  – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{en} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{nei}}{\sum_{i=1}^n P_{oei}}$$

$P_{oei}$   $P_{nei}$  - економічні параметри відповідно базового та нового товарів.

$$I_{en} = 167,8 / 189,6 = 0,885$$

$$K = 1,39 / 0,85 = 1,57$$

Оскільки показник конкурентоспроможності більший 1, то наш інноваційний продукт є більш конкурентоспроможним, ніж товар конкурент.

### 3.8 Прогнозування витрат на виконання роботи

Розрахунок основної заробітної плати розробників.

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою :

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (3.5)$$

де:  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.

$T_p$  – число робочих днів в місяці. Приблизно  $T_p = 21 \div 22$ ,

$t$  – число днів роботи розробника.

Для керівника проекту основна заробітна плата складатиме:

$$Z_o = 9000/22 * 20 = 8181,82 \text{ (грн).}$$

Аналогічно розраховуємо заробітну плату інших розробників. При цьому необхідно врахувати, що найбільшу частину роботи виконує інженер-технолог. Результати розрахунків зведено до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків основної заробітної плати.

№	Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1	Керівник проекту	9000	409,09	20	8181,82
2	Інженер-технолог	6000	272,72	20	5454,55
Всього					13636,36

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання технологічних операцій по виготовленню одного виробу:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c \text{ [грн.],} \quad (3.6)$$

де:  $t_i$  – норма часу (трудомісткість) на виконання технологічної операції, годин;  $n$  – число робіт по видах та розрядах,  $K_c$  – коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками.  $K_c=1 \div 5$ . Приймаємо  $K_c=1,37$   $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну технологічну операцію, грн./год.  $C_i$  визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_n \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot T_{зм}} \left[ \frac{\text{грн.}}{\text{год}} \right], \quad (3.7)$$

де:  $M_n$  – мінімальна місячна оплата праці, грн.  $M_n = 5000$  грн.  $K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду та професії,  $K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств машинобудування до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.  $K_c=1,37$   $T_p$  – число робочих днів в місяці. Приблизно  $T_p = 21 \div 23$ ,  $T_{зм}$  – тривалість зміни,  $T_{зм} = 8$  годин.

Таблиця 3.7 - Витрати на основну заробітну плату для виготовлення однієї

деталі

Обладнання	Трудомі- сткість годин	Погодина тарифна ставка	Велечина оплати, грн
НАА8	0,271	122,32	33,23
2P135Ф2	0,13	122,32	15,9
Всього			49,13

Для всіх деталей складатимуть:

$$З_p = 12600 \cdot 49,13 = 619061,52 \text{ (грн.)}$$

Додаткова заробітна плата розраховується, як 10—12 % від основної заробітної плати розробників:

$$З_d = 0,11 \cdot (13636,36 + 61901,52) = 69596,76 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату склали 22 % від суми основної та допоміжної заробітної плати:

$$(13636,36 + 61901,52 + 69596,76) \cdot 0,22 = 154504,82 \text{ (грн.)}$$

3.9 Амортизація обладнання, які використовуються під час виготовлення пристосування

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування в цілому можуть бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{н.в.}} \frac{T_{ф.в.}}{12}$$

Де Ц – загальна балансова вартість обладнання, грн;

$T_{фн}$  – строк корисного використання обладнання,

Для токарно-револьверного верстата складає 0,0267 год для однієї деталі, відповідно ( з врахуванням 8-годинного робочого дня і в середньому 30 днів у місяці):

$$0,271 \cdot 12600 / (8 \cdot 30) = 63 \text{ місяців}$$

$T_{нв}$  – нормативний термін використання обладнання, 12 років

Таблиця 3.4 – Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, тис грн	Термін корисного використання, років	Термін використання обладнання місяців	Величина амортизаційних відрахувань грн.
НААС	1200	12	63,39	528240,74
2P135Ф2	350	12	30033	73726,85
Всього			601967,59	

Витрати на матеріали розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [20]:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot C_v \quad [\text{грн.}], \quad (3.8)$$

де:  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, 2,57 кг,  $C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування, 16 грн./кг.,  $K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1,1$ .  $V_i$  – маса відходів  $i$ -го найменування, 0,72 кг,  $C_v$  – ціна відходів  $i$ -го найменування, 4 грн./кг.  $n$  – кількість видів матеріалів.

Таблиця 3.5 - Витрати на матеріал

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг., грн.	Витрачено, кг.	Величина відходів, кг.	Ціна відходів грн./кг.	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Сталь 40X	16	2,57	0,72	4	42,35

Для виготовлення даного виробу підприємство використовує один вид матеріалу Сталь40X і відповідно отримаємо:

$$M = 16 \cdot 2,57 \cdot 1,1 - 0,72 \cdot 4 = 42,35 \text{ (грн.)}$$

А для всієї партії:

$$42,35 \cdot 12600 = 533635,2 \text{ (грн.)}$$

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi} \quad [\text{грн.}], \quad (3.9)$$

де:  $B$  – вартість 1 кВт-години електроенергії. У 2020 року  $B = 3,6$  грн./кВт.

$P$  – установлена потужність обладнання, 10 кВт;

$F$  – фактична кількість годин роботи обладнання при виконанні технологічних операцій, в результаті чого виготовляється один виріб;

$K_p$  – коефіцієнт використання потужності.  $K_p < 1$ , приймаємо 0,8.

Таблиця 3.6 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Обладнання	Встановлена потужність, кВт	Фактична кількість годин роботи	Сума, грн
HAAS	10	0,271	7,82
2P135Ф2	10	0,13	3,74
Всього			11,57

А для всієї партії:

$$11,57 \cdot 12600 = 145756,8 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану роботу:

$$B_{ін} = (1...3) (3_o + 3_p) \quad (3.10)$$

$$B_{ін} = 2 \cdot (13636,36 + 619061,52) = 1265396 \text{ (грн.)}$$

Усі витрати складають:

$$B=13636,36+619061,52+69596,76+154504,82+601967,59+533635,2+145756,8+1265396=3403554,83 \text{ (грн)}$$

3.8 Розрахунок загальних витрат виконання даної роботи всіма виконавцями

Загальна вартість даної роботи визначається за  $B_{\text{заг}}$  формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha} \quad (3.11)$$

де  $\alpha$  – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях. Для нашого випадку  $\alpha = 0,95$ .

Тоді

$$B_{\text{заг}}=3403554,83 / 0,95=3582689,36 \text{ (грн.)}$$

передбачає прогнозування загальних витрат на розробку та впровадження результатів виконаної роботи. Прогнозування загальних витрат здійснюється за формулою:

$$ЗВ=B_{\text{заг}}/\beta \quad (3.12)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи. Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то  $\beta \approx 0,1$ ; на стадії технічного проектування, то  $\beta \approx 0,2$ ; на стадії розробки конструкторської документації, то  $\beta \approx 0,3$ ; на стадії розробки технологій, то  $\beta \approx 0,4$ ; на стадії

розробки дослідного зразка, то  $\beta \approx 0,5$ ; на стадії розробки промислового зразка,  $\beta \approx 0,7$ ; на стадії впровадження, то  $\beta \approx 0,8-0,9$ .

Для нашого випадку  $\beta \approx 0,5$ .

Тоді:

$$ЗВ=3582689,36 / 0,9=3980765,89 \text{ (грн.)}$$

Тобто прогнозовані витрати на розробку технологічного процесу і отримання корпусана з використанням методів поверхневої пластичної деформації складають 3 980 тис грн.

### 3.9 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Комерційний ефект розробленого способу суміщеної обробки пояснюється досягненням кращих характеристик обробленої деталі. Це дозволяє реалізовувати нашу розробку на ринку дорожче, ніж аналогічні або подібні за функціями розробки.

Аналіз місткості ринку даної продукції показує, що в даний час в Україні кількість потенційних користувачів подібних способів для зміцнення поверхонь деталей складає щороку приблизно 12600 шт. Реалізуємо наші деталі приблизно на (10...20%) дорожче, тобто за 900 грн. При цьому повинен збільшуватися і попит на нашу розробку.

