

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  
ДЕТАЛІ «СОПЛО 14.26.1»  
08-26.МКР.002.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи 2ПМ-18м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Бернацький В. В. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТАМ  
Сухоруков С. І. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рецензент:

\_\_\_\_\_ 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.

«04» жовтня 2019 р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бернацькому В'ячеславу Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР): Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Сопло 14.26.1»

керівник МКР Сухоруков Сергій Іванович к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «2» жовтня 2019 року №254.

2. Строк подання студентом МКР: 16 грудня 2019

3. Вихідні дані до МКР: Креслення деталі Сопло 14.26.1,  
Матеріал: Сталь 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71  
Програма випуску N=2500 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Огляд відомих літературних джерел та аналіз і шляхи вирішення технічної проблеми; Технологічна частина; Економіка виробництва; Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
Креслення деталі, креслення заготовки, технологічний процес механічної обробки, розмірний аналіз, карта налагоджень, ділянка механічної обробки, техніко-економічне порівняння ТП,

## 6. Консультанти розділів МКР

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видано	завдання виконано
Спеціальна частина	Сухоруков С.І., доцент кафедри ТАМ		
Економічна частина	Кавецький В.В., ст. викл. кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Віштак І.В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання «04» жовтня 2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент \_\_\_\_\_

Бернацький В. В.

Керівник МКР \_\_\_\_\_

Сухоруков С. І.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ABSTRACT.....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Вибір методів підвищення точності обробки .....	8
1.2 Аналіз точності обробки на верстатах з ЧПК .....	14
1.3 Висновок до 1 розділу .....	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	18
2.1 Визначення типу виробництва та форми виробництва.....	18
2.2 Аналіз конструкції та технологічності деталі .....	24
2.3 Вибір способу виготовлення заготовки .....	28
2.4 Розробка маршруту механічної обробки.....	36
2.5 Розмірний аналіз технологічного процесу.....	46
2.6 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 10H7$ .....	53
2.7 Визначення режимів різання при різних методах механічної обробки	58
2.8 Визначення технічних норм часу для всіх операцій.....	63
2.9 Розрахунок елементів ділянки механічної обробки.....	65
2.10 Висновок до 2 розділу .....	74
3 Економічна частина.....	75
3.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	75
3.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення.....	78
3.3 Вибір каналів збуту та після продажного обслуговування.....	78
3.4 Виявлення основних конкурентів .....	78
3.5 Обрання методу ціноутворення .....	79
3.6 Оцінка к рівня якості інноваційного рішення.....	80
3.7 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення .....	82
3.8 Прогнозування витрат на виконання роботи .....	83

3.9 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки .....	90
3.10 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності .....	92
3.11 Висновки до розділу 3 .....	95
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	96
4.1 Аналіз умов праці.....	96
4.2 Організаційно технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	98
4.3 Техніка безпеки .....	109
4.4 Пожежна безпека .....	110
4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	111
4.6 Висновок до розділу 4.....	116
ВИСНОВОК.....	117
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	119
ДОДАТКИ.....	121

## АНОТАЦІЯ

Бернацький В. В. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. Кафедра ТАМ, 2019. – 132 с. РПЗ, 5 аркушів формату А1, 1 аркуші формату А2, 1 аркуш формату А3.

Під час опрацювання даної теми було виконано аналіз існуючих літературних джерел, здійснений пошук шляхів вирішення та покращення вже існуючого маршруту механічної обробки і його економічне обґрунтування .

Опрацьовано та визначено тип виробництва, аналіз технологічності деталі та обрано в процесі порівняння метод виготовлення заготовки. Розроблено маршрут механічної обробки, за основу якого був взятий вже відомий типовий технологічний процес. Відповідно до створеного технологічного процесу були дібрані і визначені відповідні режими різання і норми часу. Виконано розрахунок обладнання та необхідних працівників.

Для удосконаленого технологічного процесу було обрано сучасне обладнання та інструмент, що значно дозволить скоротити трудомісткість та час виконуваних робіт, кількість обладнання та робітників, що обслуговують його. Виконано економічний розділ, в якому розрахована економічна ефективність удосконаленого технологічного процесу, комерційний потенціал та термін окупності розробки. Виконано розділ охорони праці та цивільного захисту.

## ABSTRACT

Bernatsky VV Improvement of technological process of mechanical processing of details "Nozzle 14.26.1". Master's qualification work. - Vinnitsa: VNTU. Department of TAM, 2019. - 132 p. RPZ, 5 sheets of A1 format, 1 sheets of A2 format, 1 sheets of A3 format.

During the development of this topic, an analysis of existing literary sources was carried out, a search for ways to solve and improve the existing route of mechanical processing and its economic justification.

The type of production, the analysis of the machinability of the part and the method of manufacturing the workpiece selected in the process of comparison have been worked out and determined. The route of mechanical processing was developed, based on which the well-known typical technological process was taken. In accordance with the established technological process, the appropriate cutting modes and time standards were identified and identified. Calculation of equipment and necessary workers has been performed.

For the advanced technological process, modern equipment and tools were selected, which would significantly reduce the complexity and time of the work to be performed, the number of equipment and the servants serving it. The economic section, in which the economic efficiency of the advanced technological process, the commercial potential and the payback period of the development are calculated, are fulfilled. The section on labor protection and civil protection has been completed.

## ВСТУП

В роботі виконується удосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1» для підвищення точності обробки.

На сьогоднішній день важливе значення надається підвищенню точності механічної обробки деталей в машинобудуванні. Основними шляхами для вирішення даної задачі є удосконалення маршрутів механічної обробки деталей з використанням сучасного обладнання та засобів автоматизації. Сучасний підхід до вибір обладнання, інструменту та режимів різання гарантує отримання високої точності оброблених деталей, що в свою чергу дозволяє виробу бути конкурентоспроможним на ринку збуту. Заплановані виробничі процеси повинні сприяти випуску виробів високої точності при оптимальних наведених витратах.

**Метою роботи** є підвищення точності механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1» за рахунок використання сучасного обладнання та інструменту.

Для досягнення вказаної мети в роботі були поставлені і вирішені такі завдання:

- аналіз сучасних методів обробки поверхонь;
- аналіз конструкції заготовки деталі "Сопло" та методів їх виготовлення;
- модернізація маршруту механічної обробки за рахунок використання сучасного обладнання та інструментів;
- визначення точності виготовлення деталі по переходах за рахунок використання розмірного аналізу;
- оптимізація режимів різання;
- розрахунок кількості обладнання та працівників;
- розрахунок елементів ділянки механічної обробки;
- розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого технологічного процесу;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

**Об'єкт дослідження:** деталь «Сопло 14.26.1».



**Предмет дослідження:** Методи обробки деталі «Сопло 14.26.1».

**Методи дослідження:**

- аналітичний огляд типових маршрутів обробки деталей типу «Сопло»;
- розрахунок припусків за допомогою методу теорії розмірних ланцюгів;
- розрахунок економічної частини та необхідні обчислення виконанні за допомогою САЕ-системи «Mathcad»;

**Наукова новизна одержаних результатів:** набула подальшого розвитку методика вибору методів обробки циліндричних поверхонь.

**Практичне значення одержаних результатів:** полягає в удосконаленні маршруту механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1», визначенні економічної ефективності та доцільності виготовлення на підприємстві.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати досліджень отримані автором самостійно. Мета та завдання досліджень узгоджені з науковим керівником. В працях, що опубліковані у співавторстві автору належать: аналіз сучасних методів механічної обробки деталей.

**Апробація результатів.** Основні матеріали роботи розглядались на Міжнародній науково-технічній конференції “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи – 2019”.

**Публікації.** Матеріали магістерської кваліфікаційної роботи були опубліковані в тезах наукової конференції [1] .

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Вибір методів підвищення точності обробки

Машинобудування відіграє основну роль в прискоренні науково-технічного прогресу, в підвищенні продуктивності праці, в перекладі економіки на інтенсивний шлях розвитку, створює умови, що визначають розвиток багатьох видів виробництва і галузей промисловості.

Важливими завданнями машинобудування є удосконалення технологічних процесів, впровадження автоматизації виробництва і точкової механізації. Необхідно так само використовувати досягнення науки, удосконалювати методи управління персоналом, стежити за нормами охорони праці, відпочинком, організацією харчування персоналу

В даний час в машинобудуванні все частіше сучасні верстати з ЧПК замінюють застарілі універсальні верстати. Даний факт обґрунтовується тим, що такі верстати найбільш ефективні, точні, надійні, економічно вигідні, так як замінюють велику кількість часу людської праці. Заміна верстатів також обумовлена необхідністю поступового переходу більшості підприємств до серійного типу виробництва.

Вибір обладнання з ЧПК залежить від конструктивних особливостей і розмірів деталі, технічних вимог, вимог до точності, шорсткості, розташуванню оброблюваних поверхонь, типу виробництва.

Група устаткування вибирається при призначенні виду обробки поверхні, що забезпечує виконання технічних вимог до неї. Для кожної технологічної операції вказується, на якому верстаті буде виконуватися дана операція. При цьому повинна бути приведена коротка технічна характеристика верстата: його найменування, модель, число шпинделів, ріжучих інструментів в револьверної голівці, роздільна здатність системи числового програмного керування, основні розміри верстата і потужність приводів.

За своєю технічною характеристикою обраний верстат повинен відповідати наступним вимогам: робоча зона (висота центрів, відстань між центрами, розміри столу і т.п.) повинні забезпечувати обробку заготовок із заданими габаритними розмірами; потужність, жорсткість і кінематичні можливості повинні дозволяти вести роботу на оптимальних режимах; продуктивність повинна відповідати заданим обсягом випуску деталей.

Вирішальним фактором при виборі того чи іншого верстата з ЧПУ є економічність процесу обробки. Вибір технологічного обладнання ґрунтується на аналізі витрат, пов'язаних з реалізацією технологічного процесу, а вибір технологічної оснастки (пристроїв, ріжучих інструментів, засобів контролю) визначається в значній мірі типом виробництва і прийнятим верстатним устаткуванням.

Фінішну обробку з високою точністю оброблюваної поверхні в даний час проводять за допомогою фрезерування, точіння і полірування. Однак більшість сучасних матеріалів і сплавів є важкооброблюваними, а в деяких випадках їх обробка за допомогою традиційних технологій практично неможлива.

Однією з найбільш ефективних технологій, що дозволяє виробляти ефективну обробку сучасних матеріалів і сплавів, в тому числі композитних матеріалів, є механічна обробка з використанням лазера. При цьому даний вид обробки характеризується невисокою вартістю.

На сьогоднішній день можливості механічна обробка з використанням лазера застосовуються для обробки різних матеріалів, наприклад, таких як металокераміка, високотемпературні сплави, композити. Під час обробки лазер виробляє інтенсивний локальний нагрів ділянки перед ріжучим інструментом, при цьому розмір зони нагріву і температура в ній регулюються площею плями контакту лазерного променя і його потужністю. Високі температури, що створюються лазером в зоні різання, ведуть до зниження опірності матеріалу механічній обробці, що призводить до збільшення швидкості обробки, поліпшення якості оброблюваної поверхні, практично не впливаючи на структуру оброблюваного матеріалу (зона термічного впливу незначна мала).

Ключем до успіху механічної обробки з використанням лазера є можливість точного контролю температурного поля заготовки під час операції. Це може бути досягнуто двома методами:

Використанням точних термальних моделей при комп'ютерному симулюванні процесу з підбором необхідних параметрів роботи лазера;

Використання інструменту для вимірювання температури заготовки в реальному часі (пірометр).

Сучасні методи комп'ютерного моделювання процесів дозволяють розрахувати точну модель заготовки і симулювати весь процес обробки з високим ступенем достовірності. На даний момент подібний метод успішно використовується для підбору параметрів лазера при процесах обробки композитних матеріалів фрезерним і токарним способами.

Другий метод заснований на постійному вимірюванні температурного фону заготовки за допомогою високоточних пірометрів. Дані, отримані в процесі, аналізуються пристроєм, сполученим з системою ЧПУ верстата. Таким чином, робочі параметри лазерного генератора коригуються безпосередньо в процесі обробки на підставі технологічного алгоритму. Даний метод цілком можна застосувати для українських підприємств завдяки відсутності необхідності в складному комп'ютерному моделюванні - процес контролю нагрівання заготовки повністю автоматизований.

На сьогоднішній день технологія токарної механічної обробки з використанням лазера відпрацьована для трьох типів конструкційної кераміки: нітриду кремнію ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), двоокису цирконію ( $\text{ZrO}_2$ ) і муллита (65% оксиду алюмінію і 35%  $\text{SiO}_2$ ). Для їх механічної обробки використовувалися наступні параметри:

поздовжня подача: 0,1-0,2 мм / об .;

глибина різання: 0,5-1 мм;

швидкість різання 1-2 м / с.

Для нагріву заготовки використовувалися оптоволоконні лазери потужністю 300-600 Вт.

Завдяки нагріванню енергія, що витрачається на 1 мм<sup>2</sup> різку знизилася до 3-6 Дж (при класичних методах обробки витрати енергії становлять 40-100 Дж / мм<sup>2</sup>). Менші витрати механічної енергії також обумовлюють зменшення структурних пошкоджень поверхневого шару після обробки. Також відзначено, що при обробці з використанням лазера стружка має сегментированную структуру.

В результаті проведених після механічної обробки з використанням лазера досліджень було встановлено:

В результаті обробки з застосуванням лазера у досліджуваних зразків було відзначено меншу кількість мікротріщин на обробленій поверхні;

В результаті рентгеноструктурного аналізу встановлено, що залишкові напруги у досліджуваних зразків порівнянні з результатами зразків, оброблених алмазним інструментом;

Також рентгеноструктурний аналіз підтвердив відсутність структурних або фазових змін обробленого матеріалу.

Дані дослідження чітко показують, що термічне вплив на заготовку перед обробкою не спричинило небажаних наслідків.

Окремо слід розглянути вплив нагріву заготовки на знос ріжучого інструменту. При обробці нітриду кремнію методом механічної обробки з використанням лазера використовувалися ельборові (кубічний нітрид бору) різці. Стійкість цих різців склала 40 хвилин безперервної роботи, що може вважатися нормою навіть для обробки нелегованих сталей, і є відмінним результатом при обробці кераміки. Знос інструменту локалізована по задній поверхні, без слідів виразкового зносу. Розрахунок економічної ефективності показав, що завдяки збільшенню продуктивності, зниження витрат інструменту і відсутності необхідності в додаткових операціях (шліфування) механічна обробка з використанням лазера дозволяє знизити виробничі витрати на обробку металокераміки на 60-70%.

На відміну від кераміки, обробка таких сплавів як інконель 718, Ti6Al4V, Waspaloy (Ni-58%, Cr-19%, Co-13%, Mo-4%, Ti-3%, Al-1,4%), загартована сталь,

ущільнений сірий чавун і композити з металевою матрицею (КММ) успішно проводиться металорізальних інструментом без застосування лазера, однак процес обробки цих матеріалів досить дорогий.

Механічна обробка з використанням лазера дозволяє істотно знизити вартість обробки за рахунок зниження необхідного для різання механічного зусилля, збільшення терміну служби ріжучого інструменту і поліпшення якості оброблюваної поверхні.

Розглянемо економічну ефективність механічної обробки з використанням лазера при обробці Ti6Al4V. При класичних методах обробки основними проблемами є низька швидкість обробки (<60 м / хв), і низький ресурс інструменту. Для досягнення максимального ефекту при обробці цього сплаву з використанням лазерного нагріву також використовують постійне кріоохлодження інструменту.

Спільне використання механічної обробки з використанням лазера і кріоохлодження дозволило збільшити швидкість обробки до 150-200 м / хв і домогтися збільшення ресурсу інструменту в 2-3 рази. Мікроструктурний аналіз показав відсутність пошкоджень і змін в обробленій поверхні.

Підвищення точності процесу обробки і продуктивності при збереженні або навіть зниженні трудомісткості досягають різними способами: за рахунок нових технологічних процесів, металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання. Одним з напрямків вирішення цього завдання є контроль розмірів і форми деталей безпосередньо в процесі обробки або відразу після обробки і управління технологічним процесом за результатами цього контролю, забезпечуючи повну автоматизацію виготовлення деталі.

До основних факторів, який впливає на точність механічної обробки заготовок, відносяться:

- неточність і знос устаткування (верстата);
- похибка установки заготовки на верстаті;
- пружні деформації технологічної системи;
- температурні деформації технологічної системи;

- залишкові внутрішні напруження;
- неточність виготовлення, встановлення та знос інструменту.

Взаємозв'язок зазначених факторів і різний ступінь їх впливу при різних методах обробки визначають точність механічної обробки заготовок.

Різні верстати забезпечують різну точність механічної обробки. Неточність верстата копіює оброблювана заготовка. На рис 1.1 представлена залежність деформацій технологічної системи від податливості елементів системи ВПД.

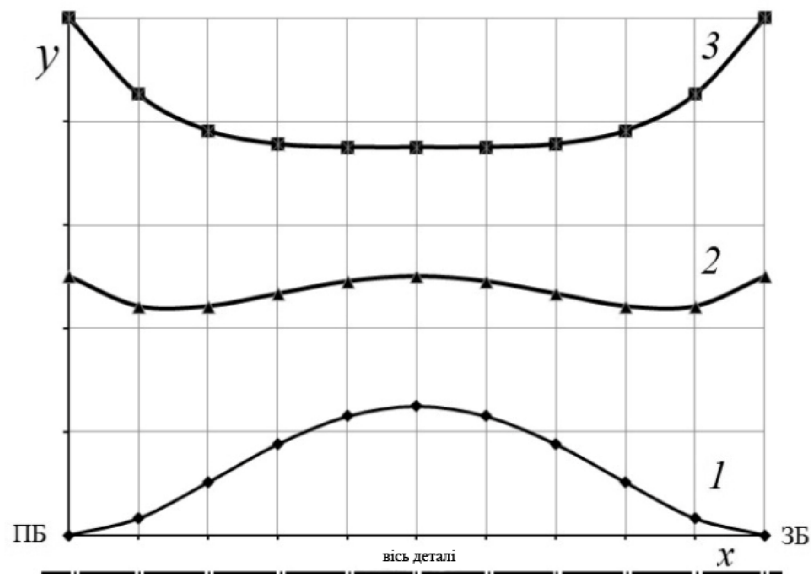


Рисунок 1.1 – Залежність деформацій технологічної системи при різних співвідношеннях податливості елементів верстат та заготовки

Підвищення точності верстатів можна, здійснити за рахунок наступних заходів:

- підвищення точності шпиндельних вузлів, їх жорсткості (зменшення відстані між опорами), застосування більш точних підшипників кочення і підвищення точності посадкових місць, застосування гідростатичних підшипників;

- підвищення точності (рівномірності) переміщень кареток і супортів по напрямних, зменшення зазорів в рухомих з'єднаннях, застосування антифрикційних матеріалів, що направляють кочення з попереднім натягом і гідростатичних напрямних;

- підвищення статичної та динамічної жорсткості корпусних деталей;
- зниження впливу температурних деформацій вузлів і деталей верстата і оброблюваної заготовки;
- введення систем цифрової індикації, що забезпечують точність звіту переміщень різального інструменту;
- застосування різцетримачів і інструментів, що настроюються поза верстата.

Параметри точності обробки, що впливають на експлуатаційні показники роботи виробу, називаються функціональними, так як вони визначають службові функції деталей вузлів, машин, приладів. Наприклад, співвісність розточення основних отворів в корпусі редуктора визначатиме точність зачеплення зубчастих коліс, надійність і довговічність редуктора, коефіцієнт корисної дії, шум у роботі, нагрів, вібрацію і т. д.

## 1.2 Аналіз точності обробки на верстатах з ЧПК

При оцінці точності обробки на верстатах з ЧПК розрізняють економічно обґрунтовану і гранично допустиму точність обробки. Економічно обґрунтована точність досягається при обробці на верстатах нормальної точності (клас точності верстатів Н) із застосуванням традиційних оснастки, інструменту та пристосувань. Гранично допустима точність обробки реалізується при використанні прецизійного верстатного обладнання (клас точності верстатів А чи В), спеціального технологічного оснащення та інструменту і при більшій нормі часу на обробку. В результаті вартість обробки деталей різко зростає, знижується відсоток виходу придатних деталей. Таким чином, для застосування підвищеного рівня точності обробки потрібно техніко-економічне обґрунтування. Існують різні методи розрахунку і оцінки точності механічної обробки; до найбільш розповсюджених відносяться: ймовірностатистичний, розрахунково-аналітичний, експертний, експериментально-розрахунковий та ін.