Припустимо, що наша розробка буде користуватися підвищеним попитом на ринку протягом 4-х років після впровадження. Після цього високою є ймовірність, що іншими фахівцями будуть розроблені ще більш ефективні способи зміцнення поверхневого шару.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 лютого 2021 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2021-го, 2022-го, 2023-го та 2024-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

1-й рік після впровадження (2021 р.) – приблизно 12600 шт.;

2-й рік після впровадження (2022 р.) – приблизно 10000 шт.;

3-й рік після впровадження (2023 р.) – приблизно 9000 шт.;

4-й рік після впровадження (2024 р.) – приблизно 8000 шт.

У 2025 р. ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку  $\Pi_i$ , що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - g/100) \quad (3.13)$$

де  $C_0$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн.; ми домовилися, що  $C_0 = 450$  грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

$C_0$  – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість.  
коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho = 0,2 \dots 0,3$ ; візьмемо  $\rho = 0,25$ ;

$\vartheta$  – ставка податку на прибуток.  $\vartheta = 18\%$ .

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора  $\Pi_1$  протягом першого року від реалізації нашої розробки (2022 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = (900 \cdot 12600) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 1937172,51 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_2 = (900 \cdot 10000) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 1537438,5 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_3 = (900 \cdot 9000) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 1383694,65 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_4 = (900 \cdot 8000) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 1229950,8 \text{ (грн.)}$$

### 3.10 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{\text{абс}}$ . Для цього користуються формулою:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - \text{PV}, \quad (3.14)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків від реалізації результатів розробки, грн.;

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (3.15)$$

де  $\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн.;

$\tau$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої наукової роботи, роки;

$t$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні.

Для України прийmemo, що  $t = 0.10$  (або 10%);

$t$  – період часу (в роках) від моменту отримання прибутків до точки „0”.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від реалізації результатів нашої розробки, складе:

$$ПП = \frac{1937172,51}{(1+0.1)^2} + \frac{1537438,5}{(1+0.1)^3} + \frac{1383694,65}{(1+0.1)^4} + \frac{1229950,8}{(1+0.1)^5} = 4464854,06 \text{ (грн.)}$$

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{\text{абс}} = 4464,854 - 3980,765 = 484,088 \text{ (тис. грн.)}$$

Оскільки  $E_{\text{абс}} > 0$ , то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів нашої розробки може бути доцільним.

Але це ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлене у фінансуванні даного проекту. Він буде зацікавлений це роботи тільки тоді, коли ефективність вкладених інвестицій буде перевищувати певний критичний рівень.

Для цього розрахуємо відносну ефективність  $E_B$  вкладених у розробку коштів. Для цього скористаємося формулою:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + E_{abc}/PV} - 1 \quad (3.16)$$

де  $E_{abc}$  – абсолютна ефективність вкладених інвестицій;

PV – теперішня вартість інвестицій;

$T_{ж}$  – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Для нашого випадку:

$$E_B = \sqrt[3]{1 + 484/3403} - 1 = 0,4565 = 45,65\%$$

У загальному вигляді мінімальна дохідність або мінімальна (бар'ерна) ставка дисконтування  $\tau_{\min}$  визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (3.17)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2020 році в Україні  $d = (0,20...0,27)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05...0,2)$ , але може бути і значно більше. Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\min} = 0,25 + 0,10 = 0,35 \text{ або } \tau_{\min} = 35\%$$

Оскільки величина  $E_B = 45\% > \tau_{\min} = 35\%$ , то інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні нашої розробки.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій розраховується за формулою:

$$T_{ок} = 1/E_B$$

$$T_{ок}=1/0,45=2,19$$

Тобто у інвестора, на нашу думку, може виникнути зацікавленість вкладати гроші в дану розробку, оскільки він може отримати більші доходи, ніж якщо просто покладе свої гроші на депозит у комерційному банку

### 3.11 Висновок

При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розраховано кошторис капітальних витрат на автоматизацію ділянки механічної обробки, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової-дослідної роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності (2,19 роки). За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової-дослідної роботи оскільки вона є економічно виправданою.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз умов праці

На дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній» виникають наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- фізичні: рухомі частини виробничого обладнання; вироби, що переміщуються; підвищений рівень шуму; гострі кромки, заусенці; підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини; недостатня освітленість робочої зони; недостатнє природне освітлення;
- хімічні: загально токсичні ( $\text{CO}_2$  – джерело – міжцеховий автотранспорт; вуглеводні містяться у парах ЗОР); роздратовуючі (пари лугів з ЗОР);
- психологічні: фізичні перенавантаження (при перенесенні деталей до робочого місця); нервово-психічні перенавантаження (викликаються монотонністю праці).

### 4.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

#### 4.2.1 Вимоги до технологічних процесів, обладнання та приміщення

Обладнання повинно бути безпечним при монтажу, експлуатації і ремонту як окремо, так і в складі технологічних систем, при зберіганні, повинно бути пожежно-вибухобезпечним і не забруднювати навколишнє середовище вище норм.

Об'єм промислового приміщення на одного працюючого не повинен бути менше  $15 \text{ м}^3$ , а площа –  $4,5 \text{ м}^2$ .

#### 4.2.2 Мікроклімат

Мікроклімат у виробничих приміщеннях визначається наступними параметрами: температура повітря  $t$ , °C; відносною вологістю  $\phi$ , %; швидкістю руху повітря на робочому місці  $v$ , м/с; атмосферним тиском  $p$ , мм.рт.ст.

Метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті 2 м над рівнем підлоги. Людина почуває себе гарно, якщо температура навколишнього повітря  $t = 18...22$  °С; відносна вологість  $\varphi = 40...60\%$ , швидкість руху повітря на робочому місці  $v = 0,1...0,2$  м/с.

Для категорії робіт II б – роботи середньої важкості, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням та перенесенням невеликих вантажів до 10 кг, які вимагають помірних фізичних напруг, параметри мікроклімату наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура $t$ , °С					Відносна вологість, %		Швид. повітря, м/с	
		Оптимальна	На робочих місцях				Оптимальна	Допустима на роб. місці	Оптимальна	Допустима на роб. місці
			Верхня межа		Нижня межа					
			пост.	непост.	пост.	непост.				
Холодний	II б	17...19	21	23	15	13	40...60	75	0,2	>0,4
Теплий		20...22	27	29	16	15	40...60	70(1=25°C)	0,3	0,2...0,5

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь технологічного обладнання не повинно перевищувати 100 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні не більше 25% поверхонь тіла.

Оптимальні параметри мікроклімату підтримувати економічно недоцільно, тому підтримують допустимі параметри.

У механічному цеху, де відсутні шкідливі виділення і необхідно мала кратність повітрообміну, застосовують витяжну загальну обмінну вентиляцію.

#### 4.2.3 Виробниче освітлення

Виробниче освітлення характеризується кількісними та якісними показниками.

Кількісні показники: світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість.

Якісні: фон, контраст об'єкта з фоном, видимість і т. д.

Зорова робота на розробляє мій ділянці відноситься до I групи розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому направленні лінії зору

робітників на робочу поверхню (виробничі приміщення промислових підприємств).

Природне освітлення на ділянці є верхнє з боковим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості – це відношення освітленості зовні.

Таблиця 4.2 – Нормування освітленості

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення	Характер фону	Штучне, лм	Природне, %
						Комб.	Комб.
Високоточне	більше 0,15 до 0,3	2	в	середній	середній	750	2,5

Нормальне значення для КПО:

$$e_H^{IV} = e_H^{III} \cdot t \cdot c, \quad (4.1)$$

де  $e_H^{IV}$  – значення КПО для будівель, що розташовані у II поясї світлового клімату;

$t$  – коефіцієнт світлового клімату, що враховує особливість світлового клімату іншої місцевості;

$c$  – коефіцієнт сонячності клімату.

Для бокового природного освітлення  $e_H^{III} = 10\%$ ; для суміщення освітлення  $e_H^{III} = 6\%$ ;  $t = 0,9$ ;  $c = 0,75$ , для зовнішніх стін азимут  $270^\circ$ .

Отже, мінімальні значення КПО:

- для природного освітлення:  $e_H^{IV} = 3 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 2\%$ ;

- для суміщення освітлення  $e_H^{IV} = 6 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,215\%$ .

Нестачу природної освітленості компенсує штучне. Воно складається з загального освітлення виробничої площі та місцевого освітлення. Місцеве

освітлення реалізується лампами розжарювання; загальне – газорозрядними лампами.

#### 4.2.4 Виробничий шум та вібрації

Шум має великий вплив на працездатність людини. Джерелами шуму на розглядає мій ділянці є працююче обладнання, шум з сусідніх ділянок та шум автотранспорту.

Для постійних робочих місць у виробничих приміщеннях і території підприємства допустимі рівні звукового тиску наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	82	82	78	75	73	71	69	80

Для зниження шуму у виробничих приміщеннях застосовують різні методи: зменшення рівня шуму в джерелі його виникнення; звукопоглинання і звукоізоляція; установка глушників шуму; раціональне розміщення обладнання; застосування засобів індивідуального захисту.

Вібрація виникає при зворотно-поступальних рухах системи, обертання нерівноважених мас, ударів деталей. По дії на людину вібрація поділяється на загальну та локальну. Систематична дія вібрації призводить до різноманітних порушень здоров'я людини.

На ділянці механічної обробки на робітників діє локальна та загальна вібрація, джерелом якої є працююче обладнання. На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях допустимі такі рівні вібрації (табл. 6.4) для категорії вібрації 3 тип «а» – технологічна вібрація, що діє на операторів стаціонарних машин та обладнання, чи передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні вібрації

Вид вібрації	Категорії вібрації по СН	Напрявленн дії	Нормативне корегування по частоті і еквівалентне корегування значення			
			Вібро-приско-рення	Рівень віброприс-корення	Вібро-швидкість	Рівень вібро-швидкості
			м с <sup>-1</sup>	дБ	м с <sup>-1</sup> 10 <sup>-2</sup>	дБ
загальна	3 типа «а»	z0, y0, x0	0.1	100	0,2	92

Санітарні норми одночисельних показників вібраційного навантаження на оператора для тривалості зміни 8 год. також наведені в таблиці 6.4.

Технічні заходи захисту від вібрацій полягають у зниженні вібрації в джерелі її виникнення та зменшенні вібрації на шляхах її поширення від джерела.

Зменшення вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом застосування таких кінематичних та технологічних схем, які усувають чи мінімально знижують дію динамічних сил. Так, вібрація послаблюється при заміні кулачкових та кривошипних механізмів на механізми, що обертаються з рівномірною швидкістю, механічних приводів – на гідравлічні та ін. Зменшення вібрації досягається також статичним та динамічним зрівноважуванням механізмів та об'єктів, що обертаються.

Контакту працівника з віброоб'єктом, а відтак і шкідливої дії вібрації можна уникнути шляхом використання дистанційного керування, автоматичного контролю та сигналізації, а також застосування захисного огороження. Якщо цього досягти неможливо, то необхідно при контакті працівника з віброоб'єктом домогтися зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела змушувальної сили. Цього можна досягти за допомогою вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляції.

## 4.2 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

### 4.2.2 Техніка безпеки

Для забезпечення безпеки повинні встановлюватися пристрої, що виключають можливість проникнення робітника в небезпечну зону; захисні екрани для верстатів; переносні огорожі; блокуючі пристрої; пристрої сигналізації у верстатах; застосовуватись особливі конструкції кнопок керування, що роблять неможливим попадання робітника у небезпечну зону.

Робітники дільниці при обробці різанням повинні мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, взуття.

### 4.2.1 Електробезпека

Дільниця по небезпеці ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки на цій дільниці існують струмопровідні поли і можливість одночасного дотику людини до механізмів, що мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів з іншого. Безпека при експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується засобами захисту.

В якості захисного засобу на дільниці використовується занулення для трьохфазної чотирьох провідної мережі із заземленою нейтраллю. Занулення в електроустановках не знаходиться під напругою до 1000 В – спеціальне заземлення частин, які нормально не знаходяться під напругою, з глухо-заземленою нейтраллю генератора або трансформатора в мережах трьохфазного струму.

Занулення перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання між фазним і нульовим проводами з метою утворення більшого струму, здатного забезпечити спрацювання захисту і відключення установки від мережі.

Другим основним засобом електробезпеки є захисне заземлення всіх струмопровідних корпусів обладнання на дільниці.

Захисна дія заземлення ґрунтується на зменшенні напруги дотику між корпусом обладнання і землею. При замиканні будь-якої фази на струмопровідний корпус через провідник заземлення фаза замикається на землю. Це є однофазне коротке замикання, від струму якого спрацює захисне обладнання, яке відключає дану установку від електромережі.

На ділянці виконане природне заземлення – всі струмопровідні корпуси установок та механізмів заземлені на підземні трубопроводи.

Крім того, на ділянці використовують різні електрозахистні засоби: діелектричні рукавиці, гумові килими, ізолюючі підставки, показники напруги. В різних місцях встановлені різні попереджувальні плакати: дозволяючи, остерігаючи та нагадуючи.

#### 4.4 Пожежна безпека

В якості робочої рідини використовується мінеральне мастило. Температура спалаху у нього більше 61 °С тому дане виробництво слід віднести до категорії «В». В відповідності з ДБН В.2.1.1-2002 приміщення має ступінь вогнестійкості – II, допустиме значення поверхів – фактично 1, площа поверху не обмежується. Межі вогнестійкості будівлі II ступеня стійкості:

Стіни	межа вогнестійкості
Несучі і сходові клітки	2
Самонесучі	1
Зовнішні не несучі	0,25
Колони	2
Сходові площадки, ступені, балки	1
Плити, настили і інші перекриття	0,25
Елементи покриття:	
Плити, настили, прогони	0,25
Балки, ферми, арки	0,25

Для забезпечення гасіння пожежі в початковому стані його джерело треба встановити найшвидше, тому встановлюємо внутрішній пожежний кран.

З метою забезпечення пожежобезпеки слід контролювати установку по допускній температурі, так як в ній використовується мінеральне мастило, а також не допускати перегріву електродвигунів.

В приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій повинна бути не менша 2,2 м. Висота від підлоги до низу виступаючих частин конструкцій і обладнання у місцях регулярного проходження людей і на шляхах евакуації – не менше 2 м.

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення згідно ДБН В.2.1.1-2002 не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері – 1 м, через розсувні ворота – 2,5 м. Кількість людей на 1 метр складає близько 10 чоловік. Згідно ДБН В.2.1.1-2002 кількість до 120 чоловік. В механічному цеху знаходиться пожежний щит з вогнегасником, сокирою, лопатою, відром, біля щита ящик з піском.

#### 4.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Визначення області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих та електромагнітних випромінювань.

##### 4.5.1 Дія іонізуючих та електромагнітних випромінювань на електронні пристрої та системи

Радіоелектронна апаратура, що знаходиться в зоні дії іонізуючих випромінювань, може істотно змінювати свої параметри і виходити з ладу.

Ці пошкодження відбуваються в результаті зміни фізичних і хімічних властивостей радіотехнічних (напівпровідникових, ізоляційних, металевих і ін.) матеріалів, параметрів приладів і елементів електронної техніки, виробів електротехніки і радіоелектронних схемних пристроїв.

Здатність виробів виконувати свої функції і зберігати характеристики і параметри в межах встановлених норм під час і після дії іонізуючих випромінювань називають радіаційною стійкістю.