Однією із складових частин геометричної похибки верстата, що впливає на точність обробки, є похибка позиціонування столу або супорта верстата з ЧПК.

Точність обробки деталей на верстатах з ЧПК визначається точністю: верстата, застосовуваних пристроїв і оснащення, інструментальної системи верстата, системи ЧПК і т. д., а також режимами обробки.

Результуюча, дійсна похибка обробки на верстатах з ЧПК визначається сукупністю похибок і помилок  $\Delta_i$ , що виникають в корпусних деталях верстата, приводах подачі і головного руху, в системі управління, інструменті, заготівлі, системі контролю та вимірювання.

Для оцінки таких характеристик точності обробки деталей, як прямолінійність і площинність, перпендикулярність і паралельність поверхонь, співвісність отворів, використовують спеціальні контрольні-вимірювальні пристосування, оптичні та електронні вимірювальні пристрої, координатно-вимірювальні машини, спеціальні вимірювальні пристрої.

Точнісні параметри в деталях машинобудування і приладобудування з типовими розмірами від  $250 \times 250 \times 250$  до  $400 \times 400 \times 400$  мм характеризуються відхиленнями: від співвісності поверхонь – 20 ... 30 мкм, від симетричності поверхонь – 20 ... 50 мкм, від площинності – 30 ... 50 мкм, а також допуском на кутовий відхилення поверхні  $\pm 15''$  ...  $\pm 30''$  і допуском на міжосьова відстань 2 ... 5 мкм.

Автоматизація збору, використання інформації про елементарні похибки при обробці заготовок і подальшого управління верстатом з метою компенсації цих похибок здійснюється спеціальними вимірювальними каналами. Як правило, вони містять датчики, фільтри, підсилювачі, погоджують пристрої, аналого-цифрові перетворювачі і т. д.

Система ЧПК керує робочим циклом верстатів відповідно до керуючої програмою. Керуюча програма містить вимірювальні цикли з використанням вимірювальних головок та інших датчиків, розташованих на верстаті. В результаті виконання вимірювальних циклів і опитування інших датчиків

формується коригувальні дії, необхідні для компенсації можливих похибок у налаштування технологічного процесу обробки заготовки на верстаті.

Наприклад, система ЧПК верстата Spinner TC300/400/600/800 дозволяє вимірювати в автоматичному режимі розмірний знос інструменту і коригувати програму обробки. За допомогою системи ЧПК можна також здійснювати автоматичний контроль похибки базування деталі з автоматичним введенням корекції в програму обробки заготовки.

Сучасні виробники металообробних верстатів впроваджують нові системи ЧПК. Завдяки адаптивним можливостям таких систем ЧПК відбувається підтримка заданого навантаження на інструменті в автоматичному режимі, що значно підвищує стійкість інструменту, зменшує брак при обробці, дозволяє вести обробку складних заготовок зі змінним припуском. За допомогою такої системи керування можна оптимізувати технологічний процес обробки за параметрами точності обробки, часу обробки, стійкості інструменту і ін.

Для підвищення точності обробки частіше за все використовують верстати підвищеної, високої та особливо високої точності. Підвищення точності механічної обробки деталей на таких верстатах досягається спеціальними конструктивними особливостями їх елементів, високою точністю їх виготовлення та спеціальними умовами використання.

Якщо порівнювати верстати високої точності з верстатами звичайної точності то відхилення від перпендикулярності, прямолінійності, радіального биття та інші мають більше ніж в 2 рази менші.

Одним з найвідоміших виробників металорізальних верстатів підвищеної точності є німецький виробник Spinner. Група його токарних верстатів TC300/400/600/800 відносяться до класу верстатів високої точності. У таких верстатів є два шпинедлі: основний та допоміжний. Інструментальна револьверна головка має 12 місць для встановлення інструментів.

### 1.3 Висновки до розділу 1

Підвищення точності обробки на верстатах з ЧПК є досить складним технічним завданням, що включає в себе рішення конструкторських, технологічних, метрологічних питань, проведення додаткових досліджень, розробку специфічного апаратного і програмного забезпечення.

Точність обробки на верстатах з ЧПК в достатній мірі визначається конструктивною досконалістю верстата, його жорсткістю, точністю позиціонування, тепловими деформаціями, точністю базування, стійкістю процесу різання та іншими факторами.

Для підвищення точності обробки циліндричних поверхонь необхідно використовувати верстати з ЧПК з підвищеною жорсткістю. До таких верстатів відносять токарні верстати Spinner TC300/400/600/800. Використання таких верстатів для обробки циліндричних поверхонь деталей дозволяє підвищити їх точність.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Визначення типу виробництва та форми виробництва

Тип виробництва згідно ГОСТ 3.1121-84 визначається за коефіцієнтом закріплення операцій [7]:

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

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

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

Прийняті такі коефіцієнти закріплення операцій:

$K_{з.о.} \leq 1$  – 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;

$40 < K_{з.о.}$  – одиничне 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 "Сопло 14.26.1", поверхні, що оброблюються на переходах, зображено на рисунку 2.1 (розточування, свердління та нарізання різі).

Для основних переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки  $T_{очн}$ , обробки  $T_{очн}$ , наприклад для точіння за формулою:

$$T_o = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} =, [\text{хв}] \quad (2.2)$$

де  $l, d$  – довжина та діаметр оброблюваної поверхні.

Точіння  $\varnothing 75$  попереднє (згідно 12 квалітету)

$$T_{осн1} = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 75 \cdot 73 \cdot 10^{-3} = 0,93 \text{ (хв)}.$$

Точіння  $\varnothing 75$  попереднє (згідно 10 квалітету)

$$T_{осн2} = 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 75 \cdot 73 \cdot 10^{-3} = 0,985 \text{ (хв)}.$$

Точіння  $\varnothing 75$  попереднє (згідно 9 квалітету)

$$T_{осн2} = 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 75 \cdot 73 \cdot 10^{-3} = 1,095 \text{ (хв)}.$$

Точіння  $\varnothing 80$  попереднє (згідно 12 квалітету)

$$T_{осн1} = 0,17 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 80 \cdot 46 \cdot 10^{-3} = 0,814 \text{ (хв)}.$$

Точіння  $\varnothing 80$  попереднє (згідно 10 квалітету)

$$T_{осн2} = 0,18 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,18 \cdot 80 \cdot 46 \cdot 10^{-3} = 0,861 \text{ (хв)}.$$

Точіння  $\varnothing 80$  попереднє (згідно 9 квалітету)

$$T_{осн2} = 0,2 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 80 \cdot 46 \cdot 10^{-3} = 0,957 \text{ (хв)}.$$

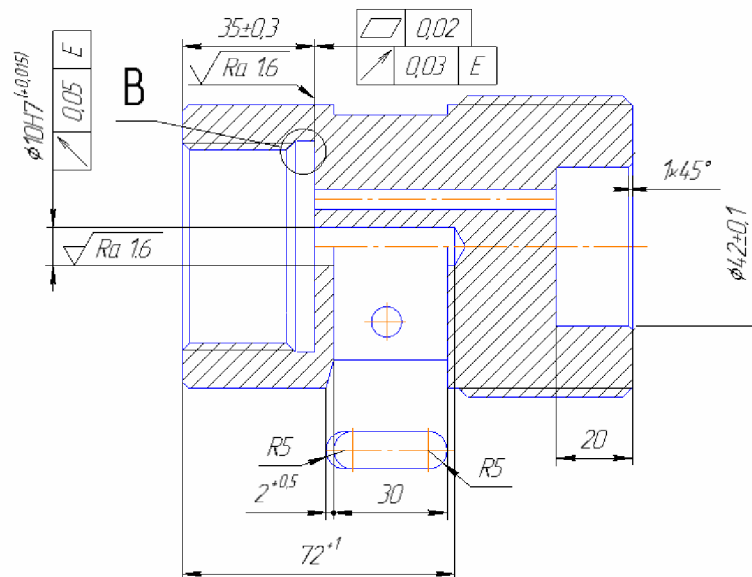


Рисунок 2.1 – Характерні поверхні деталі Сопло 14.26.1

Згідно рекомендацій наближено визначено тип виробництва, як великосерійний.

Визначено  $T_{шт-к}$ :

$$T_{шт-к} = T_o \cdot \varphi_k, [\text{хв}] \quad (2.3)$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт,

$T_o$  – основний час, що витрачається на обробку поверхні.

При програмі випуску  $N=2500$  шт і масі деталі – 3,062 кг приймаємо виробництво дрібносерійне. Для дрібносерійного виробництва вибираємо  $\varphi_k$ .

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт.к.}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н.}}, [\text{шт}] \quad (2.4)$$

де  $N = 2500$  шт. – річна програма випуску деталі ”Сопло 14.26.1;

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

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

$\eta_{з.н.}$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (за умов серійного виробництва  $\eta_{з.н.} = 0,75 \dots 0,85$ ).

Одержану розрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийняту кількість верстатів  $P$  – для усіх переходів приймаємо кількість верстатів рівною 1.

Визначено фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{C_{pi}}{P_i}, \quad (2.5)$$

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

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

Встановлено кількість операцій, які виконуються на  $i$ -му місці:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.i}}, \quad (2.6)$$

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

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

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 потокову лінію використовувати недоцільно.

$$N_d = \frac{N}{255}, \text{ [хв]} \quad (2.7)$$

де 255 кількість робочих днів в року;

Таблиця 2.1 – Визначення коефіцієнта закріплення операцій

Переходи механічної обробки	$T_o \times 10^{-3}$ , хв	$\varphi_k$	$T_{шт-к.}$ , хв	$C_p$	$P$	$\eta_{з.ф.}$	$\eta_{з.н.}$	$O$	$K_{з.о.}$
Точіння поверхні $\varnothing 75f9(-0.030/-0.104)$ попереднє (12 квалітет)	$0,17d \cdot l = 0,17 \cdot 75 \cdot 73 = 0,93$	1,35	1,256	0,022	1	0,022	0,8	36,36	36,075
Точіння поверхні $\varnothing 75f9(-0.030/-0.104)$ попереднє (10 квалітет)	$0,18d \cdot l = 0,18 \cdot 75 \cdot 73 = 0,985$	1,35	1,33	0,024	1	0,024	0,8	33,33	
Точіння поверхні $\varnothing 75f9(-0.030/-0.104)$ остаточне (9 квалітет)	$0,2d \cdot l = 0,2 \cdot 75 \cdot 73 = 1,095$	1,35	1,478	0,026	1	0,026	0,8	30,77	
Точіння поверхні $\varnothing 80$ попереднє (12 квалітет)	$0,17d \cdot l = 0,17 \cdot 80 \cdot 46 = 0,814$	1,35	1,098	0,019	1	0,019	0,8	42,11	
Точіння поверхні $\varnothing 80$ попереднє (10 квалітет)	$0,18d \cdot l = 0,18 \cdot 80 \cdot 46 = 0,861$	1,35	1,164	0,021	1	0,021	0,8	39,1	
Точіння поверхні $\varnothing 80$ остаточне (9 квалітет)	$0,2d \cdot l = 0,2 \cdot 80 \cdot 46 = 0,957$	1,35	1,292	0,023	1	0,023	0,8	34,78	

$$N_d = \frac{2500}{255} = 9,84 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо  $N_d = 10$  шт.

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{шт-к.сер} \cdot \eta_z}, \text{ [шт]} \quad (2.8)$$

де  $T_{шт-к.сер}$  – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, хв.;

$F_d$  – добовий фонд часу роботи обладнання ( $F_d = 952$  хв.),

$\eta_z$  – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії ( $\eta_z = 0,75$  для великосерійного типу виробництва).

$$T_{шт-к.сер} = \frac{\sum T_{шт-к_i}}{\sum n_i}, \text{ [хв]} \quad (2.9)$$



де  $T_{шт-к}$  – штучно-калькуляційний час виконання і-го переходу, хв.;

$\Sigma n$  – сумарна кількість виконуваних переходів.

$$T_{шт-к_{сер}} = \frac{1,2256 + 1,33 + 1,478 + 1,098 + 1,164 + 1,292}{6} = 1,27 \text{ (хв)},$$

$$Q_d = \frac{952}{1,27} \cdot 0,85 = 637,2 \text{ (шт)}.$$

Приймаємо  $Q_d = 638$  шт.

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

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

$$n = \frac{N \cdot t}{255}, \text{ [шт]} \quad (2.10)$$

де  $t$  – періодичність запуску деталей на обробку, в днях (3 дні).

$$n = \frac{N \cdot t}{255} = \frac{2500 \cdot 3}{255} = 29,52 \text{ (шт)}. \text{ Приймаємо } 30 \text{ шт.}$$

Визначаємо розрахункову кількість змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях.

$$C_{зм} = \frac{T_{шт-к_{сер}} \cdot n}{476 \cdot \eta_3}, \text{ [шт]} \quad (2.11)$$

$$C_{зм} = \frac{1,27 \cdot 30}{476 \cdot 0,85} = 0,094 \text{ (шт)}.$$

Приймаємо  $C_{зм. пр.} = 1$  зміна.

Визначаємо кількість деталей в партії для одночасного запуску за прийнятою кількістю змін.

$$n_{пр} = \frac{476 \cdot \eta_z \cdot C_{зм. пр.}}{T_{шт-ксер}}, \text{ [шт]} \quad (2.12)$$

$$n_{пр} = \frac{476 \cdot 0,85 \cdot 1}{1,27} = 318,6 \text{ (шт).}$$

Приймаємо  $n_{пр.} = 319$  (шт).

Отже тип виробництва – великосерійне, форма організації роботи – групова, при цьому розмір мінімальної партії виробів складає 319 шт.

## 2.2 Аналіз конструкції та технологічності деталі

Якісний аналіз.

Деталь «Сопло» є базовою деталлю пневматичного розподільника. Базується деталь на посадочній поверхні  $\varnothing 75f9 \begin{smallmatrix} -0.030 \\ -0.104 \end{smallmatrix}$ . Суміжні деталі базуються по різьбових поверхнях  $Tr55 \times 3$ ,  $Tr \times 80$  та отворах  $\varnothing 10H7$ ,  $\varnothing 7H7$ .

Деталь «Сопло» виконує роль кінематичної ланки, яка обмежує переміщення повітря по каналам в корпусі. Деталь забезпечує необхідну точність розташування приєднувальних деталей як в статиці, так і в процесі роботи.

Деталь сприймає значні статичні та динамічні навантаження, тому матеріалом обрана конструкційна сталь 38Х2МЮА ГОСТ 7417-75. Деталь дуже відповідальна і від якості її обробки залежить надійність роботи всього вузла.

За своєю формою, конструкції та технологічним ознакам деталь можна віднести до класу «Валів» з центральним отвором та деякими особливостями. При підготовці до виробництва доцільно орієнтуватися на типові ТП обробки

подібних деталей, що прискорює процес проектування і покращує якість проекту.

Креслення деталі має усі необхідні дані про деталь, але його необхідно корегувати згідно вимог ЕСКД і вимог технологічності.

Основними поверхнями, якими деталь базується у вузлі є зовнішня поверхня  $\varnothing 75f9\left(\begin{smallmatrix} -0.030 \\ -0.104 \end{smallmatrix}\right)$  і торець.

Допоміжними поверхнями, якими деталь спрягається із суміжними деталями, є різьбові поверхні Tr55×3, Tr×80 та отвори  $\varnothing 10H7$ ,  $\varnothing 7H7$ .

Деталь жорсткої форми і її можна обробити на підвищених режимах різання. Деталь має уніфіковані елементи: отвори, різі, фаски, канавку і т. ін, що дає змогу застосувати стандартний ріжучий інструмент. Деталь має досить зручні базові поверхні для механічної обробки.

Матеріал деталі конструкційна сталь 38Х2МЮА ГОСТ 7417-75 має задовільні якості обробки різанням, штампується і піддається термообробці. Використовується для виготовлення відповідальних термостійких деталей.

Кількісний аналіз.

Коефіцієнт уніфікації

Кількісний аналіз технологічності конструкції деталі необхідно провести за трьома показниками.

$$K_y = Q_{ye} / Q_e, \quad (2.13)$$

де  $Q_{ye}$  – кількість уніфікованих елементів в конструкції деталі,

$Q_e$  – загальна кількість елементів.

$$K_{ye} = \frac{Q_{ey}}{Q_e} = \frac{20 + 11 + 3 + 10 + 29}{27 + 15 + 3 + 12 + 29} = 0,849$$

Оскільки виконується умова  $K_y \geq 0,6$  ( $0,849 \geq 0,6$ ) деталь відноситься до технологічних.

Таблиця 2.2 – Загальна кількість конструктивних елементів

Лінійні	Розміри			
	Діаметральні	Різьбові	Кутові	Шорсткість
119h9	Ø75f9*	Tr55×3-7H*	45° (7 розм.)*	6,3 (17 пов.)*
40*	Ø10H7*	Tr80×4-8g*	15° (3 розм.)*	3,2 (2 пов.)*
28*	R5 (2 розм.) *	M16*	35° (2 розм.)	1,6 (10 пов.)*
46	Ø42±0,1*			
52±0,3	Ø25*			
54±0,1	Ø7H7 (4 розм.)			
35±0,3	R0,5*			
72	R1,6*			
30*	Ø75*			
2 <sup>+0,5*</sup>	Ø8H7*			
20*	Ø8*			
55*				
10 <sup>+2*</sup>				
19*				
30*				
35				
20 <sup>+0,1*</sup>				
12*				
16*				
0,5*				
5*				
2,5 (2 розм.) *				
2*				
1,6*				
1 (2 розм.)*				
$\sum_{заг} = 27$	$\sum_{заг} = 15$	$\sum_{заг} = 3$	$\sum_{заг} = 12$	$\sum_{заг} = 29$
$\sum_{уніф} = 20$	$\sum_{уніф} = 11$	$\sum_{уніф} = 3$	$\sum_{уніф} = 10$	$\sum_{уніф} = 29$

Коефіцієнт шорсткості

$$K_{Ш} = \frac{1}{Ш_{ср}} = \frac{1}{4,46} = 0,223, .$$

Середній клас шорсткості складає:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{129,5}{29} = 4,46.$$

Деталь технологічна по коефіцієнту шорсткості, тому що виконується перевірка  $0,223 < 0,32$  ( $K_{ш} < 0,32$ ).

Таблиця 2.3 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,6 (Ø10H7, Ø7H7 (4 розм.), Ø8H7, 35±0,3, Ø75f9, Tr55×3-7H, Tr80×4-8g)	10	1,6×10 = 16
3,2 (119h9 (2 пов.))	2	3,2×2 = 6,4
6,3 (всі інші)	17	6,3×17 = 107,1
Всього	29	129,5

Таблиця 2.4 – Квалітети точності поверхонь деталі

Квалітет	Розміри	Кількість розмірів	Розрахунок
7	Ø10H7, Ø7H7 (4 розм.), Ø8H7	6	7×6=42
9	Ø75f9, 119h9, Tr55×3-7H, Tr80×4-8g	4	9×4=36
11	20 <sup>+0,1</sup>	1	11×1=11
12	54±0.1, Ø42±0,1	2	12×2=24
14	всі інші	32	14×32=448
Всього		45	561

Коефіцієнт точності

$$K_{m.ч.} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,47} = 0,919.$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{561}{45} = 12,47.$$

Деталь технологічна по коефіцієнту точності, тому що виконується умова  $0,919 > 0,8$  ( $K_T > 0,8$ ).

Оскільки виконуються всі умови, то деталь технологічна.

### 2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

Вибір двох альтернативних способів виготовлення заготовки.

Дана деталь – Сопло 14.26.1 випускається в умовах середньосерійного виробництва, оскільки маса деталі 3,108 кг (легкі деталі масою до 10 кг), а програма випуску  $N=2500$  шт. ( в межах 500 – 5000 шт.).

Матеріал деталі - сталь 38Х2МЮА: легована сталь, до її складу входять: 0,38% вуглецю, до 2% хрому, магнію та алюмінію до 1%, сірки та фосфору не більше 0,025%. Заготовку можна виготовити методом пластичного деформування або із стандартного прокату.

Можливі способи одержання поковки [8]:

- Кривошипні гарячостампувальні преси;
- Штамповка на гвинтових пресах;
- Штамповка на молотах;
- Штамповка на ГКМ;
- Штампова на гідравлічних пресах;
- Прокат.