Ступінь радіаційних пошкоджень в опромінюваній системі залежить як від кількості енергії, що передається при опроміненні, так і від швидкості передачі цієї енергії. Кількість поглиненої енергії і швидкість передачі її у свою чергу залежать від виду і параметрів випромінювання і ядерно-фізичних характеристик речовин, з яких виготовлений опромінюваний об'єкт.

Зміна властивостей речовин, що виникають в результаті взаємодії з іонізуючими випромінювань, ґрунтується на утворення різних дефектів в матеріалі. Радіаційні зміни в матеріалах бувають наступних типів: вакансії (вакантні вузли), атоми домішок (домішкові атоми), зіткнення при заміщеннях, термічні (теплові) піки, піки зсуву, іонізаційні ефекти.

Суттєвий вплив на роботу електронних систем та обладнання має електромагнітне випромінювання. До основних його джерел можна прирахувати перш за все електромагнітну та атомну зброю, а також електротранспорт (трамваї, тролейбуси, поїзди і т.д.), лінії електропередач (міського освітлення, високовольтні і т.д.), електропроводку (усередині будівель, телекомунікації і т.д.), побутові електроприлади, теле- і радіостанції (трансляючі антени), супутниковий і стільниковий зв'язок (трансляючі антени), персональні комп'ютери і т. д.

Для зниження інтенсивності впливу цих випромінювань на різні системи можна вжити інженерно-технічні захисні заходи, що будуються на використанні явища екранування електромагнітних полів безпосередньо в місцях розташування обладнання або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Цей вид випромінювання має високу проникну здатність. Для захисту обладнання, що розташоване в відкритих приміщеннях здійснюється екранування оглядових вікон, вікон приміщень, перегородок застосовується металізованим склом, що володіє екрануючими властивостями. Така властивість скла додає тонка прозора плівка з оксидів металів, частіше за все олово, або

металів – мідь, нікель, срібло і їх поєднання. Плівка володіє достатньою оптичною прозорістю і хімічною стійкістю. Будучи нанесеною на одну сторону поверхні скла вона ослабляє інтенсивність випромінювання в діапазоні 0,8-150 см на 30 Дб (у 1000 разів). При нанесенні плівки на обидві поверхні скла ослаблення досягає 40 дб (у 10000 разів). Для захисту обладнання від дії електромагнітних випромінювань в будівельних конструкціях, як захисні екрани можуть застосовуватися металева сітка, металевий лист або будь-яке інше провідне покриття, у тому числі і спеціально розроблені будівельні матеріали. У ряді випадків достатньо використання заземленої металевої сітки, що поміщається під облицювальний або штукатурний шар. Як екрани можуть застосовуватися також різні плівкові і тканинні ізоляції з металізованим покриттям. Останніми роками як екрануючі матеріали широко використовуються металізовані тканини на основі синтетичних волокон. Їх отримують методом хімічної металізації (з розчинів) тканин різної структури і щільності. Існуючі методи отримання дозволяють регулювати кількість металу, що наноситься, в діапазоні від сотих долей до одиниць мкм і змінювати поверхневий питомий опір тканин від десятків до долей Ом.

4.5.2 Визначення області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що визначатиме працездатність системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань приймається максимальне значення потужності дози в умовах експлуатації, яка може зумовити виникнення зміни параметрів елементів системи не порушуючи її працездатність в цілому.

Аналіз структурної та електричної схем системи ЧПК показує, що елементами без яких неможливе її нормальне функціонування є: інтегральні схеми, конденсатори, мікросхеми, випрямлячі, магнітні матеріали, транзистори, діоди, резистивні елементи, діелектричні матеріали, індуктивні елементи та напівпровідники.

Довідникові дані про граничні значення доз іонізуючого випромінювання для системи ЧПК наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Визначення граничної дози іонізуючих випромінювань для елементів системи ЧПК

Елементи і матеріали системи ЧПК	Гранична доза гамма-випромінювання для елементів системи ЧПК, $D_{гр.i}$ , Р	Гранична доза гамма-випромінювання для системи ЧПК, $D_{гр}$ , Р
Індуктивні матеріали	$10^6$	10 <sup>4</sup>
Інтегральні схеми	$10^4$	
Конденсатори	$10^7 \dots 10^9$	
Резистивні елементи	$10^7 \dots 10^9$	
Діелектричні матеріали	$10^{10}$	
Транзистори, діоди	$10^4$	
Мікросхеми	$10^9$	
Випрямлячі	$10^6$	
Магнітні матеріали	$10^{10}$	
Напівпровідники	$10^5 \dots 10^6$	

За довідниковими даними граничне значення дози гамма-випромінювання для системи ЧПК складає  $D_{гр}=10^4$  Р.

Граничне значення потужності дози іонізуючого випромінювання можна визначити за формулою

$$P_{сп.мин} = \frac{D_{гр} \cdot K_{нос}}{2(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})} = \frac{10^4 \cdot 5}{2(\sqrt{87601} - \sqrt{1})} = 167,5 \text{ (Р/год)},$$

де  $t_n=1$ ,  $t_k=10$  років= $87601$  год – відповідно, час початку і кінця роботи системи ЧПК, що визначається її експлуатаційним терміном;

$K_{нос} = 5$  – коефіцієнт послаблення радіації.

Отже, можна зробити висновки про те, що область працездатності системи ЧПК в умовах дії іонізуючих випромінювань визначена потужністю експозиційної дози іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 167,5 Р/год.

Проведені для системи ЧПК верстатного обладнання розрахунки показали, що в умовах дії іонізуючих областей її працездатності визначена потужністю дози іонізуючих випромінювань в межах від 0 до 167,5 Р/год і вертикальною складовою напруженості електричного поля в межах від 0 до 0,3 В/м.

#### 4.6 Висновки

В розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці на дільниці механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній», розглянуті організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи, виконано розрахунок достатності природного освітлення, а також визначено області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань.

## ВИСНОВКИ

В роботі виконано чисельне моделювання процесу деформування поверхневого шару матеріалу деталей при обкочуванні кулькою з використанням МСЕ, в результаті якого встановлено напружено-деформований стан матеріалу в залежності від параметрів обкочування.

Визначено компоненти тензора напружень для осесиметричної задачі вдавлювання кульки в пластичний півпростір методом ліній ковзання та МКЕ.

Визначені компоненти тензорів напружень для вдавлювання кульок трьох різних діаметрів в деталі з плоскою та криволінійною поверхнею

В результаті проектування технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Кронштейн передній», виконано:

- зроблений аналіз конструкції та технологічності деталі;
- визначено тип виробництва і форму організації на ній;
- з двох альтернативних запропонованих варіантів на базі техніко–економічного порівняння визначено спосіб виготовлення заготовки;
- виконано аналітичний огляд відомих та типових маршрутів обробки подібних до заданої деталі;
- визначено способи та кількість етапів обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності;
- обґрунтовано вибрані технологічні бази деталі;
- запропоновано маршрут механічної обробки;
- виконано розмірний аналіз технологічного припуску;
- аналітично визначено припуски та технологічні розміри на одну з найбільш точних поверхонь – циліндричну поверхню  $\varnothing 15H7$ ;
- аналітичним способом визначені режими обробки;
- спроектована ділянка механічної обробки, для чого розрахована приведена програма, визначено верстатів та їх коефіцієнти завантаження, розрахована кількість працюючих;

– розроблена графічна частина, до складу якої увійшли креслення деталі та заготовки, плакати з технологічним маршрутом та розмірним аналізом процесу

При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено комерційний потенціал дослідження та розраховано кошторис капітальних витрат на автоматизацію ділянки механічної обробки, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової-дослідної роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності (2,19 роки). За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової-дослідної роботи оскільки вона є економічно виправданою.

В розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проаналізовано умови праці на ділянці механічної обробки заготовки деталі типу «Кронштейн передній», розглянуті організаційно-технічні рішення з гігієни праці, виробничої санітарії, забезпечення безпечної роботи, виконано розрахунок достатності природного освітлення, а також визначено області працездатності системи ЧПК верстатного обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Огородников В.А., Киселёв В.Б., Сивак И.О. Энергия. Деформации. Разрушение. – Винница: УНІВЕРСУМ. Вінниця, 2005. – 204 с.
2. Дель Г.Д. Технологическая механика./ Г.Д. Дель. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.
3. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение. 1978, 152 с.
4. Смирнов-Аляев Г.А., Розенберг В.М. Технологические задачи теории пластичности. – Лениздат, 1951. – 265 с.
5. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением/ В.А. Огородников. – Киев: Вища школа, 1983. - 175 с.
6. Дрозд М.С., Матлин М.М., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. М.: Машиностроение, 1986, 224с.
7. Колмогоров В.Л. Напряжение, деформации, разрушение. / Колмогоров В.Л. - М.: Металлургия, 1970. - 230 с. с ил.
8. Сивак И.О. Поверхность предельной пластичности // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематичн. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2003. – С. 272 – 274.
9. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение. 1978, 152 с.
10. Мартыненко О.В. Особенности выбора геометрических параметров деформирующих роликов при поверхностном пластическом деформировании. / О.В. Мартыненко // Инновационные технологии в обучении и производстве: Материалы 3 Всероссийской конференции г. Камышин, 2005. : В 3 т. – Волгоград, 2005. Том 2 – 231с. с ил. – С.23-24.
11. Отений Я.Н. Зависимость глубины упрочнения от параметров деформирующего ролика и диаметра детали./ Я.Н. Отений, Н.В. Ольштынский, С.Н. Ольштынский// Инновационные технологии в обучении и производстве:

Материалы 3 Всероссийской конференции г. Камышин, 2005: В 3 т. – Волгоград, 2005. Том 2 – 231с. с ил. – С.40-44.

12. Коцюбівська К.І. , Буренніков Ю.А., Сивак І.О. Напружено-деформований стан та деформуємість заготовок при поперечному видавлюванні з протитиском // збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 4. – 2010. – С.55-58

13. Сивак І.О., Ярошенко Т.В., Зміцнення поверхневого шару металу у разі вдавлювання кульки // Вісник ВПШ. – №4(91).– 2010. – С.54-58.

14. . Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989.

15. . Оптимизация и управление процессом резания: / О.С. Кроль, Г.Л. Хмелов-ский. – К.: УМК ВО, 1991. – 140с.

16. . Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справ./ Под ред. Н.В. Новикова. - К.:Техніка.1988.-108с.

17. . Зантур Сахби, Богуславский В.А., Ивченко Т.Г. Оптимизация режимов резания при точении труднообрабатываемых материалов с учетом температурных ограничений // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2010. Вып. 39. – С.77-84.

18. Т.Г.Ивченко, Е.Е. Шальская. Повышение эффективности применения сверхтвердых инструментальных материалов за счет оптимизации режимов резания. Известия ТТИ ЮФУ – ДонНТУ. Материалы одиннадцатого научно-практического семинара “Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы”: - Таганрог: ТТИ ЮФУ. Кн.3. 2010.№ 10. – С. 158-163.

19. Ивченко Т.Г., Шальская Е.Е. Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2010. Вып. 39. – С.91-97.

20. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090203 „металорізальні верстати та системи” / І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Китичок і ін. – Житомир:ЖІТІ, 2001 – 516 с.
21. Браславский В. М. Технологія обкатування великих деталей роликками. М., «Машинобудування», 1975. 159 с. з іл.
22. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием, - М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
23. Алиев И.С., Сивак Р.И. Оценка пластичности при поверхностной пластической деформации// Известия ТулГУ. Сер «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». – Тула: ТулГУ. – 2004. – С. 150-156
24. Сухоруков С. И. Влияние параметров разбиения конечно-элементной модели на точность результатов моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки / С. И. Сухорков, И. О. Сивак, Е. И. Коцюбовская // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. - №3 (32). – С. 35 – 39. ISSN 2076 – 2151.
25. Смелянский Вадим Михайлович. Механіка упрочнення деталей поверхневим пластическим деформированием: монографія / В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с. – ISBN 5-217-03065-8.
26. Сердюк О. В. Моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при обкатке цилиндрическим роликом // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3 (32).
27. Огородников В. А. Напружений стан на кінцевій стадії видавлювання різевих канавок на внутрішній поверхні / В.А. Огородников, В. Г. Нагайчук, М. В. Любін // Вісник вінницького політехнічного інституту, 1996. - №4. – С. 53-55.
28. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні. Методика і особливості виконання курсової роботи:

навчальний посібник / В.В.Кавецький, В.О.Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2013.-100 с.

29. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «САПР технологічної підготовки машинобудівного виробництва» / Укладачі: О. В. Петров, Л. Г. Козлов, Д. О. Лозінський. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 60с.

30. Дусанюк Ж.П. Посібник до практичних занять з дисципліни "Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні"/ Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк, С.В Репінський, О.В. Сердюк – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 142 с.

31. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85. — [Чинний від 1987-07-01]. — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 53 с.

32. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навчальний посібник / [Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.

33. Руденко П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Плещак, - Киев «Выща школа». 1999.–247 с.

34. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / [Бабук В. В., Шкред В. А., Кривко Г. П., Медведев А. И. ] ; Под ред. В. В. Бабука. Минск : Вышэйшая школа, 1987.— 255 с.

35. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П, Пурдик В. П. — Вінниця, 2012. — 122 с.

36. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Изд. 3-е переработ. Том 2. [Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова]. М., «Машиностроение», 1985.— 496с.

37. “Общестроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым управлением”, часть 2, Москва 1990.
38. “Режимы резания металлов”, справочник, под. ред. Ю.В.Барановского, Москва 1972.
39. “Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство”, Москва 1984.
40. “Общестроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым управлением”, часть 1, Москва 1990.
41. Руденко П. А. Проектирование технологических процессов в машиностроении / П. А. Руденко — К. : Вища школа, 1985. — 255 с.
42. Антонюк В.Е. Конструктору станочных приспособлений: Справ. Пособие— Мн: Беларусь, 1991
43. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. – М.: Машиностроения, 1971.
44. Вардашкин Б.Н. Станочные приспособления: Справочник в 2-х томах. Т1/ Б.Н. Вардашкин, А.А.Шатилов. М.: Машиностроение, 1984. — 592с.
45. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. М.: Машиностроение, 1983. – 276с.
46. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Изд. 3-е переработ. Том 1. [Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова]. М., «Машиностроение», 1972.— 694с.
47. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами - магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / В.О.Козловський - Вінниця: ВНТУ, 2012.- 22 с.

48. Закон України «Про оплату праці» від 24.03.1995, № 108/95-ВР. [сайт]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/108/95-Вр>. Назва з екрану.

49. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті /Уклад. Г. Л. Лисенко, А. Г. Буда, Р. Р. Обертюх, - Вінниця: ВНТУ, 2006. - 60 с.

50. Терещенко О. П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях” в дипломних проектах і магістерських роботах студентів машинобудівельних спеціальностей. / О.П. Терещенко, О.В. Кобилянський – Вінниця: ВНТУ, 2014.- 45 с.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Додатки

Додаток А

Технічне завдання

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Міністерство освіти і науки України  
 Вінницький національний технічний університет  
 Факультет машинобудування та транспорту  
 Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 зав. кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Л.Г.Козлов

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу  
 «Кронштейн передній»  
 08-26.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., проф. каф. ТАМ

Буренніков Ю.А. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Виконавець: студент 2 курсу, групи 1ПМ-19м  
 спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Бажак Д.С. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### 1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи

а) потреба в зниженні собівартості виконання операцій механічної обробки заготовки деталі «Кронштейн передній» за рахунок використання сучасного варіанту виготовлення заготовки та металорізального обладнання, інструменту, оснащення, оптимізації режимів обробки;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

### 2. Мета і призначення МКР

а) модернізація технологічного процесу механічної обробки для зниження технологічної собівартості завдяки застосуванню сучасних технологій і нових методів обробки заготовок;

б) розробка призначена для застосування на машинобудівних підприємствах України.