Проаналізувавши різні способи виготовлення заготовок можна зробити висновок, що для даного типу виробництва найбільш доцільним та економічним будуть такі способи виготовлення заготовки, як штампування на КГШП та з прокату, оскільки перепади діаметрів поверхонь незначні. Контур деталі за своєю конфігурацією наближається до профілю прокату.

Розрахунок розмірів заготовки.

Вибір вихідних параметрів заготовки, що характеризують її точність і складність

1. Клас точності Т вибирається в залежності від обладнання і типу виробництва [2]:

– штамповка на КГШП – Т4;

2. Група сталі М призначається по заданому матеріалі деталі і легуючих елементів [2]:

– штамповка на КГШП – М2;

3. Ступінь складності призначається в залежності від співвідношення маси поковки, яка рахується попередньо, і маси найменшої простої геометричної фігури, яка описує деталь. Цією фігурою є циліндр, розміри якого дорівнюють габаритним розмірам деталі.

$$G_{\phi} = \frac{3,14}{4} \cdot (80 \cdot 1,05 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 119 \cdot 1,05 \cdot 10^{-3} \cdot 7710 = 5,33 \text{ (кг)},$$

$$G_{\Pi} = G_{\phi} \cdot K_p = 3,108 \cdot 1,4 = 4,35 \text{ (кг)},$$

де  $K_p$  – коефіцієнт, що залежить від конфігурації деталі [8].

$$C = \frac{G_{\Pi}}{G_{\phi}} = \frac{4,35}{5,33} = 0,816.$$

Призначаємо степінь складності С1.

4. Оскільки деталь є простої конфігурації, без вигинів, то поверхня роз'єму буде плоскою П.

5. Вихідний індекс – визначається в залежності від маси поковки ( $3,2 \text{ кг} < G_{\Pi} = 5,33 \text{ кг} < 5,6 \text{ кг}$ ), марки сталі (сталь 38Х2МЮА), ступеня складності та класу точності поковки, необхідний для наступного призначення основних припусків, допусків та допустимих відхилень. [8].

– штамповка на КГШП – 12.

Розраховуємо розміри заготовки при штампуванні на КГШП

Для розміру Tr80x4:

$$80 + 1,7 \cdot 2 + 0,3 + 0,4 = 84,1(\text{мм}).$$

Для розміру  $\varnothing 75f9$ :

$$75 + 1,7 \cdot 2 + 0,3 + 0,4 = 79,1(\text{мм}).$$

Таблиця 2.5 – Параметри штамповки на КГШП

Вхідні дані	штамповка на КГШП					
Клас точності	Т4					
Марка матеріалу	М2					
Ступінь складності	С1					
Індекс	12					
Конфігурація поверхні роз'єму штампа	П					
	Розрахункові розміри, мм					
Припуски:	Tr80x4	$\varnothing 75f9$	Tr55x3	119h9	46	35±0,3
Основні	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,6
Додаткові: на зміщення по поверхні роз'єму штампа	0,3					
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,4					
	Розміри заготовок, мм					
	$\varnothing 84,1$	$\varnothing 79,1$	$\varnothing 50,9$	123,3	50,2	35,9
Допуски: розмірів	2,2 <sup>+1,4</sup> <sub>-0,8</sub>	2,2 <sup>+1,4</sup> <sub>-0,8</sub>	2,2 <sup>+1,4</sup> <sub>-0,8</sub>	2,5 <sup>+1,6</sup> <sub>-0,9</sub>	2,2 <sup>+1,4</sup> <sub>-0,8</sub>	2,0 <sup>+1,3</sup> <sub>-0,7</sub>
зміщення по поверхні роз'єму штампа	0,7					
по вигнутості від площин. і прямолін. радіусів заокруглень	0,8					
величина замкнутого облою	0,9					
висоти заусенцю	5 мм					
від концентричності отворів	1,0					



Для розміру Tr55x3:

$$55 - 1,7 \cdot 2 - 0,3 - 0,4 = 50,9 \text{ (мм)}.$$

Для розміру 119h9:

$$119 + 2 \cdot 1,8 + 0,3 + 0,4 = 123,3 \text{ (мм)}.$$

Для розміру 46:

$$46 + 1,8 + 1,7 + 0,3 + 0,4 = 50,2 \text{ (мм)}.$$

Для розміру 35±0,3:

$$35 + 1,8 - 1,6 + 0,3 + 0,4 = 35,9 \text{ (мм)}.$$

Технічні вимоги призначаються для кожного з альтернативних способів отримання заготовки.

Для КГШП:

1. Клас точності – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С1.
2. Невказані штампувальні нахили 5°, радіуси 4 мм.
3. Допустимі зміщення по площині роз'єму 3 мм.
4. Невказані допуски радіусів заокруглень 1,0 мм.

Прокат.

Дану заготовку можна виготовити із круглого сортового прокату, так як контур деталі наближається за своєю конфігурацією до профілю прокату. В машинобудуванні приймають товарні заготовки, сортові і фасонні профілі загального призначення.

Габаритні розміри деталі: зовнішній діаметр Ø80 мм та довжина 119 мм, тому доцільніше приймати круглий прокат.

Для дрібносерійного типу виробництва приймається відрізання прокату сортовими ножицями моделі Н1834.

Припуски на обробку поверхонь заготовки із прокату [2]:

1. Точити однократно  $\varnothing 80$  припуск 1 мм;
2. Підрізати торці по розміру 119 припуск 1 мм.

$$80 + 1 \cdot 2 = 82 \text{ (мм)},$$

$$119 + 1 \cdot 2 = 121 \text{ (мм)}.$$

Тобто необхідно підібрати стандартний (за ГОСТ) круглий прокат, який би мав такі параметри: зовнішній діаметр – від 82 мм і більше; довжина заготовки від 121 мм і більше.

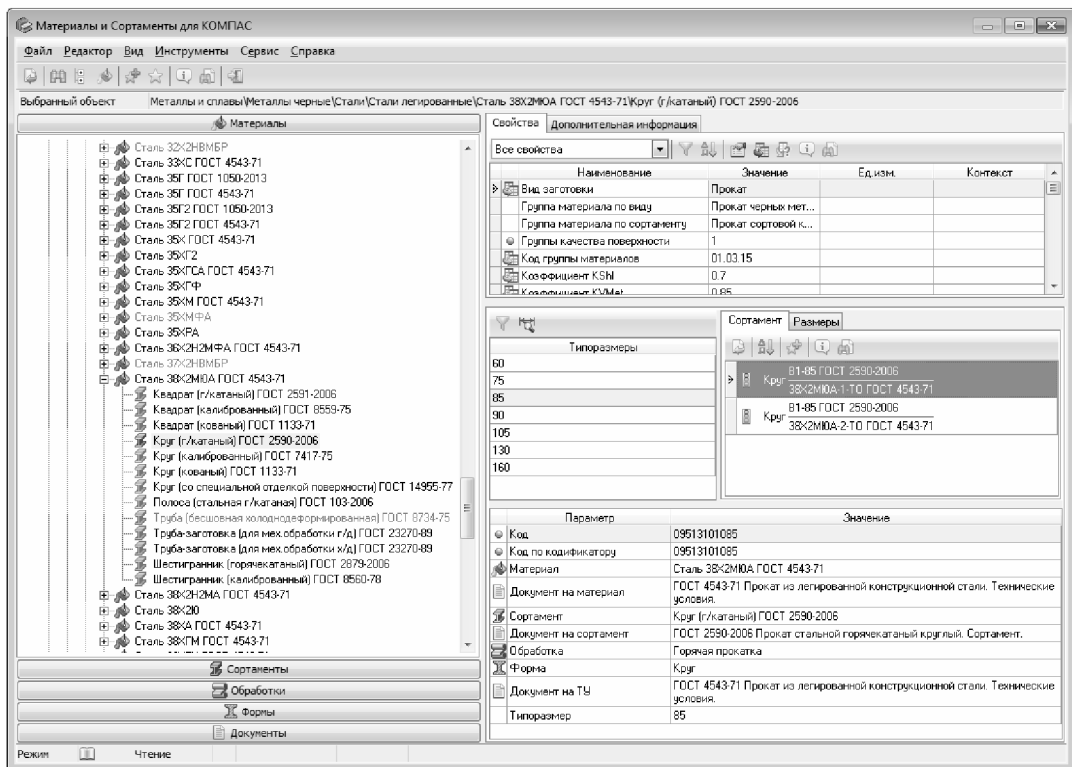


Рисунок 2.2 – Вибір сортаменту

Приймаємо сортовий прокат – Круг  $\frac{B1 - 85 \text{ ГОСТ } 2590 - 2006}{38X8X2M - 2 - TO \text{ ГОСТ } 4543 - 71}$ .

Вибираємо стандартний сортовий круглий прокат  $\varnothing 85$  мм та довжиною штучної заготовки 125 мм.

Оформлення 2-х ескізів заготовок

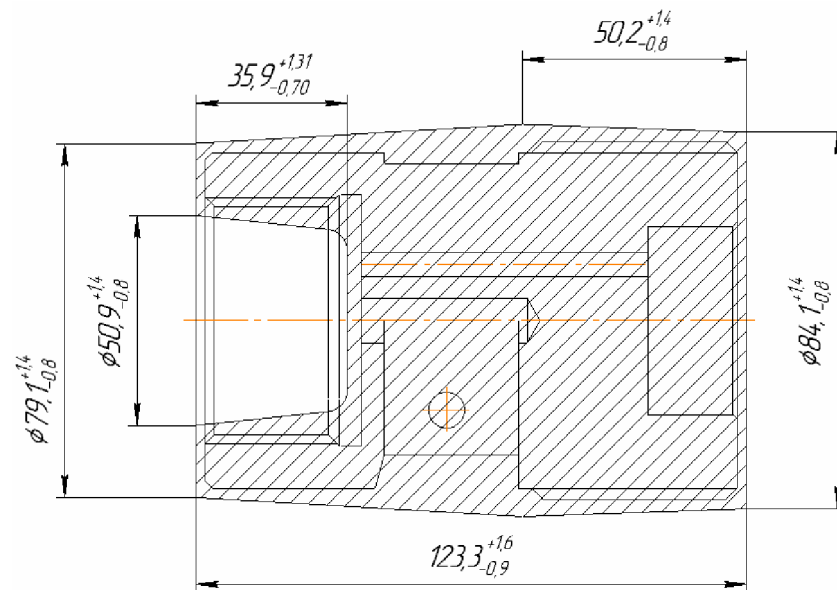


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки, що виготовлена на КГШП

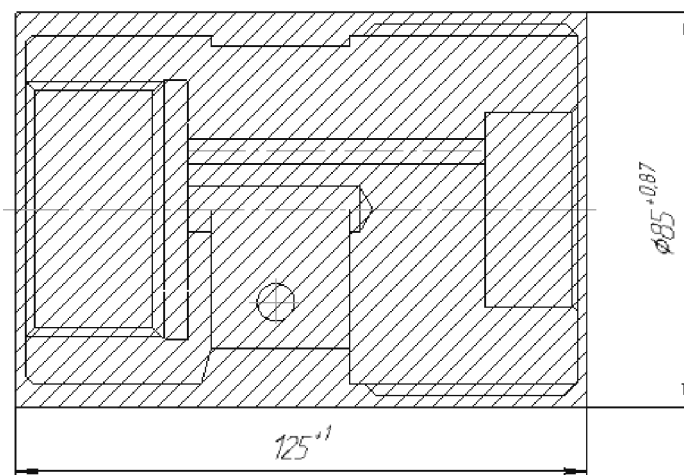


Рисунок 2.4 – Ескіз заготовки, що виготовлена з прокату

Розрахунок маси і коефіцієнтів використання матеріалу для обох варіантів заготовки.

Маса заготовки визначаємо за формулою:

$$Q = V_{\text{заг}} \cdot \rho, \text{ [кг]} \quad (2.12)$$

Щоб розрахувати загальний об'єм заготовки створюємо її тривимірну модель.

Площа	$S = 48289,368323 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 564770,305253 \text{ мм}^3$
Матеріал	Сталь 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71
Густина	$R_0 = 0,007710 \text{ г/мм}^3$
Маса	$M = 4354,379054 \text{ г}$
Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:	

$$M = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}} = 3,108 / 4,354 = 0,713.$$

– Прокат:

Площа	$S = 44728,426334 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 709312,729477 \text{ мм}^3$
Матеріал	Сталь 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71
Густина	$R_0 = 0,007710 \text{ г/мм}^3$
Маса	$M = 5468,801144 \text{ г}$
Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:	

$$M = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}} = 3,108 / 5,468 = 0,568.$$

Коефіцієнт використання матеріалу при штампуванні на КГШП більший, ніж при використанні прокату, тобто менше металу піде у стружку.

Техніко-економічне порівняння обох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого.

Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$C_{\text{заг.}} = \left( \frac{G_{\text{заг.}}}{1000} \cdot C_{\text{шт}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} \right) - \left( \frac{G_{\text{заг.}} - G_{\text{дет}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх}}, \text{ [грн]} \quad (2.13)$$

де  $C_{шт}$  – базова вартість 1 т штамповки;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок;

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

$K_B$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки, вибираємо згідно;

$K_{II}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

$C_{відх}$  – вартість 1 т. стружки, для сталі  $C_{відх} = 2500$  грн./т.

Призначаємо коефіцієнти:  $K_T = 1$ ,  $K_M = 1$ ,  $K_C = 0,77$ ,  $K_B = 1,85$ ,  $K_{II} = 1,0$

– Штапування на КГШП:

$$C_{шт} = 21000 \cdot 1 = 21000 \text{ (грн.)}$$

$$C_{заг.шт} = \left( \frac{4,354 \cdot 21000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1}{1000} \right) - \left( \frac{4,354 - 3,108}{1000} \right) \cdot 2500 = 101,12 \text{ (грн.)}$$

– Прокат:

Вартість заготовки із прокату визначається за формулою:

$$C_{заг.пр} = C_M + \sum C_{оз} \text{ [грн.]}, \quad (2.14)$$

де  $C_M = 12000$  грн./т – вартість матеріалу заготовки;

$\sum C_{з.о.}$  - технологічна собівартість заготівельних операцій (відрізання).

$$C_{зо} = \frac{C_{пз} \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot 100} \text{ [грн.]}, \quad (2.15)$$

де  $C_{пз} = 16,38$  грн/год - приведені витрати на заготівельні операції [7];

$T_{шт-к}$  - штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції.

Відрізання

$$T_0 = 0,37 \cdot D^2 \cdot 10^{-3} = 0,37 \cdot 85^2 \cdot 10^{-3} = 2,67 \text{ (хв.)},$$

$$\varphi_k = 1,72$$

$$T_{ум-к} = T_0 \cdot \varphi_k = 2,67 \cdot 1,72 = 4,59 \text{ (хв.)}.$$

Тоді

$$C_{оз} = \frac{16,38 \cdot 4,59}{60} = 1,25 \text{ (грн.)}.$$

$$C_{np} = \frac{G_{заг}}{1000} \cdot C_m - \left( \frac{G_{заг} - G_{дет}}{1000} \right) \cdot C_{відх} \text{ [грн.]},$$

$$C_{np} = \frac{5,468}{1000} \cdot 19000 - \left( \frac{5,468 - 3,108}{1000} \right) \cdot 2500 = 98,02 \text{ (грн.)},$$

$$C_{заг.пр} = C_{np} + C_{оз} = 98,02 + 1,25 = 99,37 \text{ (грн.)}.$$

Отже, при виготовленні заготовки з допомогою штампування на КГШП собівартість заготовки вище собівартості при виготовленні заготовки з прокату.

Враховуючи те, що вага заготовки виготовленої з прокату складає 5,468 кг, а виготовленої штапуванням 4,354 кг та собівартість виконання додаткових операцій механічної обробки для деталі виготовленої з прокату остаточно приймаємо спосіб виготовлення заготовки - штампування на КГШП.

#### 2.4 Розробка маршруту механічної обробки

Розробка технологічного процесу механічної обробки виконується на основі принципів «Єдиної системи підготовки виробництва» ЕСТП ГОСТ 14.001-73.

Задана деталь “Сопло” відноситься до класу вісей. В серійному виробництві доцільно застосовувати високопродуктивне обладнання, верстати з ЧПК, багатоцільові верстати і т.ін. оснастка може бути стандартною, УСП, і спеціалізована.

На першій операції необхідно обробляти базові поверхні, які в подальшому будуть служити технологічними базами. Базування заготовки здійснюється по необробленим чорновим базам одноразово з тим щоб уникнути похибки базування на слідуючих операціях.

Після обробки базових поверхонь здійснюється токарна обробка всіх зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталі. Установка заготовки може бути в 3-х кулачковому патроні. Найбільш продуктивним способом обробки є точіння або розточування отворів різцевими головками.

Після чистової обробки проводиться доводочні операції: фрезерування шпоночних пазів, канавок, обробка різбових отворів і т.ін. Установка заготовки в призмі дає похибку базування у вигляді зміщення осі заготовки. Отвори обробляють по кондуктору або на верстатах з ЧПК, точність яких складає  $\pm 0,01$  мм.

Фінішною операцією є тонке точіння, яке здійснюється після термообробки. Базування заготовки проводять по центровочним отворах в поводковому патроні, центра упорні. При установці в 3-х кулачковому патроні похибка базування для діаметральних розмірів  $\varepsilon_{\sigma}=0$ . При тонкому точінні можна досягти 6-7 квалітет точності і чистоту поверхні шорсткістю Ra 0,8-1.6.

Вибір (з обґрунтуванням) способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні.

Вибір способів механічної обробки поверхонь з підвищеними вимогами точності, визначення кількості ступенів механічної обробки отвору  $\varnothing 10H7^{(+0,015)}$

Загальне уточнення [9]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_{заг.}}{T_{дет.}} \cdot [\text{МКМ}] \quad (2.14)$$

Для розміру  $\varnothing 10H7^{(+0,015)}$  загальне уточнення, враховуючи, що допуск заготовки на даний розмір при використанні штамповки на КГШП складає 900 мкм, а допуск деталі – 15 мкм, буде рівним:

$$\varepsilon = 0,9 / 0,015 = 60.$$

Приймаємо 4 переходи механічної обробки. Призначаємо:

$$\varepsilon_1 = 5, \varepsilon_2 = 3,5, \varepsilon_3 = 2,5.$$

Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на четвертому переході

$$\varepsilon_4 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3} = \frac{60}{5 \cdot 3,5 \cdot 2,5} = 1,37.$$

Допуск технологічного розміру після кожного переходу складатиме:

$$T_1 = T_3 / \varepsilon_1 = 0,9 / 5 = 0,18 \text{ (мм)};$$

$$T_2 = T_1 / \varepsilon_2 = 0,18 / 3,5 = 0,051 \text{ (мм)};$$

$$T_3 = T_2 / \varepsilon_3 = 0,051 / 2,5 = 0,021 \text{ (мм)};$$

$$T_4 = T_3 / \varepsilon_4 = 0,021 / 1,37 = 0,015 \text{ (мм)}.$$

Допуск після першого переходу відповідає 13 квалітету точності, після другого – 10 квалітету, після третього – 8 квалітету, після четвертого – 7 квалітету.

Оскільки обробляється внутрішня циліндрична поверхня, то доцільно використати методи обробки – свердління, попереднє зенкерування, остаточне зенкерування, розвертування.

Вибір (з обґрунтуванням) чистових і чорнових технологічних баз.



Вихідними даними при виборі баз є: робоче креслення деталі, технічні вимоги, метод одержання заготовки та стан її поверхонь.

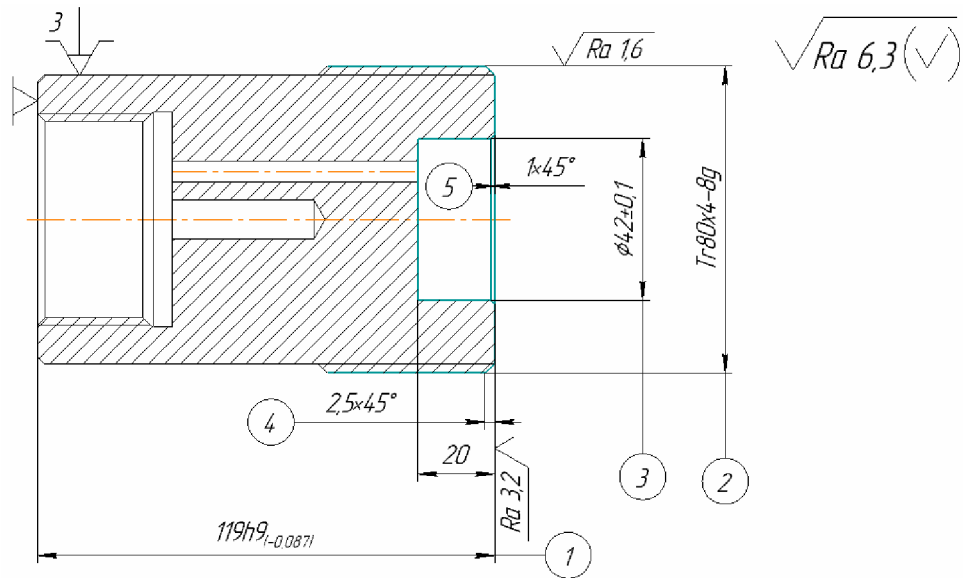


Рисунок 2.5 – Ескіз баз на операції 005 (чорнові технологічні бази)

В якості чорнових баз на перших операції 005 використовуємо схему базування на в 3-х кулачковий патрон. В цьому випадку вирішуються наступні задачі: зняття мінімального рівномірного припуску з поверхні  $\varnothing 75$ . Схема базування та поверхні, що обробляються зображена рисунку 2.5.

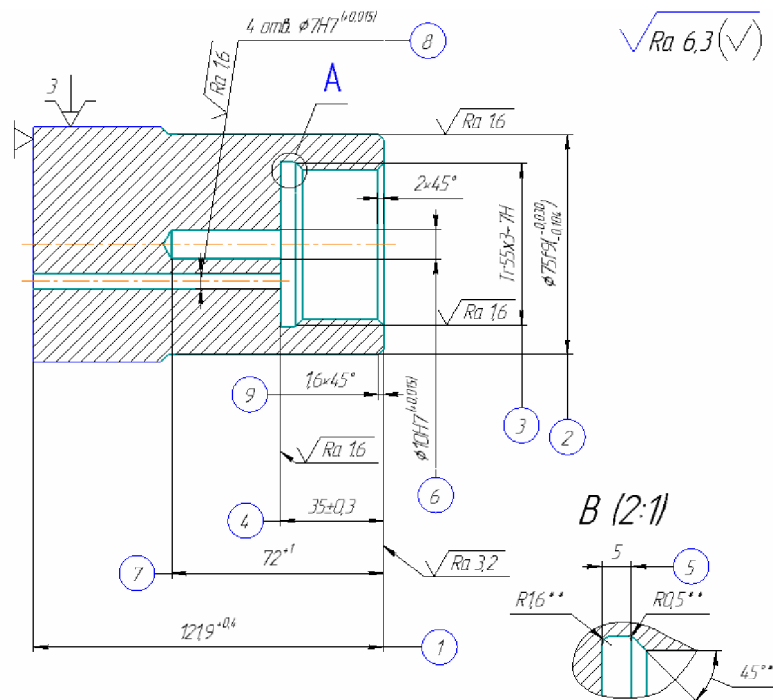


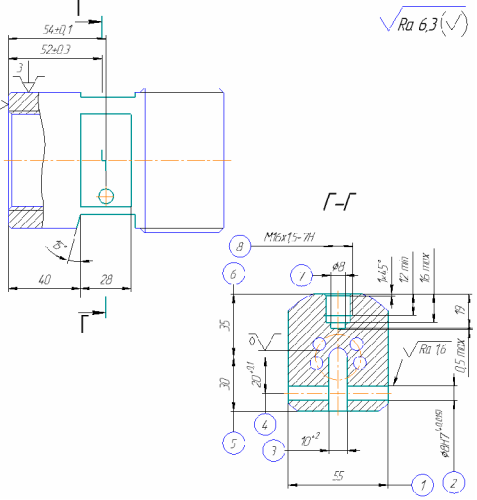
Рисунок 2.6 – Ескіз баз на операції 010 (чистові технологічні бази)

Базуючись на дані попередніх пунктів створимо маршрут механічної обробки деталі (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Маршрут механічної обробки деталі "Сопло 14.26.1"

№ опер.	Зміст операції та переходів	Ескіз деталі та схема базування	Верстат, пристосування
005	<p><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити пов. 1, 2 попередньо по контуру.</li> <li>3. Точити пов. 1, 2 попередньо по контуру.</li> <li>4. Розточити отв. 3 та торець 4 попередньо.</li> <li>5. Розточити отв. 3 та торець 4 попередньо.</li> <li>6. Розточити канавку 5 однократно.</li> <li>7. Центрувати отв. 6 та 4 отв. 8.</li> <li>8. Свердлити отв. 6 однократно.</li> <li>9. Свердлити 4 отв. 8 однократно.</li> <li>10. Зенкерувати отв. 6 попередньо.</li> <li>11. Зенкерувати отв. 6 остаточно.</li> <li>12. Зенкерувати 4 отв. 8 попередньо.</li> <li>13. Зенкерувати 4 отв. 8 остаточно.</li> <li>14. Розвернути отв. 6 однократно.</li> <li>15. Розвернути 4 отв. 8 однократно.</li> <li>16. Розточити отв. 3 та торець 4 остаточно.</li> <li>17. Точити фаску 9 однократно.</li> <li>18. Точити пов. 1, 2 остаточно по контуру.</li> <li>19. Нарізати різь в отв. 3.</li> <li>20. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Верстат, пристосування</p> <p>Токарно-револьверний верстат з ЧПК SPINNER TC300-52</p>
010	<p><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити пов. 1, 2 попередньо по контуру.</li> <li>3. Точити пов. 1, 2 попередньо по контуру.</li> <li>4. Розточити отв. 3 однократно.</li> <li>5. Розточити фаску 5 однократно.</li> <li>6. Точити фаску 4 однократно.</li> <li>7. Точити пов. 1, 2 остаточно по контуру.</li> <li>8. Зняти деталь.</li> </ol>		<p>Токарно-револьверний верстат з ЧПК ІП420ПФ30</p>

## Продовження таблиці 2.7

015	<p align="center"><b>Фрезерна з ЧПК</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати 2 лиски 1, лиску 5 та лиску 6 попередньо.</li> <li>3. Фрезерувати 2 лиски 1, лиску 5 та лиску 6 остаточно.</li> <li>4. Фрезерувати паз 3 однократно.</li> <li>5. Центрувати отв. 4, 7 однократно.</li> <li>6. Свердлити отв. 4 та 7 однократно.</li> <li>7. Розсверлити отв. 8 однократно.</li> <li>8. Зенкерувати отв. 4 попередньо.</li> <li>9. Зенкерувати отв. 4 остаточно.</li> <li>10. Розвернути отв. 4 однократно.</li> <li>11. Зенкерувати отв. 8 однократно.</li> <li>12. Нарізати різь в отв. 8 однократно.</li> <li>13. Зняти деталь.</li> </ol>		<p align="center">Вертикальний оброблювальний центр SPINNER U4-620</p>
-----	--	--	--

Для виготовлення деталі "Сопло 14.26.1" було запропоновано модернізований маршрут механічної обробки. Всі верстати універсальної групи, які були застосовані у базовому маршруті механічної обробки були замінені на верстати з ЧПК. При цьому кількість операцій механічної обробки скоротилась з 7 до 3.

Враховуючи те, що запропоновані верстати з ЧПК мають набагато вищу точність виготовлення порівняно з універсальними верстатами, тому і при обробці деталі "Сопло 14.26.1" отримана точність поверхонь буде вищою, ніж в базовому маршруті механічної обробки.

Порівняємо величину сумарної похибки механічної обробки, що отримана на універсальному верстаті, верстаті з ЧПК нормально точності та верстаті з ЧПК підвищеної точності:

– сумарна похибка механічної обробки для діаметральних озмірів складає

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{\varepsilon_{\text{н}}^2 + \varepsilon_{\text{пд}}^2 + (1,73\varepsilon_{\text{і}})^2 + (1,73\varepsilon_{\text{в}})^2 + (1,73\varepsilon_{\text{т}})^2}.$$

Знайдемо похибку настроєння верстата

$$\varepsilon_{\text{H}} = \sqrt{(K_{\text{p}} \varepsilon_{\text{p}})^2 + \left(K_{\text{B}} \frac{\varepsilon_{\text{B}}}{2}\right)^2},$$

де  $\varepsilon_{\text{p}}$  – похибка регулювання положення різця;  $\varepsilon_{\text{B}}$  – похибка вимірювання розміру деталі;  $K_{\text{p}} = 1,73$  і  $K_{\text{B}} = 1,0$  – коефіцієнти, що враховують відхилення законів розподілу похибок  $\varepsilon_{\text{p}}$  і  $\varepsilon_{\text{B}}$  від нормального закону розподілу.

Для верстата 16К20 дискрета (в радіальному напрямі) складає 25 мкм і, відповідно,  $\varepsilon_{\text{p}} = 25$  мкм. Похибка вимірювання  $\varepsilon_{\text{B}} = 20$  мкм. Тоді похибка настроєння

$$\varepsilon_{\text{H1}} = \sqrt{(1,73 \cdot 25)^2 + \left(\frac{20}{2}\right)^2} = 44 \text{ (мкм)}.$$

Для верстата з ЧПК  $\varepsilon_{\text{p}}$  дорівнює двом дискретам. У верстата 16К20Т1 дискрета (в радіальному напрямі) складає 5 мкм і, відповідно,  $\varepsilon_{\text{p}} = 10$  мкм. Тоді похибка настроєння

$$\varepsilon_{\text{H2}} = \sqrt{(1,73 \cdot 10)^2 + \left(\frac{20}{2}\right)^2} = 20 \text{ (мкм)}.$$

Для верстата з ЧПК з підвищеною точністю SPINNER TC300-52 дискрета (в радіальному напрямі) складає 2 мкм і, відповідно,  $\varepsilon_{\text{p}} = 4$  мкм. Тоді похибка настроєння

$$\varepsilon_{\text{H2}} = \sqrt{(1,73 \cdot 4)^2 + \left(\frac{20}{2}\right)^2} = 12 \text{ (мкм)}.$$

Визначимо похибку, яка спричиняється пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання:

$$\varepsilon_{\text{пд}} = y_{\text{max}} - y_{\text{min}}.$$

Пружне зміщення вершини різця відносно осі обертання заготовки складає

$$y = P_y \omega_\Sigma$$

У відповідності з ГОСТ 18097-83 податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта токарних і токарно-гвинторізних верстатів з ручним керуванням і найбільшим діаметром заготовки над станиною 200 мм складають  $\omega_{п.б} = 0,0227 \cdot 10^{-3}$  мм/Н,  $\omega_{з.б} = 0,0337 \cdot 10^{-3}$  мм/Н,  $\omega_{суп} = 0,0283 \cdot 10^{-3}$  мм/Н. Для верстата 16К20Т1 приймаємо  $\omega_{п.б} = 0,0110 \cdot 10^{-3}$  мм/Н,  $\omega_{з.б} = 0,0135 \cdot 10^{-3}$  мм/Н,  $\omega_{суп} = 0,0140 \cdot 10^{-3}$  мм/Н. Для верстата SPINNER TC300-52 приймаємо  $\omega_{п.б} = 0,008 \cdot 10^{-3}$  мм/Н,  $\omega_{з.б} = 0,01 \cdot 10^{-3}$  мм/Н,  $\omega_{суп} = 0,0110 \cdot 10^{-3}$  мм/Н.

Таким чином,

$$\begin{aligned} \omega_{\Sigma 1} &= \frac{40^2(190-40)^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 30^4 \cdot 190} + 10^{-3} \left[ \left(1 - \frac{40}{190}\right)^2 0,0227 + \left(\frac{40}{190}\right)^2 0,0283 + 0,0337 \right] = \\ &= 0,274 \cdot 10^{-3} \text{ (мм/Н)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{\Sigma 2} &= \frac{40^2(190-40)^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 30^4 \cdot 190} + 10^{-3} \left[ \left(1 - \frac{40}{190}\right)^2 0,011 + \left(\frac{40}{190}\right)^2 0,0135 + 0,014 \right] = \\ &= 0,108 \cdot 10^{-3} \text{ (мм/Н)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{\Sigma 3} &= \frac{40^2(190-40)^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 30^4 \cdot 190} + 10^{-3} \left[ \left(1 - \frac{40}{190}\right)^2 0,008 + \left(\frac{40}{190}\right)^2 0,01 + 0,011 \right] = \\ &= 0,087 \cdot 10^{-3} \text{ (мм/Н)}. \end{aligned}$$

Отже,

$$\varepsilon_{\text{ИД1}} = 0,274 \cdot 10^{-3} (154 - 101) = 13,9 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 13,9 \text{ (мкм)},$$

$$\varepsilon_{\text{ИД2}} = 0,108 \cdot 10^{-3} (154 - 101) = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 5,5 \text{ (мкм)},$$

$$\varepsilon_{\text{ИД3}} = 0,087 \cdot 10^{-3} (154 - 101) = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 4,4 \text{ (мкм)}.$$

Визначимо похибку, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента (різця).

Згідно з [14, с. 73 – 74]

$$\varepsilon_i = \frac{L}{1000} u_o,$$

де  $L$  – довжина шляху різання, який відповідає обробці всіх деталей партії;  $u_o = 6$  мкм/км – відносний знос різця, оснащеного пластинкою з твердого сплаву Т15К6, вона складе

$$L = \frac{\pi d_1 l_2 n}{1000 s} = \frac{3,14 \cdot 75 \cdot 40 \cdot 50}{1000 \cdot 0,15} = 1884 \text{ (м)}.$$

Таким чином,  $\varepsilon_i = \frac{1884}{1000} \cdot 6 = 12 \text{ (мкм)}.$

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата ( $\varepsilon_B$ ).

$$\varepsilon_B = \frac{Cl_2}{L_6} = \frac{10 \cdot 30}{300} = 1 \text{ (мкм)}.$$

Визначимо похибку, яка спричиняється температурними деформаціями технологічної системи, вважаючи, що у відповідності з вона складає 15% від суми інших похибок

$$\varepsilon_{T1} = 0,15(44 + 13,9 + 12 + 1) = 13 \text{ (мкм)}.$$

$$\varepsilon_{T2} = 0,15(20 + 5,5 + 12 + 1) = 8 \text{ (мкм)},$$

$$\varepsilon_{T3} = 0,15(12 + 4,4 + 12 + 1) = 6 \text{ (мкм)}.$$

Знайдемо сумарну похибку обробки

$$\varepsilon_{\Sigma 1} = 2\sqrt{44^2 + 13,9^2 + (1,73 \cdot 12)^2 + (1,73 \cdot 1)^2 + (1,73 \cdot 13)^2} = 92 \text{ (мкм)}$$

$$\varepsilon_{\Sigma 2} = 2\sqrt{20^2 + 5,5^2 + (1,73 \cdot 12)^2 + (1,73 \cdot 1)^2 + (1,73 \cdot 8)^2} = 69 \text{ (мкм)}.$$

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2\sqrt{12^2 + 4,4^2 + (1,73 \cdot 23)^2 + (1,73 \cdot 1)^2 + (1,73 \cdot 6)^2} = 52 \text{ (мкм)}.$$

Допуск на розмір  $\varnothing 75f9$  складає 74 мкм.

З аналізу результатів розрахунку сумарної похибки механічної обробки (див рис. 2.7) можна зробити такий висновок: при використанні універсального обладнання отримати задану точність неможливо без застосування більшої кількості переходів механічної обробки, більш жорсткого різця та меншої партії обробки без переналагодження. Застосування верстатів з ЧПК дає можливість отримувати необхідний розмір з заданою точністю. Сумарна похибка механічної обробки на верстаті 16K20T1 менша ніж допуск на розрахунковий розмір. Проте запас складає менше 10%. Найкращий результат показав верстат з підвищеною жорсткістю SPINNER TC300-52. Запас по точності складає більше 30%.

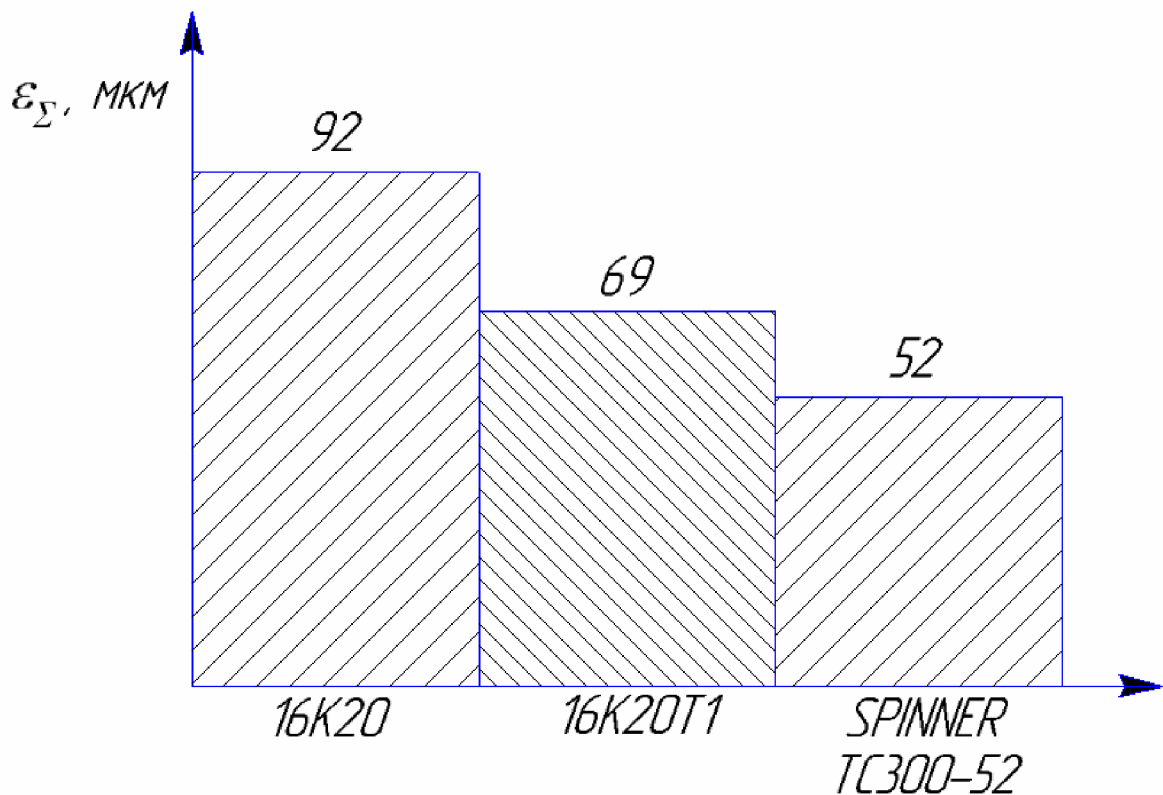


Рисунок 2.7 – Сумарна похибка механічної обробки на розмір  $\varnothing 75f9$

## 2.5 Розмірний аналіз технологічного процесу

Допуски на технологічні розміри призначаються згідно довідника [10], для відповідного розміру за відповідним квалітетом, всі поверхні деталі, що розглядаються, мають 14 квалітет, а заготовка виконується 15 квалітету.