### 3. Вихідні дані для виконання МКР

Робоче креслення деталі «Кронштейн передній».

Необхідність розгляду альтернативних варіантів ріжучого інструменту та режимів обробки та вибір найбільш оптимального.

### 4. Вимоги до виконання МКР

МКР повинно використовувати математичні моделі, схеми та рішення, адекватність яких підтверджена попередніми дослідженнями, обґрунтованими висновками, експериментальними даними.

### 5. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Основні теоретичні та практичні дослідження проведені попередниками	1.10	15.10	Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Методика теоретичних (експерименталь-них) досліджень об'єкту вивчення	15.10	20.11	Об'єкт дослідження, розділ 2
3	Математичне моделювання та аналіз результатів дослідження	15.10	30.11	розділ 3, публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	1.11	25.11	розділ 4, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	1.11	25.11	розділ 5
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	1.10	27.11	пояснювальна записка

#### 6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив рецензента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

#### 7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів науково-дослідницької частини МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Представлення МКР на захист відбувається після проходження попереднього захисту на засіданні кафедральної комісії та її позитивного висновку. Готова робота, з усіма необхідними компонентами і підписами подається на кафедри за два дні до захисту. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

#### 8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті» з урахуванням змін, що подані у бюлетені ВАК України № 9-10, 2011р. та на основі ДСТУ 3008:2015.

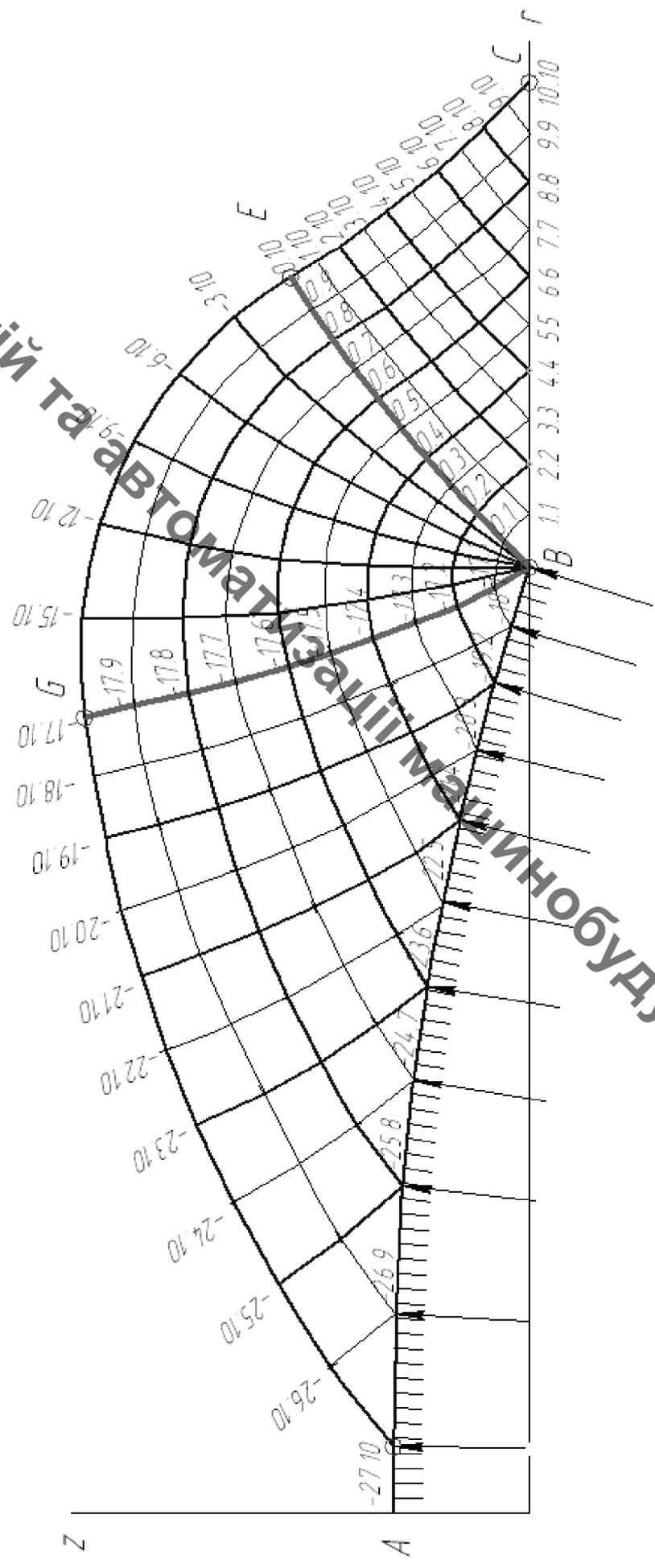
#### 9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

Додаток Б

Графічна частина

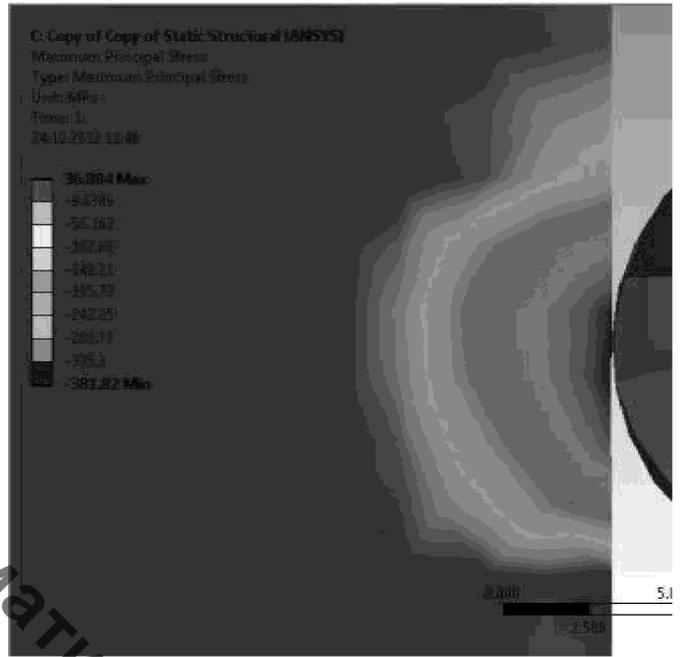
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування



Побудовані лінії ковзання для вдавлювання кульки  
Якщо будувати лінії ковзання

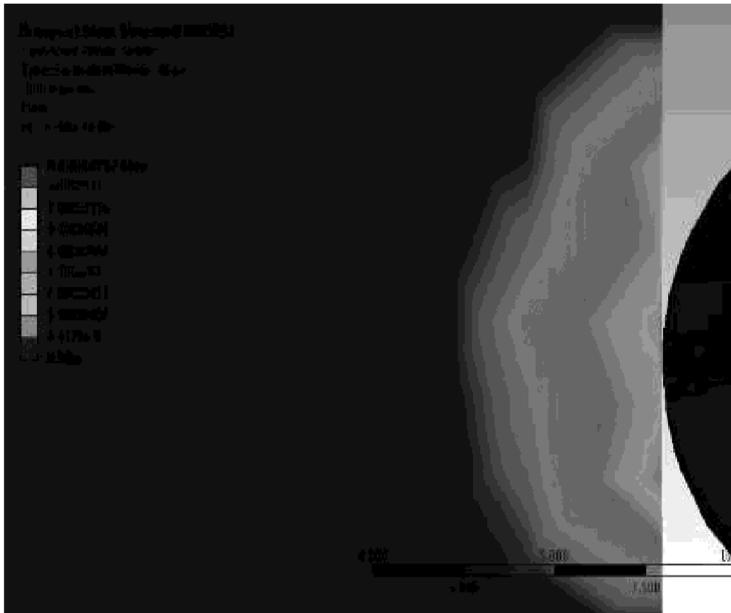


Інтенсивність деформацій  $\epsilon_u$

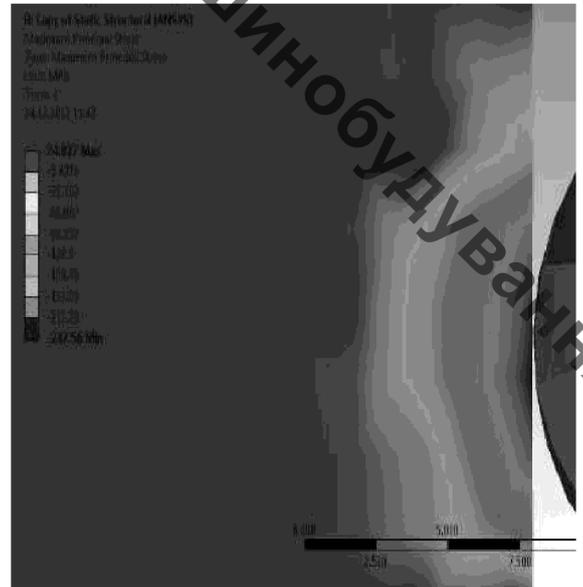


Головне напруження  $\sigma_1$

Рисунок 5- Результати розрахунку напружень для ролика з:  $R_{11} = 27\text{мм}$ ,  $R_{21} = 7\text{мм}$ ,  $R_{12} = 25\text{мм}$  для глибин вдавлювання  $h = 0,042\text{мм}$  МКЕ

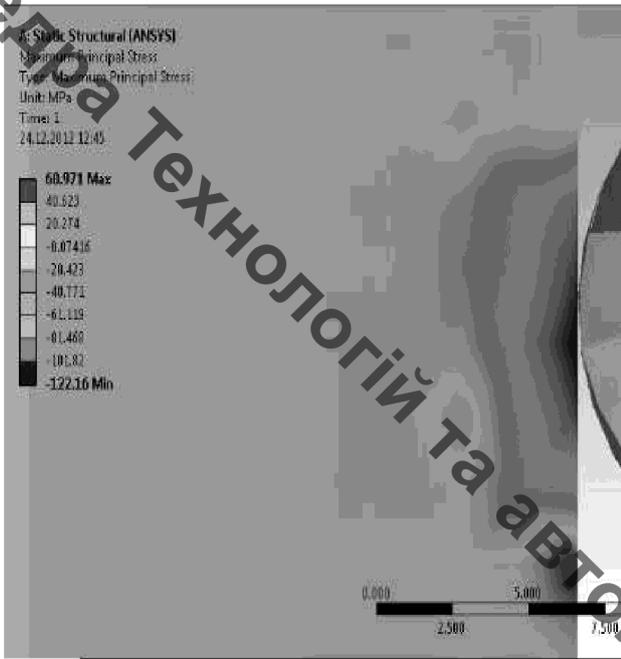


Інтенсивність деформацій

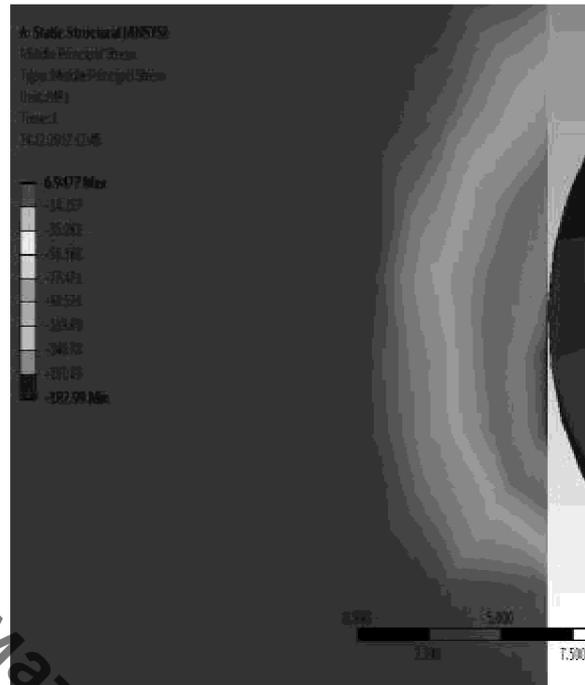


Головне напруження  $\sigma_1$

Результати розрахунку напружень для ролика з:  $R_{11} = 27\text{мм}$ ,  $R_{21} = 7\text{мм}$ ,  $R_{12} = 25\text{мм}$  для глибин вдавлювання  $h = 0,028\text{мм}$  МКЕ



Інтенсивність деформацій

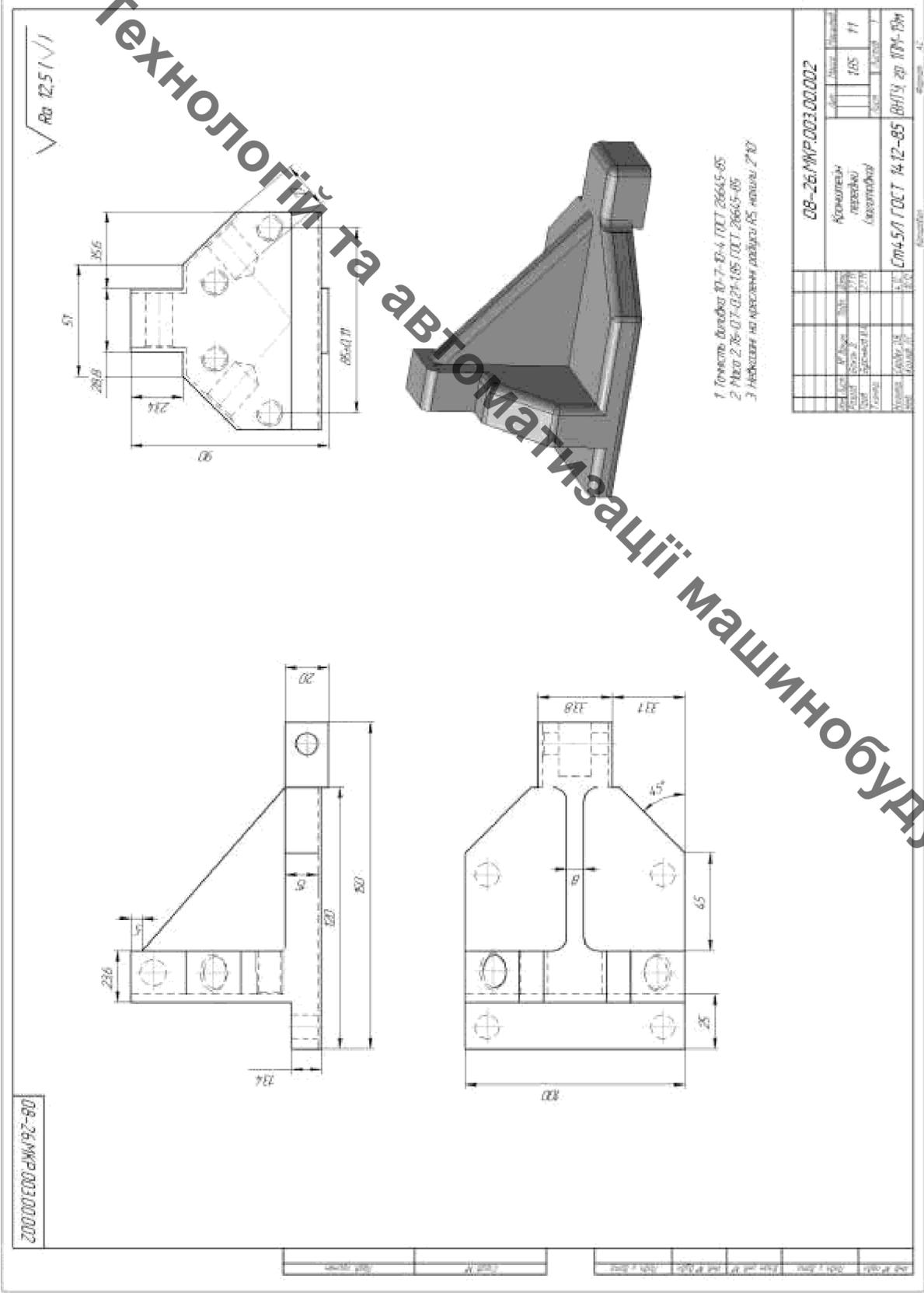
Головне напруження  $\sigma_1$ 

Результати розрахунку напружень для ролика з:  $R_{11} = 27\text{мм}$ ,  $R_{21} = 7\text{мм}$ ,  $R_{12} = 25\text{мм}$  для глибин вдавлювання  $h = 0,014\text{мм}$  МКЕ



# Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

141



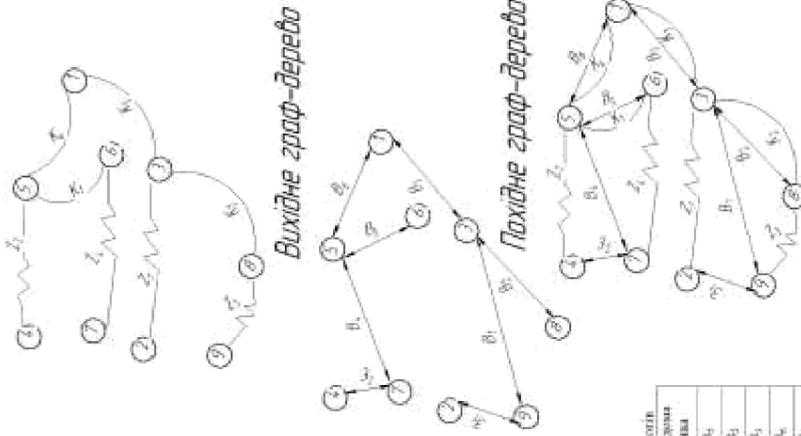
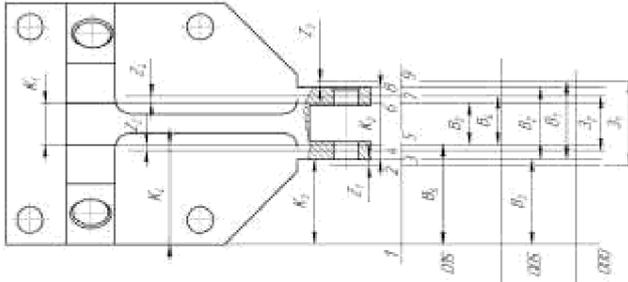
08-26.MKP.003.00.002

08-26.MKP.003.00.002	
Контрагент	Контрагент
Матеріал	Матеріал
Класифікація	Класифікація
Стандарт	Стандарт
Сторона	Сторона
Вид	Вид
Масштаб	Масштаб
Дата	Дата
Лист	Лист
Всього	Всього
105	11
08	1
08-26.MKP.003.00.002	ВНТУ, зр. ПМ-154

1. Товариство "Вінницький машинобудівний завод" (ВМЗ) - м. Вінниця, вул. Соборна, 10-7-81-4. ТОВТ 28645-85.
2. Матриця 2.78-07.0.04-105 ТОВТ 28645-85.
3. Невказані накреслення радіуси R5 виконає 2740.



Розмірний аналіз технологічного процесу



Таблиця 1 – Рівняння розрахунку розмірів технологічних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Висхідні рішення	Нижня межа цінна
1	$B_2 - K_1 = 0$	$B_2 = K_1$	$B_2$
2	$B_3 - K_2 = 0$	$B_3 = K_2$	$B_3$
3	$B_4 - K_3 = 0$	$B_4 = K_3$	$B_4$
4	$B_5 - K_4 = 0$	$B_5 = K_4$	$B_5$
5	$B_6 - Z_1 - B_1 = 0$	$Z_1 = B_1 - B_6$	$B_1$
6	$B_7 - Z_2 - B_2 = 0$	$Z_2 = B_2 - B_7$	$B_2$
7	$B_8 + Z_3 - B_3 = 0$	$Z_3 = B_8 - B_3$	$B_3$
8	$B_9 + Z_4 - B_4 = 0$	$Z_4 = B_9 - B_4$	$B_4$

Таблиця 2 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допусків

Позначення	Технологічний розмір	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному ланцюжку	Значення розміру вресла послідовної заготовки
$Z_1$	31,85	0,52	31,85	31,87 ± 0,02
$Z_2$	26,9	0,52	26,9	26,97 ± 0,02
$B_1$	30,73	0,13	30,73	30,75 ± 0,1
$B_2$	30	0,052	30	30 ± 0,05
$B_3$	25,31	0,62	35	35 ± 0,1
$B_4$	25,652	0,13	125,65	25,657 ± 0,1
$B_5$	25	0,042	25	25 ± 0,04
$B_6$	37,19	0,62	37,5	37,5 ± 0,1

Таблиця 3 – Припуски на механічну обробку

Припуски	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_{max}$
$Z_{min}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$Z_{max}$	1,25	0,782	1,248	0,782	



# Елементи ділянки механічної обробки

Таблиця 1 - Розрахунок кількості обладнання.

№оп	Назва операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження по основному часомі
005	Фрезерня з ЧПК	0,88	1	1	0,88	65,12	0,768
-10-015							
020	Свердильня з ЧПК	0,42	1	1	0,42		0,739

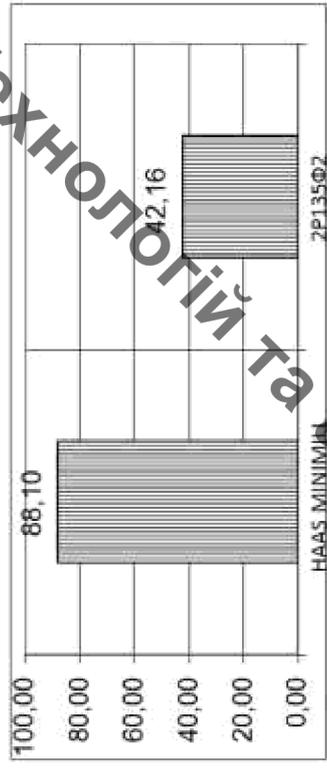


Рисунок 1 – Графік завантаження обладнання

Таблиця 2 – Кількість робітників –верстатників

Назва верстатів	Прийнята кількість верстатів, C <sub>пр</sub>	Ф <sub>в</sub> , год	K <sub>в</sub>	K <sub>с</sub>	K <sub>в</sub>	P <sub>пр</sub> , чол	P <sub>с</sub> , чол
Фрезерний з ЧПК	1		0,88	1	1,86	2	
Свердильня з ЧПК	1	18,40	0,42	1	0,83	1	

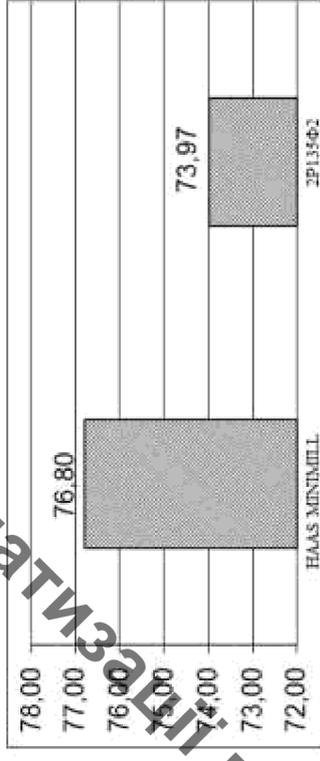


Рисунок 2 – Графік використання обладнання за основним часом

Таблиця 3 – Відомість складу працюючих ділянки

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники	20...25%	1
Допоміжні робітники	15...21%	1
СКП	2...3%	1
МОП	2%	1

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

# Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