Відповідно:

$$T(Z_1) = 1,4 \text{ мм}; \quad T(Z_2) = 0,62 \text{ мм};$$

$$T(B_1) = 0,87 \text{ мм}; \quad T(B_2) = 0,54 \text{ мм};$$

$$T(B_3) = 0,87 \text{ мм}; \quad T(B_4) = 0,54 \text{ мм};$$

$$T(B_5) = 1,2 \text{ мм}; \quad T(B_6) = 0,35 \text{ мм};$$

$$T(B_7) = 0,42 \text{ мм}; \quad T(B_8) = 0,35 \text{ мм};$$

$$T(B_9) = 0,35 \text{ мм}; \quad T(B_{10}) = 0,22 \text{ мм};$$

$$T(B_{11}) = 0,2 \text{ мм}; \quad T(B_{12}) = 0,14 \text{ мм}.$$

Визначені допуски використовуються при подальших розрахунках технологічних розмірів. Одним із перших етапів розмірного аналізу є побудова розмірної схеми технологічного процесу.

$$K_{1\max} = 119 \text{ мм}, \quad K_{1\min} = 118,913 \text{ мм};$$

$$K_{2\max} = 46 \text{ мм}, \quad K_{2\min} = 47,38 \text{ мм};$$

$$K_{3\max} = 35,3 \text{ мм}, \quad K_{3\min} = 34,7 \text{ мм};$$

$$K_{4\max} = 73 \text{ мм}, \quad K_{4\min} = 72 \text{ мм};$$

$$K_{5\max} = 20,26 \text{ мм}, \quad K_{5\min} = 19,74 \text{ мм}.$$

Розмірна схема технологічного процесу



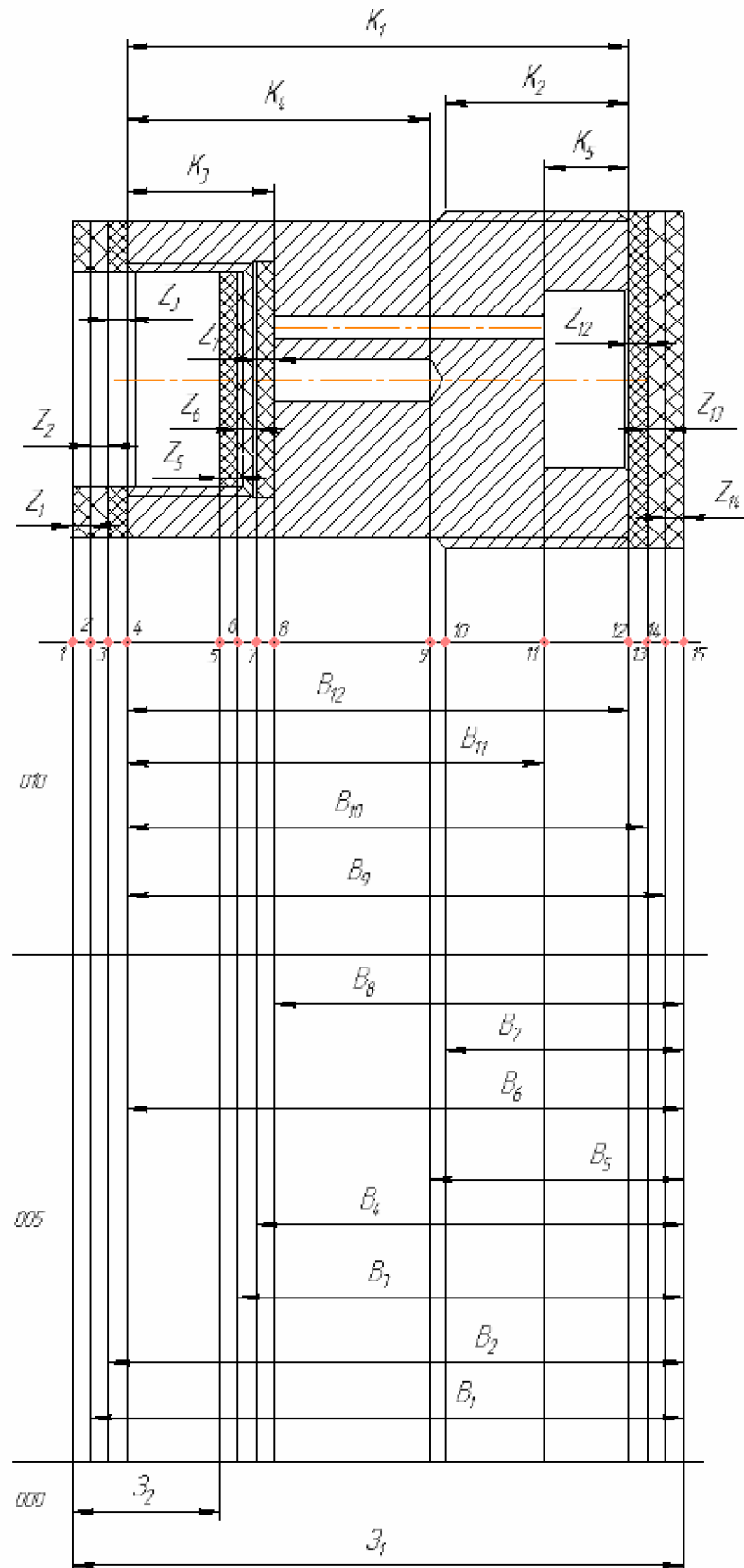


Рисунок 2.8 – Розмірна схема технологічного процесу

Похідний, вихідний графі-дерева, суміщений граф.

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

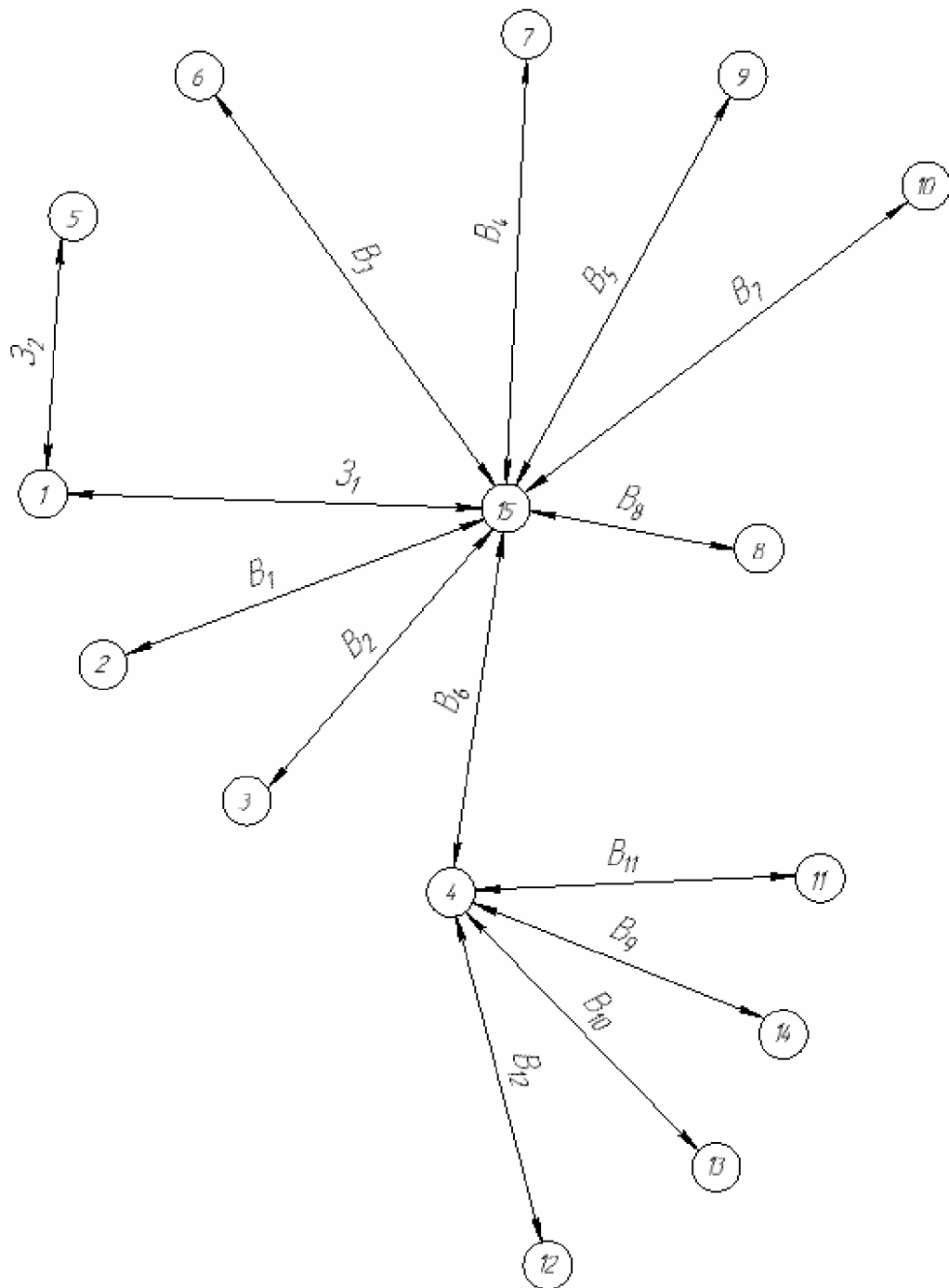


Рисунок 2.9 – Похідне граф-дерево

Граф, складений із технологічних розмірів  $B_1 B_2 \dots$  і розмірів заготовки  $Z_1 Z_2$  називається похідним графом.

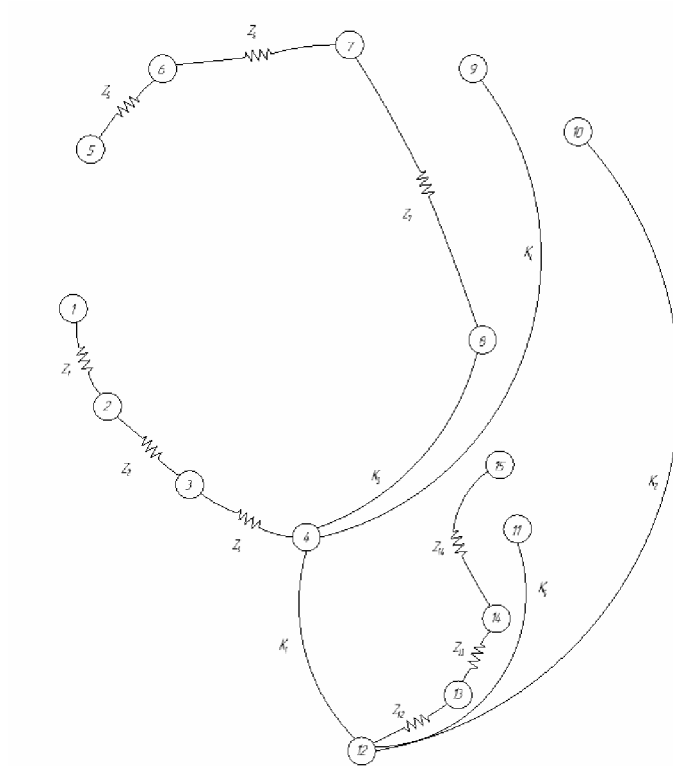


Рисунок 2.10 – Вихідне граф-дерево

Суміщений граф являє собою графічне зображення ТП механічної обробки.

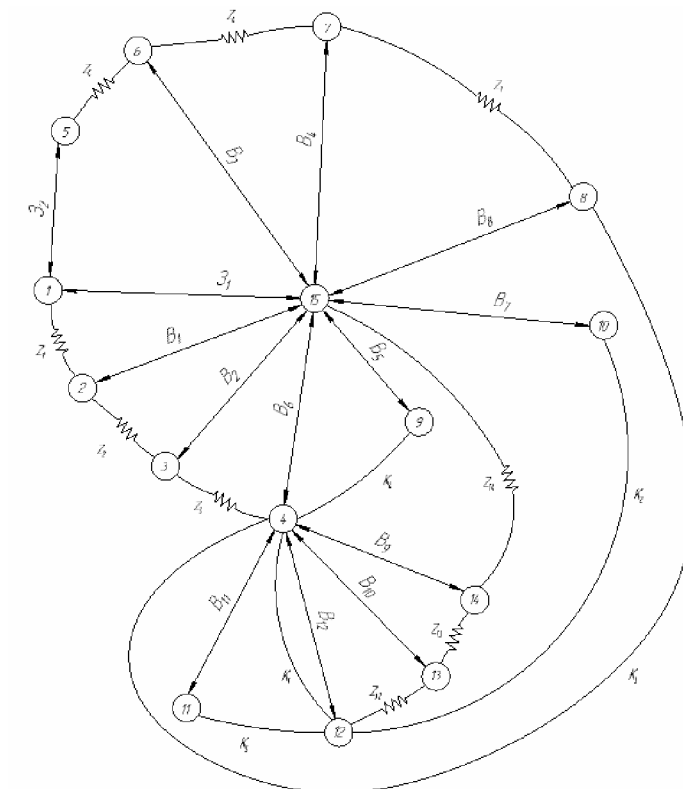


Рисунок 2.11 – Суміщене граф-дерево

Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь.

$$\begin{aligned} z_1 &= 1,2 \text{ мм}; & z_2 &= 0,8 \text{ мм}; \\ z_3 &= 0,4 \text{ мм}; & z_5 &= 0,2 \text{ мм}; \\ z_6 &= 0,4 \text{ мм}; & z_7 &= 0,8 \text{ мм}; \\ z_{12} &= 0,4 \text{ мм}; & z_{13} &= 0,8 \text{ мм}; \\ z_{14} &= 1,2 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Таблиця 2.8 – рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K1 + B12 = 0$	$K1 = B12$	B12
2	$-Z12 - B12 + B10 = 0$	$Z12 = B10 - B12$	B10
3	$-Z13 - B10 + B9 = 0$	$Z13 = B9 - B10$	B9
4	$-Z14 - B9 + B6 = 0$	$Z14 = B6 - B9$	B6
5	$-Z3 - B6 + B2 = 0$	$Z3 = B2 - B6$	B2
6	$-Z2 - B2 + B1 = 0$	$Z2 = B1 - B2$	B1
7	$-Z1 - B1 + 31 = 0$	$Z1 = 31 - B1$	31
8	$-K5 - B11 + B12 = 0$	$K5 = B12 - B11$	B11
9	$-K3 - B8 + B6 = 0$	$K3 = B6 - B8$	B8
10	$-Z7 - B8 + B4 = 0$	$Z7 = B4 - B8$	B4
11	$-Z6 - B4 + B3 = 0$	$Z6 = B3 - B4$	B3
12	$-K4 - B5 + B6 = 0$	$K4 = B6 - B5$	B5
13	$K2 + B6 - B7 - B12 = 0$	$K2 = B12 + B7 - B6$	B7
14	$-32 - Z5 - B3 + 31 = 0$	$Z5 = 31 - B3 - 32$	32

Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція (за необхідністю) допусків технологічних розмірів і (або) маршруту механічної обробки.

Наведемо значення конструкторських розмірів:

$$B12 = K1 = 119_{-0,087}(\text{мм});$$

$$Z_{12 \min} = B_{10 \min} - B_{12 \max};$$

$$B_{10 \min} = B_{12 \max} + Z_{12 \min} = 119 + 0,4 = 119,4 \text{ (MM)};$$

$$B_{10 \max} = B_{10 \min} + IT (B_{10}) = 119,4 + 0,22 = 119,62 \text{ (MM)};$$

$$B_{10} = 119,62_{-0,22} \text{ (MM)};$$

$$Z_{12 \max} = B_{10 \max} - B_{12 \min};$$

$$Z_{12 \max} = 119,62 - 118,813 = 0,807 \text{ (MM)};$$

$$Z_{13 \min} = B_{9 \min} - B_{10 \max};$$

$$B_{9 \min} = B_{10 \max} + Z_{13 \min} = 119,62 + 0,8 = 120,42 \text{ (MM)};$$

$$B_{9 \max} = B_{9 \min} + IT (B_9) = 120,42 + 0,35 = 120,77 \text{ (MM)};$$

$$B_9 = 120,77_{-0,35} \text{ (MM)};$$

$$Z_{13 \max} = B_{9 \max} - B_{10 \min};$$

$$Z_{13 \max} = 120,77 - 119,4 = 1,37 \text{ (MM)};$$

$$Z_{14 \min} = B_{6 \min} - B_{9 \max};$$

$$B_{6 \min} = B_{9 \max} + Z_{14 \min} = 120,77 + 1,2 = 121,97 \text{ (MM)};$$

$$B_{6 \max} = B_{6 \min} + IT (B_6) = 121,97 + 0,35 = 122,32 \text{ (MM)};$$

$$B_6 = 122,32_{-0,35} \text{ (MM)};$$

$$Z_{14 \max} = B_{6 \max} - B_{9 \min};$$

$$Z_{14 \max} = 122,32 - 120,42 = 1,9 \text{ (MM)};$$

$$Z_{3 \min} = B_{2 \min} - B_{6 \max};$$

$$B_{2 \min} = B_{6 \max} + Z_{3 \min} = 122,32 + 0,4 = 122,72 \text{ (MM)};$$

$$B_{2 \max} = B_{2 \min} + IT (B_2) = 122,72 + 0,54 = 123,26 \text{ (MM)};$$

$$B_2 = 123,26_{-0,54} \text{ (MM)};$$

$$Z_{3 \max} = B_{2 \max} - B_{6 \min};$$

$$Z_{3 \max} = 123,26 - 121,97 = 1,29 \text{ (MM)};$$

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

$$B_{1 \min} = B_{2 \max} + Z_{2 \min} = 123,26 + 0,8 = 124,06 \text{ (MM)};$$

$$B_{1 \max} = B_{1 \min} + IT (B_1) = 124,06 + 0,87 = 124,93 \text{ (MM)};$$

$$B_1 = 124,93_{-0,87} \text{ (MM)};$$

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

$$Z_{2 \max} = 124,93 - 122,72 = 2,21 \text{ (MM)};$$

$$Z_{1\min} = 3_{1\min} - B_{1\max};$$

$$3_{1\min} = B_{1\max} + Z_{1\min} = 124,06 + 1,2 = 125,26 \text{ (MM)};$$

$$3_{1\max} = 3_{1\min} + IT(3_1) = 125,26 + 1,4 = 126,66 \text{ (MM)};$$

$$3_1 = 126,66_{-1,4} \text{ (MM)};$$

$$Z_{1\max} = 3_{1\max} - B_{1\min};$$

$$Z_{1\max} = 126,66 - 124,06 = 2,6 \text{ (MM)};$$

$$B_{11\max} = B_{12\max} - K_{5\min} = 119 - 19,74 = 99,26 \text{ (MM)};$$

$$B_{11\min} = B_{12\min} - K_{5\max} = 118,91 - 20,26 = 98,65 \text{ (MM)};$$

$$B_{8\max} = B_{6\max} - K_{3\min} = 122,32 - 34,7 = 87,62 \text{ (MM)};$$

$$B_{8\min} = B_{6\min} - K_{3\max} = 121,97 - 35,3 = 86,67 \text{ (MM)};$$

$$Z_{7\min} = B_{4\min} - B_{8\max};$$

$$B_{4\min} = B_{8\max} + Z_{7\min} = 87,62 + 0,8 = 88,42 \text{ (MM)};$$

$$B_{4\max} = B_{4\min} + IT(B_4) = 88,42 + 0,54 = 88,96 \text{ (MM)};$$

$$B_4 = 88,96_{-0,54} \text{ (MM)};$$

$$Z_{7\max} = B_{4\max} - B_{8\min};$$

$$Z_{7\max} = 88,96 - 86,67 = 2,29 \text{ (MM)};$$

$$Z_{6\min} = B_{3\min} - B_{4\max};$$

$$B_{3\min} = B_{4\max} + Z_{6\min} = 88,96 + 0,7 = 89,36 \text{ (MM)};$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + IT(B_3) = 89,36 + 0,87 = 90,23 \text{ (MM)};$$

$$B_3 = 90,23_{-0,87} \text{ (MM)};$$

$$Z_{6\max} = B_{3\max} - B_{4\min};$$

$$Z_{6\max} = 90,23 - 88,42 = 1,81 \text{ (MM)};$$

$$B_{5\max} = B_{6\max} - K_{4\min} = 122,32 - 72 = 50,32 \text{ (MM)};$$

$$B_{5\min} = B_{6\min} - K_{4\max} = 121,97 - 73 = 48,97 \text{ (MM)}.$$

$$B_{7\max} = B_{6\max} + K_{2\max} - B_{12\min} = 122,32 + 47,38 - 118,913 = 50,787 \text{ (MM)};$$

$$B_{7\min} = B_{6\min} + K_{2\min} - B_{12\max} = 121,97 + 46 - 119 = 48,97 \text{ (MM)}.$$

$$3_{2\max} = 3_{1\max} - Z_{5\min} - B_{3\min} = 126,66 - 0,2 - 89,36 = 37,1 \text{ (MM)};$$

$$3_{2\min} = 3_{2\max} - IT(3_2) = 37,1 - 0,62 = 36,48 \text{ (MM)};$$

$$Z_{5\max} = 3_{1\min} - 3_{2\min} - B_{3\max};$$

$$Z_{5\max} = 125,26 - 36,48 - 90,23 = 1,45 \text{ (MM)}.$$

Отже визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним.

## 2.6 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 10H7$

Технологічний маршрут обробки поверхні  $\varnothing 10H7$  складається із свердління, подвійного зенкерування та одного остаточного розвертування.

Визначення значень  $R_z$  і  $T$  проводимо відповідно до рекомендацій наведених в враховуючи, що для заготовки дані параметри рівні 150 та 250 мкм відповідно. При свердлінні приймаємо  $R_z = T = 100$  мкм, а на наступному переході (попереднє зенкерування) відповідно 50 та 50 мкм відповідно, а на фінішному переході відповідно 20 та 25 мкм відповідно, при розвертуванні –  $R_z = 10$  мкм,  $T = 20$  мкм.

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу визначається по формулі:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{жол}^2 + \rho_{зм}^2}, \text{ [мкм]} \quad (2.15)$$

$$\rho_{жол} = \sqrt{(0,7 \cdot 90)^2 + (0,7 \cdot 19)^2} = 64,39 \text{ (мкм)};$$

$\Delta_K$  - часткова кривизна заготовок на один міліметр довжини;

$$\rho = \sqrt{64,39^2 + 110^2} = 0,127 \text{ мм} = 127 \text{ (мкм)}.$$

При визначенні  $\rho_{зм}$  в даному випадку слід брати до уваги точність розміщення базових поверхонь, які використовуються при даній схемі

установки і отриманих на попередніх операціях, відносно оброблюваної в даній установці поверхні.

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_n = k \cdot \rho_{n-1}, \text{ [мкм]} \quad (2.16)$$

Остаточне просторове відхилення:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 127,46 = 7,65 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_2 = 0,08 \cdot 7,65 = 0,38 \text{ (мкм)};$$

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

$$2Z_{\min} = 2 \left( R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \text{ [мкм]} \quad (2.17)$$

$\varepsilon_1$  – похибка установки при чорновому розточуванні

Похибка установки при попередньому розточуванні:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2}, \text{ [мкм]} \quad (2.18)$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування;

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення.

При обробці даної поверхні  $\varepsilon_{\delta} = 0$ ,  $\varepsilon_3 = 110$  мкм [2].

$$\varepsilon_1 = \sqrt{0 + 110^2} = 110 \text{ (мкм)}.$$

$\varepsilon_2$  – похибка установки при чистовому розточуванні.

$$\varepsilon_2 = 0.05 \cdot \varepsilon_1; \text{ [мкм]} \quad (2.19)$$



$$\varepsilon_2 = 0,05 \cdot 110 = 5,5 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск під точіння:

Під свердління:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (150 + 250 + \sqrt{127,46^2 + 110^2}) = 2 \cdot 568 \text{ (мкм)};$$

Під попереднє зенкерування:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (100 + 100 + \sqrt{7,65^2 + 5,5^2}) = 2 \cdot 209 \text{ (мкм)};$$

Під остаточне зенкерування:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (50 + 50 + 0,38) = 2 \cdot 100 \text{ (мкм)};$$

Під розвертування:

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (20 + 25) = 2 \cdot 45 \text{ (мкм)}.$$

При тонкому точінні маємо отримати розмір вказаний на креслені:

$$d = 10,015 \text{ (мм)}.$$

Знаходивши значення розрахункового діаметра, заповнюємо, починаючи з кінцевого (що на кресленні) розміру шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

$$d_4 = 10,015 \text{ (мм)};$$

$$d_3 = 10,015 - 2 \cdot 0,045 = 9,925 \text{ (мм)};$$

$$d_2 = 9,925 - 2 \cdot 0,100 = 9,725 \text{ (мм)};$$

$$d_1 = 9,725 - 2 \cdot 0,209 = 9,307 \text{ (мм)}.$$

$$d_{\text{зар}} = 9,307 + 2 \cdot 0,568 = 10,443 \text{ (мм)}.$$

Значення допусків кожного переходу приймаються по таблицям відповідно до квалітету того чи іншого виду обробки занесено до таблиці.

Максимальні граничні розміри отримуються по розрахунковим розмірам заокругленим до точності допуску відповідного переходу.

Найменші граничні розміри визначаємо, віднімаючи допуск до заокругленого найбільшого значення граничного розміру:

$$d_{\text{min}4} = 10,015 - 0,015 = 10 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{min}3} = 9,925 - 0,022 = 9,903 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{min}2} = 9,73 - 0,058 = 9,672 \text{ (мм)};$$

$$d_{\text{min}1} = 9,31 - 0,22 = 9,09 \text{ (мм)};$$

Тобто:

Граничні значення припусків  $Z_{\text{max}}^{\text{ep}}$  визначаємо як різниця найбільших граничних розмірів та  $Z_{\text{min}}^{\text{ep}}$  - як різниця найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів:

для розвертування:

$$2Z_{\text{min}4} = 10,015 - 9,925 = 0,09 \text{ мм} = 90 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\text{max}4} = 10 - 9,903 = 0,097 \text{ мм} = 97 \text{ (мкм)};$$

для остаточного зенкерування:

$$2Z_{\text{min}3} = 9,925 - 9,73 = 0,195 \text{ мм} = 195 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\text{max}3} = 9,903 - 9,672 = 0,231 \text{ мм} = 231 \text{ (мкм)};$$

для попереднього зенкерування:

$$2Z_{\min 2} = 9,73 - 9,31 = 0,42 \text{ мм} = 420 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 2} = 9,672 - 9,09 = 0,582 \text{ мм} = 582 \text{ (мкм)}.$$

Загальні припуски розраховуємо, сумуючи проміжні припуски і записуємо отримані значення у нижній частині таблиці.

Виконуємо перевірку правильності виконуваних розрахунків:

$$2Z_{0\min} = 420 + 195 + 90 = 705 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{0\max} = 582 + 231 + 97 = 910 \text{ (мкм)}.$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 2.9

Таблиця 2.9 – Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору  $\varnothing 10H7$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 10$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, мм $d_p$	Допуск мкм $\delta$	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків	
	$R_z$	T	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Свердління	100	100	7,68	110	2·568	9,307	0,22	9,09	9,31		
Попереднє зенкерування	50	50	0,38	5,5	2·209	9,725	0,058	9,672	9,73	0,42	0,582
Остаточне зенкерування	20	25	-	0,275	2·100	9,925	0,022	9,903	9,925	0,195	0,231
Розвертування.	10	20	-		2·45	10,015	0,015	10	10,015	0,09	0,097
Ітого										0,705	0,91

Використовуючи довідникові дані [6], визначаємо мінімальні припуски на механічну обробку решти циліндричних поверхонь та розраховуємо відповідні

граничні розміри і максимальні припуски, результат та хід розрахунку зображаємо у вигляді таблиць.

Таблиця 2.10 – Розрахункові значення припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром  $\varnothing 75f9$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 75f9$	Елементи припуска, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах. розмір, мм $d_p$	Допуск мм $\delta$	Граничний розмір		Граничні значення	
	Rz	T	$\rho$	$\varepsilon_y$				dmin	dmax	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка	50	100	100	110		75,626	0,6	75,6	76,2		
Точіння попереднє	20	25	5	5,5	$2 \cdot 350$	74,926	0,12	74,93	75,05	0,7	0,93
Точіння остаточне	5	5	-	-	$2 \cdot 50$	74,826	0,074	74,826	74,9	0,104	0,15
Сума										0,804	1,08

## 2.7 Визначення режимів різання при різних методах механічної обробки

Режими обробки деталі – найважливіший фактор протікання технологічного процесу. Режим різання металу містить такі основні елементи:

глибина різання  $t$ , мм;

подача  $s$ , мм/об;

швидкість різання  $v$ , м/хв ( частота обертання шпинделя верстата  $n$ , об/хв, або число подвійних ходів  $n$ , подв. х/хв).

Приведемо приклад аналітичного розрахунку режимів різання для точіння зовнішньої поверхні та свердління отворів.

Операція 010. Токарна з ЧПК

Модель верстата – Spinner TC300-52

Ескіз механічної обробки див. табл. 4.3

Перехід 1.

Точити поверхню 1 попередньо.

Ріжучий інструмент: Різець прохідний T15K6; переріз державки 16×25 мм.

$\gamma=120^\circ$ ;  $\lambda=6^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $r=1$ мм.

1. Глибину різання визначаємо, виходячи із заданих розмірів.

$$t = (D-d)/2 = (75,76 - 76,8)/2 = 0,52 \text{ (мм)}.$$

2. Подачу визначаємо за нормативами. Для різців Т15К6 з заданими параметрами рекомендується подача  $S=0,25-0,4$  мм/об. [8].

Керуючись по паспорту верстата приймаємо  $S=0,3$  мм/об.

Допустиме зусилля супорта  $P_{\text{доп}}=600$  Кгс;

Зусилля різання при заданих режимах різання  $P_x=135\dots240$  Кгс;  $P_x < P_{\text{доп}}$ .

3. Назначаємо період стійкості різців. Для багато інструментальної наладки приймаємо  $T=90$  хв. Допустиме зношення  $h_3=0,9-1,5$  мм;

4. Швидкість різання, допустима ріжучими властивостями різця  $V_{\text{табл}} = 84$  м/хв. [8]. Матеріал без корки  $K_{nv}=1$ ; матеріал різців Т15К6,  $K_{uv}=1$ ;

$$V_{\text{різ}} = V_{\text{таб}} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 84 \cdot 1 \cdot 0,85 = 71,41 \text{ (м/хв)}.$$

5. Частота обертання шпинделя складає

$$n = 1000 \cdot V / \Pi \cdot D = 1000 \cdot 71,41 / 3,14 \cdot 75,76 = 299,7 \text{ (об/хв)}.$$

Коректуючи по паспорту, приймаємо  $n=300$  (об/хв).

Дійсна швидкість різання складає:

$$V = \Pi \cdot D \cdot n / 1000 = 3,14 \cdot 75,76 \cdot 300 / 1000 = 71,4 \text{ (м/хв)}.$$

6. Потужність різання при заданій точності складає  $N_{\text{таб}}=1,3$  кВт.

Ефективна потужність верстата на шпинделі:

$$N_B = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 8 \cdot 0,85 = 6,4 \text{ (кВт)}; N_{\text{різ}} < N_B.$$

Умови по обробці різанням (потужності) виконуються.

7. Основний (машинний) час по переходам складає:

$$T = l_{p.x.} \cdot i/n \cdot s = 75 \cdot 1/300 \cdot 0,3 = 0,833 \text{ (хв.)},$$

де  $l_{p.x.} = l_g + y + \Delta = 73 + 2 + 0 = 75 \text{ (мм)}$ .

Операція 015. Фрезерна з ЧПК, модель верстата – Spinner U4-620, ескіз механічної обробки див. табл. 4.3.

Перехід 4 – фрезерувати паз 3 однократно.

Інструмент - кінцева фреза з конічним хвостовиком [6], з пластинами з твердого сплаву T15K6, діаметром  $d = 10 \text{ мм}$ , загальною довжиною  $40 \text{ мм}$ , довжиною ріжучої частини  $10 \text{ мм}$ ; числом зубців  $z = 12$ .

Визначення припуску на обробку:

$$t = 10/2 = 5 \text{ (мм)}.$$

Визначення подачі: вихідною величиною подачі для чорнової обробки являється величина її на один зуб  $s_z$ . вибираємо рекомендовану із [9] подачу в залежності від діаметра фрези  $s_z = 0,02 \text{ мм/зуб}$  для повздовжнього руху при фрезеруванні шпоночного пазу.

Визначаємо швидкість різання:

Розраховується за аналітичною формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_v \cdot [M/ХВ]$$

Вибираємо для цього із [5] значення коефіцієнтів:

$$C_v = 12; x = 0,3; u = 0; m = 0,26; q = 0,3; y = 0,25; p = 0;$$

$B$  – ширина фрезерування,  $B = 10 \text{ мм}$ ;

$T = 30$  год – період стійкості інструмента;

$K_v$  – поправочний коефіцієнт,

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv},$$

де  $K_{Mv} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу,

$K_{nv} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки,

$K_{uv} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

Тоді швидкість різання буде рівна:

$$v = \frac{12 \cdot 10^{0.3}}{30^{0.26} \cdot 5^{0.3} \cdot 0.02^{0.25} \cdot 10^0 \cdot 12^0} \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 15,98 \text{ (м/хв)}.$$

- визначаємо частоту обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 15,98}{3,14 \cdot 10} = 508 \text{ (хв}^{-1}\text{)}.$$

За паспортними даними верстат Spinner U4-620 має можливість

безступінчастого регулювання швидкості, тому залишаємо частоту обертання

без змін. Тоді  $n_{\text{пр}} = 508$  об/хв.

Знаходимо силу різання:

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

де коефіцієнти знаходимо із [6]:

$$C_p = 12,5; x = 0,85; y = 0,75; u = 1,0; q = 0,73; w = -0,13;$$

$K_{MP}$  для сталі становить 0,75;

Отже:

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 5^{0,85} \cdot 0,02^{0,75} \cdot 10^{1,0} \cdot 12}{10^{0,73} \cdot 508^{-0,13}} \cdot 0,75 = 983 \text{ (Н)}.$$

- знаходимо величини інших складових сили різання:

$$P_h = 0,3 \cdot P_z = 0,3 \cdot 983 = 294,9 \text{ (Н)};$$

$$P_y = 0,35 \cdot P_z = 0,35 \cdot 983 = 344,1 \text{ (Н)};$$

$$P_x = 0,55 \cdot P_z = 0,55 \cdot 983 = 540,65 \text{ (Н)}.$$

- складова, по якій розраховують оправку на згин:

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = \sqrt{344,1^2 + 983^2} = 1041,5 \text{ (Н)}.$$

- знаходимо крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{983 \cdot 10}{2 \cdot 1000} = 4,92 \text{ (Нм)}.$$

- знаходимо потужність різання:

$$N_v = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{983 \cdot 15,98}{1020 \cdot 60} = 0,26 \text{ (кВт)}.$$

- перевіряємо відповідність верстата:

$$N_{ном} = 0,26 \text{ (кВт)} \leq [N_{верст}] = 11 \text{ (кВт)}$$



Отже, робимо висновок, що процес фрезерування можливий  
8. Основний (маршрутний) час, складає:

$$I = L / s_z \cdot z \cdot n = 30 / (0,02 \cdot 12 \cdot 508) = 0,246 \text{ (хв.)},$$

де  $L = l_n + l_H + l_p = 0 + 30 + 0 = 30 \text{ (мм)}$ .

Всі отримані дані зводимо до таблиці 2.8, де розміщуємо величини режимів різання і на інші конструкторські бази й кріпильні поверхні, що вибираємо аналогічним способом.

Оптимізація на ЕОМ режимів різання на поверхні чистового точіння  $\varnothing 75f9$  здійснюємо за допомогою електронної програми.

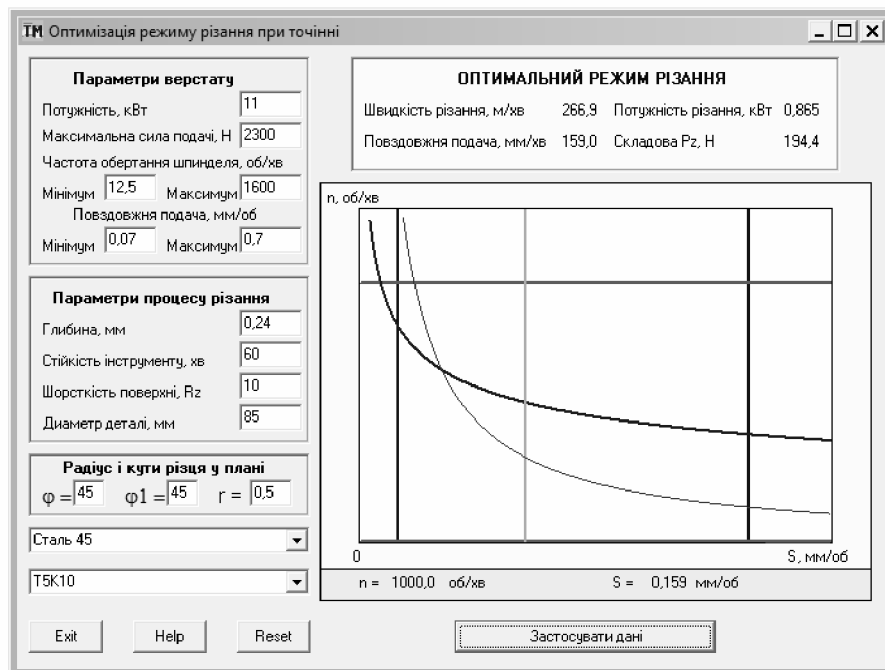


Рисунок 2.12 – Оптимізація режимів різання для чистового точіння  $\varnothing 75f9$

## 2.8 Визначення технічних норм часу для всіх операцій

В нашій роботі скористаємося укрупненими нормативами по розрахунку технічних норм часу.

Наприклад, для підрізання торця технологічний час визначається за формулою:

$$t_o = T_o = 0,037 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3}, [\text{хв}] \quad (2.29)$$

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$t_{um} = t_o \cdot \varphi_k, [\text{хв}] \quad (2.30)$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт, що визначається типом обладнання, наприклад, для токарно-револьверних верстатів з ЧПК він складає 1,35 [5]. Аналогічно визначається штучно – калькуляційний час для усіх інших операцій, дані заносимо до таблиці 2.12.

Наприклад для операції 010 за формулами з [4]:

$$\begin{aligned} T_{\text{очн}} &= 0,17 \cdot d \cdot l + 0,037 \cdot (D^2 - d^2) + 0,18 \cdot d \cdot l + 0,052 \cdot (D^2 - d^2) + 0,18 \cdot d \cdot l + 0,18 \cdot d \cdot l + \\ &+ 0,18 \cdot d \cdot l + 0,2 \cdot d \cdot l + 0,052 \cdot (D^2 - d^2) + 0,19 \cdot d \cdot l = \\ &= (0,17 \cdot 80 \cdot 46 + 0,037 \cdot (80^2 - 42^2) + 0,18 \cdot 80 \cdot 46 + 0,052 \cdot (80^2 - 42^2) + 0,18 \cdot 42 \cdot 20 + \\ &+ 0,18 \cdot 42 \cdot 1 + 0,18 \cdot 80 \cdot 1 + 0,2 \cdot 80 \cdot 46 + 0,052 \cdot (80^2 - 42^2) + 0,19 \cdot 80 \cdot 46) \cdot 10^{-3} = 3,55 \text{ (хв.)}; \end{aligned}$$

Таблиця 2.12 – Норми штучно-калькуляційного часу

Номер і найменування операції	$T_o, \text{хв}$	$T_e, \text{хв}$			$T_{об}, \text{хв}$	$T_{от}, \text{хв}$	$T_{um}, \text{хв}$	$T_{n-3}, \text{хв}$	$n$	$T_{um-k}, \text{хв}$
		$T_{y.c} + T_{z.o}$	$T_{y.n}$	$T_{uz}$						
Токарно-револьверна з ЧПК 005	4,88	0,45	0,4	0,1	0,368	0,272	6,47	30	20	7,97
Токарно-револьверна з ЧПК 010	3,55	0,45	0,4	0,1	0,315	0,225	5,04	30	20	6,54
Фрезерна з ЧПК 015	3,27	0,45	0,4	0,1	0,295	0,211	4,726	30	20	6,226

Загальний час на обробку деталі становитиме:

$$T_{заг} = 7,97 + 6,54 + 6,226 = 20,736 \text{ (хв.)}$$

## 2.9 Розрахунок елементів дільниці механічної обробки

Розрахунок приведеної програми.

Існує три види програми [13]:

- 1). Точна – для М і ВС виробництва – коли є креслення і всі технічні вимоги.
- 2). Умовна – для О виробництва – розробляється умовно по представнику.
- 3). Приведена – С, ДС виробництво – номенклатура випуску деталей дуже велика.

$$0,5 m_{\max} \leq m \leq 2 m_{\min} \quad (2.31)$$

$$0,1 N_{\max} \leq N \leq 10 N_{\min} \quad (2.32)$$

де  $m_{\max}$ ,  $m_{\min}$ ,  $N_{\max}$ ,  $N_{\min}$  – відповідно найбільші і найменші значення маси і річного об'єму об'єктів виробництва, які входять в групу.

Всі деталі в групі приводять до представника за допомогою загального коефіцієнта приведення:

$$K_{\text{пр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.33)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт приведення по масі;

$K_2$  – коефіцієнт приведення по серійності;

$K_3$  – коефіцієнт приведення по складності.

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{\text{пр}}}\right)^2}, \quad (2.34)$$

де  $m_i$  - маса і-ї деталі,

$m_{\text{пр}}$  - маса представника

Для деталі 1 отримаємо:

$$K_{1B2} = \sqrt[3]{\left(\frac{6}{3,108}\right)^2} = 1,55.$$

Для деталі 2 отримаємо:

$$K_{1B3} = \sqrt[3]{\left(\frac{2}{3,108}\right)^2} = 0,745.$$

Для деталі 3 отримаємо:

$$K_{1B3} = \sqrt[3]{\left(\frac{4}{3,108}\right)^2} = 1,183.$$

Коефіцієнт приведення по серійності:

$$K_2 = \left(\frac{N_{np}}{N_i}\right)^\alpha, \quad (2.35)$$

де  $N$  – програма випуску представника, програма випуску  $i$ -ї деталі,  
 $\alpha$  - показник степені, що складає для середнього машинобудування 0,15, а  
 для важкого машинобудування 0,2.

В даному випадкові отримаємо.

Для деталі 1:

$$K_{2B2} = \left(\frac{2500}{500}\right)^{0,15} = 1,273.$$

Для деталі 2:

$$K_{2B3} = \left( \frac{2500}{15000} \right)^{0,15} = 0,764.$$

Для деталі 3:

$$K_{2B4} = \left( \frac{2500}{3000} \right)^{0,15} = 0,973.$$

Коефіцієнт приведення по складності:

$$K_3 = \frac{(\overline{K}_{Ti})^{\alpha_1}}{(\overline{K}_{T.пр.})^{\alpha_1}} \cdot \frac{(\overline{R}_{ai})^{\alpha_2}}{(\overline{R}_{a.пр.})^{\alpha_2}}, \quad (2.36)$$

$K_{Ti}$ ,  $K_{Tпр}$  - середнє значення точності деталі і представника;

$R_{ai}$ ,  $R_{апр}$  - середнє значення шорсткості деталі і представника .

Для деталі 1 отримаємо:

$$\overline{K}_{Tр.пр} = \frac{\sum K_{\nu} \cdot n_{\kappa \nu}}{\sum n_{\kappa \nu}} = \frac{7 \cdot 6 + 9 \cdot 4 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 32}{6 + 4 + 1 + 2 + 32} = 12,46$$

Для інших виконуємо розрахунки аналогічно (дані приведено в таблицях 2.14, 2.15)

Для деталі 1 отримаємо:

$$\overline{K}_{Tр.пр}^{B2} = \frac{\sum K_{\nu} \cdot n_{\kappa \nu}}{\sum n_{\kappa \nu}} = \frac{7 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 8 + 14 \cdot 11}{1 + 1 + 1 + 2 + 8 + 11} = 12,25;$$

$$K_{3.1} = \left( \frac{\overline{K}_T^{B2}}{\overline{K}_{Tр.пр}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(12,25)^{\alpha_1}}{(12,46)^{\alpha_1}} = \frac{0,875}{0,849} = 1,031.$$

Для деталі 2 отримаємо:

$$\overline{K_{Tp.np}^{B3}} = \frac{\sum K_{\theta} \cdot n_{кв}}{\sum n_{кв}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 14}{2 + 2 + 2 + 3 + 4 + 14} = 11,926;$$

$$K_{3.1} = \left( \frac{\overline{K_T^{B3}}}{\overline{K_{Tp.np}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(11,926)^{\alpha_1}}{(12,46)^{\alpha_1}} = \frac{0,903}{0,849} = 1,064.$$

Для деталі 3 отримаємо:

$$\overline{K_{Tp.np}^{B4}} = \frac{\sum K_{\theta} \cdot n_{кв}}{\sum n_{кв}} = \frac{8 \cdot 3 + 9 \cdot 4 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 6 + 14 \cdot 13}{3 + 4 + 2 + 6 + 13} = 11,929;$$

$$K_{3.1} = \left( \frac{\overline{K_T^{B2}}}{\overline{K_{Tp.np}}} \right)^{\alpha_1} = \frac{(11,929)^{\alpha_1}}{(12,46)^{\alpha_1}} = \frac{0,904}{0,849} = 1,065.$$

Коефіцієнт приведення для деталі 1 складає:

$$K_{npB2} = 1,55 \cdot 1,273 \cdot 1,039 = 2,05$$

Коефіцієнт приведення для деталі 2 складає:

$$K_{npB3} = 0,745 \cdot 0,764 \cdot 1,016 = 0,578$$

Коефіцієнт приведення для деталі 3 складає:

$$K_{npB4} = 1,183 \cdot 0,973 \cdot 1,108 = 1,275$$

Дані розрахунків приведено в таблиці 2.15

$$N_{np} = N_{пред} + N_1 \cdot K_{np1} + N_2 \cdot K_{np2} + N_3 \cdot K_{np3} \cdot [\text{шт.}] \quad (2.37)$$

$$N_{np} = 2500 \cdot 1,0 + 500 \cdot 2,05 + 15000 \cdot 0,578 + 3000 \cdot 1,275 = 16020 \text{ (шт.)}.$$

Отже при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників та при розробці технологічної документації – буде прийматися до уваги приведена програма та деталь представник.

Розрахунок кількості верстатів.

Кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = T_{np} / (\Phi_d \cdot \eta_{з.ср}), \quad (2.38)$$

де  $T_{np}$  – сумарна трудомісткість деталей, год;

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

$\eta_{з.ср}$  - коефіцієнт завантаження.

Враховуючи проведене раніше нормування часу розраховуємо сумарну трудомісткість деталей:

$$T_{np} = \frac{T_{шт.к.} \cdot N}{60} \text{ [год.]} \quad (2.39)$$

Оскільки виробництво серійне, тому використовується універсальне обладнання, або обладнання з ЧПК. Обладнання такого типу можна досить швидко переналагоджувати. Виходячи з цього ми об'єднаємо час виконання операцій на однаковому обладнанні.

Кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = \frac{N_{np} \cdot T_{штк}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{зн}} \text{ [шт.]}, \quad (2.40)$$

де  $T_{np}$  – сумарна трудомісткість деталей, год.;  $F_d$  – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год.

Враховуючи проведене раніше нормування часу розраховуємо сумарну трудомісткість деталей:

Операція 005 – токарно-револьверна з ЧПК  $T_{шт-к} = 7,97$  хв.

$$C_{p005} = \frac{16020 \cdot 7,97}{60 \cdot 3890} = 0,547.$$

Прийнята кількість – 1.

Операція 010 – токарно-револьверна з ЧПК  $T_{шт-к} = 6,54$  хв.

$$C_{p010} = \frac{16020 \cdot 6,54}{60 \cdot 3890} = 0,449.$$

Прийнята кількість – 1.

Операція 015 – фрезерна з ЧПК  $T_{шт-к} = 6,226$  хв.

$$C_{p015} = \frac{16020 \cdot 6,226}{60 \cdot 3890} = 0,427.$$

Прийнята кількість – 1.

За розрахованими даними приймаємо необхідну кількість обладнання на відповідні операції:

$$P_1 = 1; \quad P_2 = 1; \quad P_3 = 1;$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_z = \frac{C_p}{P}, \quad (2.40)$$

де  $P$  – прийнята кількість верстатів;

$C_p$  – розрахункова кількість верстатів.



Визначаємо коефіцієнт використання обладнання за основним часом для операцій 005:

$$\eta_{3005} = \frac{0,547}{1} = 0,547.$$

Визначаємо коефіцієнт використання обладнання за основним часом для операцій 010:

$$\eta_{3010} = \frac{0,449}{1} = 0,449$$

Визначаємо коефіцієнт використання обладнання за основним часом для операцій 015:

$$\eta_{3015} = \frac{0,427}{1} = 0,427$$

Визначаємо коефіцієнт використання обладнання за основним часом:

$$\eta_o = \frac{t_{осн.}}{t_{шт.-к.}}, \quad (2.41)$$

де  $t_{осн.}$  – основний час;

$t_{шт.-к.}$  – штучно-калькуляційний час

Розраховуємо середнє значення коефіцієнта завантаження обладнання:

$$\eta_{з.сер.} = \frac{54,7 + 44,9 + 42,7}{3} = 47,43 \text{ \%}.$$

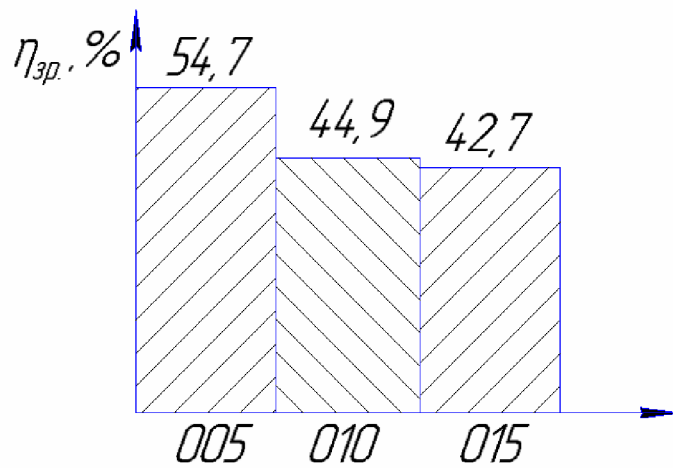


Рисунок 2.13 – Графік завантаження обладнання

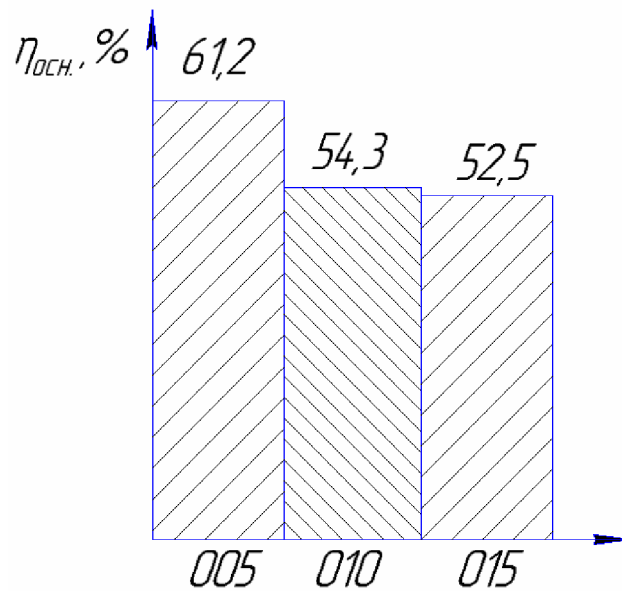


Рисунок 2.14 – Графік завантаження обладнання за основним часом

Визначення кількості працюючих на дільниці.

1) Розраховуємо кількість основних робітників (верстатників):

$$P_{\text{верст}} = \frac{\Sigma T_{\text{шт.п}}}{\Phi_p \cdot K_s}, [\text{чол.}] \quad (2.42)$$

де  $\Phi_p$  – дійсний річний фонд,  $\Phi_p = 1840$ ;

$K_M$  – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування ( $K_M = 1$  для універсального обладнання,  $K_M = 2 \dots 3$  для верстатів з програмним керуванням).

$$R_{CT} = \frac{7,97 \cdot 16020}{60 \cdot 1820 \cdot 2} = 0,585 \text{ чол.} \rightarrow 1 \text{ робітник.}$$

$$R_{CT} = \frac{6,54 \cdot 16020}{60 \cdot 1820 \cdot 2} = 0,48 \text{ чол.} \rightarrow 1 \text{ робітник.}$$

$$R_{CT} = \frac{6,226 \cdot 16020}{60 \cdot 1820 \cdot 2} = 0,457 \text{ чол.} \rightarrow 1 \text{ робітник.}$$

Приймаємо: 3 чоловіки.

2) Розраховуємо кількість допоміжних робітників:

При великосерійному виробництві кількість допоміжних робітників складає 20–25%, від загальної кількості верстатників.

$$P_{дон} = 3 \cdot 0,22 = 0,66 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 чол.

3) Розраховуємо кількість інженерно-технічних робітників (ІТР):

При великосерійному виробництві кількість ІТР складає 15% – 21%, від заданого числа основних робітників, більше значення приймаємо коли верстатників менше 50 чоловік.

$$P_{ИТР} = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ (чол.)}$$

Приймаємо 1 чол.

4) Розраховуємо кількість службовців:

При серійному виробництві кількість службовців складає 0,6% – 1,6%, від загального числа верстатників, більше значення приймаємо коли верстатників менше 70 чоловік.

$$P_c = 3 \cdot 0,01 = 0,03 = 1 \text{ (чол.)}.$$

5) Розраховуємо кількість молодший-обслуговуючий персонал:

Кількість МОП складає 1% від загальної кількості робітників:

$$P_{\Sigma} = P_{верст} + P_{дон} + P_{ITP} + P_c = 3 + 1 + 1 + 1 = 6 \text{ (чол.)}.$$

$$P_{МОП} = 6 \cdot 0,02 = 0,12 \text{ (чол.)}.$$

Приймаємо 1 чоловік.

## 2.10 Висновок до 2 розділу

В даному розділі було проведено удосконалення маршруту механічної обробки деталі «Сопло» із застосуванням сучасного металообробного обладнання, яке забезпечить задані параметри точності деталі. У якості основго обладнання використано токарно-револьверний верстат SPINNER TC300-32. В порівнянні з базовим маршрутом механічної обробки кількість операцій зменшилась на 4 операції. Було проведено порівняння сумарної похибки механічної обробки поверхні  $\varnothing 75f9$  на різних типах верстатів. Мінімальне значення сумарної похибки механічної обробки буде отримано при обробці на верстаті з ЧПК підвищеної точності SPINNER TC300-32. Також було проведено аналіз технологічності деталі. Для забезпечення точності виготовлення та якості поверхонь за допомогою розмірного аналізу були розраховані проміжні розміри та припуски. Також були призначенні режими різання та норми часу на переходи механічної обробки. Було проведено розрахунок дільниці механічної обробки для покращення техніко-економічних показників.

### 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки по удосконаленню дільниці механічної обробки деталі ”Сопло 14.26.1”, 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
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. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому 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		
	Козлов Л. Г.	Савуляк В. В.	Петров О. В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	1	2
2	1	2	2
3	2	3	2
4	3	2	3
5	3	4	4
6	1	2	2
7	3	2	3
8	2	4	3
9	2	3	2
10	3	2	3
11	3	3	2
12	4	3	4
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =29	СБ <sub>2</sub> =31	СБ <sub>3</sub> =32

Середньоарифметична сума балів  $\overline{СБ}$

$$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{29+31+32}{3} = 30,66$$

Дана розробка має рівень комерційного потенціалу вище середнього.

### 3.2 Прогноз попиту на інноваційне рішення

Так як деталь "Сопло 14.26.1" не може бути реалізована самостійно на ринку то його прогнозований попит буде становити залежно програми випуску готового виробу.

Ринками збуту продукції можуть бути промислові регіони України.

Оскільки загальний ресурс роботи нагнітача тиску, до складу якого входить деталь "Сопло 14.26.1", є досить великим, тому будемо вважати, що його покупка підприємством буде разовою. Також оцінивши новизну, та техніко-економічні показники можна припустити що нагнітач тиску буде зберігати свою актуальність протягом 5 років.

### 3.3 Вибір каналів збуту та післяпродажного обслуговування

Враховуючи те, що деталь "Сопло 14.26.1" не може бути реалізована самостійно, тому канали збуту будь обиратись для всього виробу, а саме нагнітача тиску НВ-К14.

Канали збуту - це сукупність фірм чи окремих осіб, які виконують посередницькі функції щодо фізичного переміщення товарів. Зважаючи на те, що нагнітачі тиску розповсюджуються на заводи-виробники переробної техніки та на фірми, що розповсюджують запасні частини до такої техніки, основними каналами розповсюдження будуть:

- канал нульового рівня, що передбачає реалізацію нагнітачів на підприємства-виробники переробної техніки;
- канал першого рівня, що передбачає реалізацію нагнітачів оптовим дилерам.

### 3.4 Виявлення основних конкурентів

На сьогоднішній день в Україні випуском нагнітачів тиску крім Вінницького агрегатного заводу займається ОАО "Гідросила" м.



Кропивницький. В таблиці 4.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і розробки. Основним недоліком аналога (тобто обробки спочатку точінням а потім обкочуванням) є велика собівартість обробки, оскільки значно більше часу затрачається.

Таблиця 3.4 – Співвідношення параметрів аналогу і нової розробки

Показник	Одиниці виміру	<i>Аналог, нагнітач тиску НК-14</i>	Нагнітач тиску НВ-К14	Відношення параметрів нового пристосування і параметрів аналога
Кількість операцій	шт.	4	3	1,33
Кількість одиниць обладнання	шт.	4	3	1,33
Сумарний час механічної обробки	хв.	24,12	20,74	1,16

Аналізуючи таблицю 3.4 можна зробити висновок, що нова розробка є кращою ніж аналог. Вона має меншу собівартість при вищому номінальному тиску, що дозволить отримати кращі експлуатаційні характеристики.

### 3.5 Обрання методу ціноутворення

При обранні методу ціноутворення на нагнітач тиску складовою частиною якого є сопло необхідно враховувати ціну основного конкурента на аналогічний за характеристиками нагнітач тиску.

Закордонні аналоги можуть скласти конкуренцію лише за рахунок підвищених експлуатаційних характеристик. Але собівартість таких нагнітачів набагато вища.

Серед ринкових методів ціноутворення з орієнтацією на конкурентів обираємо метод рівноважної ціни, сутність якого полягає у встановленні цін з врахуванням витрат, попиту і конкуренції.

Зважаючи на кращі параметри розроблюваного приладу ніж у аналога, пропонується продавати даний нагнітач за ціною аналогічною до конкурента, що забезпечить конкурентоспроможність даного пристосування на ринку в нашій країні та 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.

Таблиця 3.5 – Основні техніко-економічні показники нової розробки

Показник	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	краще	середнє	гірше	
Кількість операцій		8		0,3
Кількість одиниць обладнання		8		0,3
Сумарний час механічної обробки	9			0,4

Визначимо абсолютний рівень інноваційного рішення за формулою:

$$K_{ap} = \sum_{i=1}^n P_{Hi} \cdot \alpha_i, \quad (3.1)$$

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.

$$K_{ap}=8\cdot 0,3+8\cdot 0,3+9\cdot 0,4=8,4.$$

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 3.6, для цього скористаємося формулами:

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

або

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

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

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

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий	Новий		
Технічні показники				
Кількість операцій	4	3	1,33	0,3
Кількість одиниць обладнання	4	3	1,33	0,3
Сумарний час механічної обробки	24,12	20,74	1,16	0,4
Економічні показники				
Собівартість продукції	2000	1800	1,11	0,7
Капітальні вкладення	95000	100000	0,95	0,3

$$q_1=1/3=1,33;$$

$$q_2=4/3=1,33;$$

$$q_3=24,12/20,74=1,16.$$

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{\text{яв}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (3.2)$$

$$K_{\text{яв}}=1,33 \cdot 0,3+1,33 \cdot 0,3+1,16 \cdot 0,4=1,262.$$

Відносний коефіцієнт показника якості інноваційного рішення більший одиниці, це означає, що інноваційний продукт якісніший базового товару конкурента на 26,2%.

### 3.7 Оцінка конкурентоспроможності інноваційного рішення

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:

$$K=I_{\text{тп}}/I_{\text{еп}}, \quad (3.3)$$

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

$I_{\text{еп}}$  – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{en} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{nei}}{\sum_{i=1}^n P_{bei}}, \quad (3.4)$$

де  $P_{bei}$   $P_{nei}$  – економічні параметри відповідно базового та нового товарів.

$$I_{en} = (1800 \cdot 0,7 + 100000 \cdot 0,3) / (2000 \cdot 0,7 + 95000 \cdot 0,3) = 1,045;$$

$$K = 1,262 / 1,045 = 1,207 > 1.$$

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 [1]:

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

де:  $M$  – місячний посадовий оклад кожного 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:

$$Z_o = \frac{10500}{22} \cdot 15 = 7159,09 \text{ (грн.)}.$$

Аналогічно розраховуємо заробітну плату інших розробників. При цьому необхідно врахувати, що найбільшу частину роботи виконує інженер-технолог. Результати розрахунків зведено до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунків основної заробітної плати

№ п/п	Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату
1.	Керівник проекту	10500	477,27	15	7159,09
2.	Інженер-технолог	8300	377,27	13	4904,54
4.	Інженер-конструктор	8300	377,27	14	5281,78
Всього					17345,41

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:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{3M}} \left[ \frac{\text{грн.}}{\text{год}} \right], \quad (3.7)$$

де:  $M_H$  – мінімальна місячна оплата праці, грн. З 1 січня 2019 року –  
 $M_H = 4173$  грн.;

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду та професії;

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

$T_{зм}$  – тривалість зміни,  $T_{зм} = 8$  годин.

Враховуючи, що мають працювати робітники четвертого та п'ятого розрядів, то погодинна тарифна ставка складатиме:

$$C_4 = 4173 \cdot 1,5 \cdot 1,37 / 22 \cdot 8 = 48,73 \text{ (грн./год.)};$$

Таблиця 3.8 – Витрати на основну заробітну плату

Обладнання	Трудомісткість годин	Розряд роботи	Погодина тарифна ставка	Велечина оплати, грн
Токарно-револьверний Spinner TC300-52 (налагодження)	0,133	4	48,73	6,48
Токарно-револьверний 1П420ПФ30 (налагодження)	0,109	4	48,73	5,31
Вертикально-фрезерний Spinner U4-620 (налагодження)	0,104	4	48,73	5,07
Всього				16,86

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

$$Z_d = (17345,41 + 16,86) \cdot 12\% = 2083,47 \text{ (грн.)}.$$

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

$$(17345,41 + 16,86 + 2083,47) \cdot 0,22 = 4278,06 \text{ (грн.)}.$$

Амортизація обладнання, які використовуються під час виготовлення пристосування.

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

$$A = \frac{Ц}{T_{H.B.}} \frac{T_{Ф.В.}}{12},$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн;

$T_{Фн}$  – строк корисного використання обладнання (міс.);

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

Таблиця 3.9 – Результати розрахунків амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Термін нормативного використання, р.	Термін корисного використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Комп'ютер Lenovo	10000	4	1	208,3
Приміщення	200000	25	1	666,67
Токарно-револьверний верстат Spinner TC300-52	230000	5	0,5	1916,67
Токарно-револьверний верстат 1П420ПФ30	150000	5	0,5	1250
Вертикально-фрезерний верстат Spinner U4-620	210000	5	0,5	1750

Відповідно:

$$A = 208,3 + 666,67 + 1916,67 + 1250 + 1750 = 5791,64 \text{ (грн.)}$$



Витрати на матеріали розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

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

де:  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, 4,528 кг,

$C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування, 282 грн./кг.,

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1,1$ .

$B_i$  – маса відходів  $i$ -го найменування, 1,466 кг,

$C_B$  – ціна відходів  $i$ -го найменування, 50 грн./кг.

$n$  – кількість видів матеріалів.

Таблиця 3.10 – Витрати на матеріал

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг., грн.	Витрачено, кг.	Величина відходів, кг	Ціна відходів грн./кг.	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Сталь 38X2МЮА	282	4,528	1,466	50	1331,28
					1331,28

Для виготовлення даного виробу підприємство використовує один вид матеріалу Сталь 38X2МЮА і відповідно отримаємо:

$$M = 4,528 \cdot 282 \cdot 1,1 - 1,466 \cdot 50 = 1331,28 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на силову електроенергію на розробку розраховуються за формулою:

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

де:  $B$  – вартість 1 кВт-години електроенергії. На 1 листопада 2019 року для промисловості (2 категорія споживачів) ціна електроенергії становить  $B = 2,5$  грн./кВт згідно тарифів ТОВ "Енера Вінниця".

$\Pi$  – установлена потужність обладнання;

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

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності.

Таблиця 3.11 – Результати розрахунків витрат електроенергії

Найменування обладнання	Час роботи, год.	Потужність, кВт.	Коефіцієнт використання
Комп'ютер Lenovo	15 днів = $15 \cdot 8 = 120$ годин	0,5	1
Приміщення (освітлення)	120	0,9	1
Токарно-револьверний верстат Spinner TC300-52	40	12	0,9
Токарно-револьверний верстат 1П420ПФ30	40	12	0,9
Вертикально-фрезерний верстат Spinner U4-620	40	10	0,9

$$B_{e1} = 2,5 \cdot 0,5 \cdot 120 \cdot 1 = 150 \text{ (грн.)},$$

$$B_{e2} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 120 \cdot 1 = 270 \text{ (грн.)},$$

$$B_{e3} = 2,5 \cdot 12 \cdot 40 \cdot 0,9 = 1080 \text{ (грн.)},$$

$$B_{e4} = 2,5 \cdot 12 \cdot 40 \cdot 0,9 = 1080 \text{ (грн.)},$$

$$B_{e5} = 2,5 \cdot 10 \cdot 40 \cdot 0,9 = 900 \text{ (грн.)},$$

$$B_e = 150 + 270 + 1080 + 1080 + 900 = 3480 \text{ (грн.)}.$$

Інші витрати можна прийняти як  $(100 \dots 300)\%$  від суми основної заробітної плати робітників, які виконували дану роботу:

$$V_{\text{ін}} = (1 \dots 3) (Z_o + Z_p), \quad (3.10)$$

$$V_{\text{ін}} = 2 \cdot (17345,41 + 16,86) = 34724,54 \text{ (грн.)}$$

Усі витрати складають:

$$B = 17345,41 + 16,86 + 2083,47 + 4278,06 + 5791,64 + \\ + 1331,28 + 3480 + 34724,54 = 69051,26 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок загальних витрат виконання даної роботи всіма виконавцями.

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

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

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

Тоді

$$V_{\text{заг}} = 69051,26 / 0,95 = 72685,54 \text{ (грн.)}$$

Прогнозування загальних витрат здійснюється за формулою:

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

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  $\beta \approx 0,9$ .

Тоді:

$$ЗВ = 72685,54 / 0,9 = 80761,71 \text{ (грн.)}$$

Тобто прогнозовані витрати на розробку способу суміщеної обробки та впровадження результатів даної роботи становлять приблизно 80,761 тис. грн.

### 3.9 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Комерційний ефект модернізації дільниці механічної обробки деталі "Сопло 14.26.1" 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 нагнітачів тиску складає щороку приблизно 20000 шт. Середня ціна подібних виробів 1800 грн. Оскільки собівартість виготовлення сопла за рахунок модернізації скоротилась в нас є можливість реалізовувати наші нагнітачі приблизно на 10% дешевше, тобто в середньому за 1620 грн. або на 180 грн. дешевше. При цьому повинен збільшуватися і попит на нашу розробку.

Припустимо, що нагнітачі тиску даного типорозміру буде користуватися попитом на ринку протягом 4-х років після впровадження модернізації дільниці механічної обробки. Після цього високою є ймовірність, що конкуренти також проведуть модернізацію свого обладнання, що дозволить їм скоротити собівартість виготовлення нагнітачів тиску.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 травня 2020 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 8000 шт.;

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

3-й рік після впровадження (2023 р.) – приблизно 12000 шт.;

4-й рік після впровадження (2024 р.) – приблизно 10000 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  $\Delta\Pi_i$ , що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \mathcal{G}/100), \quad (3.13)$$

де  $\Delta C_0$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є зменшення ціни нового виробу, грн.; ми домовилися, що  $\Delta C_0 = 180$  грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів наукової розробки; було встановлено, що  $N = 8000$  шт.;

$\Delta N$  – 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.;  $C_0 = 1800$  грн;

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

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2020 році ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 20%, а 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. У 2020 році  $\vartheta = 18\%$ .

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора  $\Delta \Pi_1$  протягом першого року від реалізації нашої розробки (2021 р.) складе:

$$\Delta \Pi_1 = (8000 \cdot 180) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 245990,16 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta \Pi_2 = (10000 \cdot 180) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 252139,91 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta \Pi_3 = (12000 \cdot 180) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 302567,89 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta \Pi_4 = (10000 \cdot 70) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 252139,91 \text{ (грн.)}$$

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

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування нашої розробки потенційним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених в розробку інвестицій та термін 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:

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

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

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

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні. Для України приймемо, що  $\tau = 0,10$  (або 10%);

$t$  – період часу (в роках) від моменту отримання прибутків до точки „0”. Якщо  $E_{abc} > 0$ , то результат від впровадження нашої розробки буде збитковим і вкладати кошти в розробку ніхто не буде. Якщо  $E_{abc} > 0$ , то результат від впровадження нашої розробки принесе прибуток і вкладати кошти в дану розробку в принципі можна.

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

$$ПП = \frac{245990,16}{(1+0.1)^2} + \frac{252139,91}{(1+0.1)^3} + \frac{302567,89}{(1+0.1)^4} + \frac{252139,91}{(1+0.1)^5} = 755951,08 \text{ (грн.)}$$

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

$$E_{abc} = 755951,08 - 80761,71 = 675189,37 \text{ грн.}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$ , 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  $E_v$  вкладених у розробку коштів. Для цього скористаємося формулою:

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

де  $E_{\text{абс}}$  – абсолютна ефективність вкладених інвестицій,  $E_{\text{абс}} = 675189,37$  грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій PV = 80761,71 грн.;

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

Для нашого випадку:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + 675171,15 / 80779,93} - 1 = 0,529 = 52,9\%.$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку кошти в розробку нашого проекту вкладатися не будуть.

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

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

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні  $d = (0,11 \dots 0,14)$ ;

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

$$\tau_{\text{мін}} = 0,13 + 0,10 = 0,23 \text{ або } \tau_{\text{мін}} = 23\%.$$

Оскільки величина  $E_B = 52,9\% > \tau_{\text{мін}} = 23\%$ , то інвестор у принципі може бути зацікавлений у фінансуванні нашої розробки.

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

$$T_{\text{ок}} = 1/E_B,$$



$$T_{\text{ок}} = 1/0,529 = 1,89.$$

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 Висновки до розділу 3

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

Комерційний потенціал дослідження за результатами опитування експертів було визначено як вище середнього. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проект може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проекту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проекту складає 1,89 років.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз умов праці

На дільниці, де встановлене обладнання для виготовлення деталі «Сопло 14.26.1», живлення здійснюється від трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Дільниця знаходиться в одноповерховому виробничому приміщенні.

На дільниці верстати розташовані в "затилок". Ширина проїзду дорівнює 4500 мм, відстань між верстатами зі сторони магістрального проїзду 5000 мм .

Приміщення головного, допоміжного і підсобного призначення повинні забезпечувати найбільш раціональне проходження технологічного процесу, сприятливу виробничу обстановку і пожежну безпеку. При виборі типу конструкцій виробничих будов визначальними є характер технології, особливості устаткування і сировини, ступінь його пожежо- і вибухонебезпечності, наявність шкідливих виділень.

У цехах, що мають велику ширину, шкідливі дільниці необхідно розташовувати поблизу зовнішніх стін для кращого забезпечення природної вентиляції приміщення. При внутрішньому плануванні приміщення повинні бути передбачені достатня ширина і число проходів, сходів, дверей із метою можливого усунення зустрічних людських потоків у періоди початку і закінчення змін, а також у випадку аварійних ситуацій.

Обсяг виробничих приміщень повинен бути таким, щоб на кожного працюючого припадало не менше 4,5 м площі, 15м об'єму, висота виробничого приміщення повинна бути не менше 3,2 м [16].

При роботі на металорізальних верстатах виникає ряд фізичних, хімічних, психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів (ГОСТ 12.0.003-74).

Рухомі частини виробничого обладнання, пересуваєш вироби і заготовки, транспортні засоби.

Відлітаючі частини інструментів, який зруйнувався під час роботи.

Висока температура деталей та інструментів.

Підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може відбутись через тіло людини.

Підвищена загазованість і запиленість повітря робочої зони пилом парами і газами, які виділяються при технологічних процесах.

Підвищений рівень шуму і вібрації на робочих місцях від працюючого обладнання.

Відсутність або недостатня освітленість природним світлом.

Недостатня освітленість робочої зони від світильників штучного освітлення.

Підвищена або знижена температура повітря робочої зони

Підвищена або знижена відносна вологість повітря.

Підвищена або знижена швидкість руху повітря.

Фізичні динамічні та статичні навантаження.

Монотонність праці.

При обробці хрупких матеріалів на високих швидкостях різання стружка від верстата розлітається на значну відстань (3-5 м). Металева стружка, особливо при точінні в'язких металів (сталей), що має високу температуру (400-600 °C) і велику кінетичну енергію, представляє серйозну небезпеку не тільки для працюючого на верстаті, але і для осіб, що знаходяться поблизу верстата. Найбільш поширеними у верстатників є травми очей. Так, при токарній обробці від загального числа виробничих травм ушкодження очей перевищило 50% при заточенні інструменту і шліфуванні 8 %. Очі пошкоджувались стружкою, що відлітає, пиловими частинками оброблюваного матеріалу, осколками ріжучого інструменту і частинками абразиву.

При відсутності засобів захисту запиленість повітряного середовища в зоні дихання верстатників може перевищувати гранично допустимі концентрації.

## 4.2 Організаційно технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

### 4.2.1 Повітря робочої зони.

Показниками, які характеризують мікроклімат, являються: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового опромінювання. Температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря може бути підвищеною і пониженою. Причиною цього можуть бути несприятливі погодні умови, недостатнє опалення в холодний період року, протяги.

Категорія робіт по важкості - II б. Це роботи середньої важкості з витратами енергії від 233 до 290 Вт. Робота працюючих на дільниці пов'язана з ходьбою, переміщенням і переноскою важкостей до 10 кг і супроводжується помірним фізичним навантаженням. Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні згідно ГОСТ 12.1.005-88 (табл. 4.1). У приміщенні необхідно підтримувати допустимі величини показників мікроклімату, так як вони встановлюються у випадках, коли по технологічним вимогам технічним і економічним причинам не забезпечуються оптимальні норми.

Таблиця 4.1 – Основні показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С			Відносна вологість, %		Швидк. повітря, м/с	
		Оптимальна	Допустима на робочому місці		Оптимальна	Допустима на постійних і непостійних місцях	Оптимальна	Допустима на постійних і непостійних місцях
			Постійних	Непостійних				
Холодний	середньоважка	17-19	15-21	16-23	40-60	75	0,2	0,4
Теплий	середньоважка	20-22	16-27	15-29	40-60	70 при 25 °С	0,3	0,2-0,5

На дільниці характерне забруднення повітря виробничих приміщень такими отруйними газами й парами, як пари мастил мінеральних, окис вуглецю,

окисли азоту, пил металів, сульфати, молібденати, граничні і неграничні вуглеводні, альдегіди, бензапірен і ін.

Попадаючи в організм людини шкідливі речовини негативно діють на людину. Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати значень приведених у табл. 4.2 .

Контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони проводиться на найбільш характерних робочих місцях. При однаковому обладнанні, або при виконанні однакових операцій контроль проводиться вибірково на окремих робочих місцях, розташованих в центрі і по периферії приміщення.

Таблиця 4.2 – Концентрація шкідливих речовин

Назва речовини	Величина гдк, мг/м	Переважаючий агрегатний стан в умовах виробництва	Клас небезпеки	Особливості дії на організм
Мастила мінеральні нафтові	5	а	III	
Заліза агломерат	4	а	III	Ф
Азота діоксид	2	п	III	О
Азота оксиди (в пере- рахунку на NO <sub>i</sub> )	5	п	III	О
Бензапірен	0,00015	а	I	К
Альдегід масляний	5	п	III	

Вентиляція на промислових підприємствах влаштовується, щоб створити належні санітарно-гігієнічні умови для робітників у зоні їх перебування, а також щоб успішно вести технологічний процес і зберегти устаткування. Повітря має бути чисте, потрібної температури й вологості.

За допомогою вентиляції зменшується запиленість чи задимленість повітря; забезпечується збереження будівельних конструкцій та устаткування, які при значному вмісті пилу, газів, парів та вологи в повітрі передчасно руйнуються й виходять з ладу. Усе це робить вентиляцію одним з

найпотужніших засобів оздоровлення виробничих умов, підвищення безпеки і продуктивності праці та поліпшення якості продукції в машинобудуванні.

Для забезпечення чистоти повітря і нормалізації параметрів мікроклімату в виробничих приміщеннях крім місцевих відсмоктуючих пристроїв, забезпечуючих видалення шкідливих речовин з зони різання (пилу, мілкої стружки і аерозолей ЗОР), повинна бути передбачена приточно-витяжна загально обмінна система вентиляції. Вона подає повітря в верхню зону приміщення.

Розрахунок загальної витяжної вентиляції.

а) Розрахунок повітрообміну.

Кількість виділяемого повітря визначаємо по кратності повітрообміну  $K$ . За годину повітря на ділянці повинно помінятися 5 разів, тобто  $K = 5$ . об'єм ділянки:  $1728 \text{ м}^3$ .

Тоді повітрообмін буде;

$$L = K \cdot V = 5 \cdot 1728 = 8640 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

б) Зобразимо схему вентиляції і розіб'ємо її на ділянки – відрізки системи повітрообміну, по довжині яких площа поперечного перерізу та витрати повітря однакові.

Визначаємо довжину ділянок витяжної системи.

Так як довжина ділянки складає 24 м приймаємо:

$$l_1 = l_6 = 6 \text{ м}; l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = l_7 = 4 \text{ м}; l_8 = l_9 = l_{10} = l_{11} = l_{12} = 2 \text{ м}.$$

При шести витяжках:  $L_1 = 1440 \text{ м}^3\text{/год}$ ;  $L_2 = 2880 \text{ м}^3\text{/год}$ ;  $L_3 = 4320 \text{ м}^3\text{/год}$ ;  $L_4 = 5760 \text{ м}^3\text{/год}$ ;  $L_5 = 7200 \text{ м}^3\text{/год}$ ;  $L_6 = L_1 = 8640 \text{ м}^3\text{/год}$ .

Ділянки 1 – 6 є центральним повітроводом, призначаємо швидкість повітря на ній – 12 м/с; у відгалудженнях – до 6 м/с.

в) Визначаємо площу поперечного перерізу на всіх ділянках:

$$S_i = \frac{L_i}{V_i} \cdot 3600,$$

де  $V_i$  – попередньо прийняте значення швидкості в  $i$ -й ділянці, м/с.

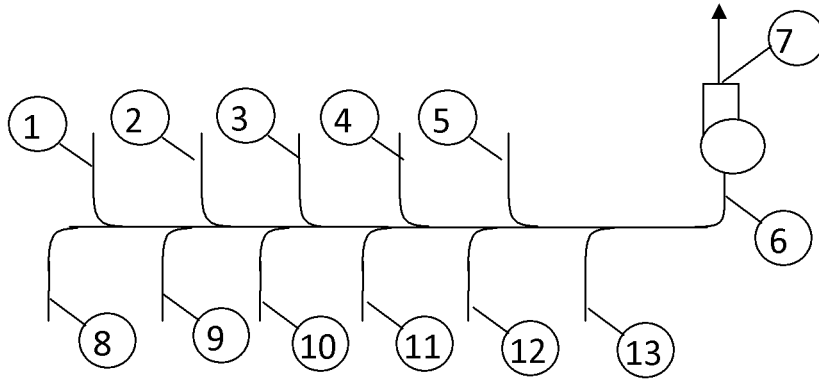


Рисунок 4.1 – Схема вентиляції

Для першої ділянки:

$$S_1 = \frac{1400}{6} \cdot 3600 = 0,066 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Визначимо діаметр:  $d_i = \sqrt{\frac{4S_i}{\pi}}$ ;

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0669}{3,14}} = 0,291 \text{ (м)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр  $d_1' = 315 \text{ мм}$ .

Тоді фактична швидкість:  $V_{\phi i} = \frac{L_i}{S_{\phi i}} \cdot 3600$ ;

де  $S_{\phi i}$  – фактична площа  $i$ -ої ділянки.

$$V_{\phi i} = 140 / (3,14 \cdot 0,315^2 / 4) \cdot 3600 = 5,13 \text{ (м/с)}.$$

Результати розрахунків для інших ділянок зведені у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків

№	l, м	L, м <sup>3</sup> /год	V, м/с	d, мм	V <sub>ф</sub> , м/с	$\Delta p_{\text{пит}}$ кгс/м <sup>2</sup>	$\Delta p_{\text{м}}$ , кгс/м <sup>2</sup>	$\Delta p_{\text{м0}}$ , кгс/м <sup>2</sup>
1	6	1440	69	315	5,13	0,095	0,57	2,25
2	4	2880	7	400	6,37	0,112	0,448	0,45
3	4	4320	8	450	7,56	0,13	0,5825	0,3
4	4	5760	9	500	8,14	0,127	0,508	0,35
5	4	7200	10	560	8,22	0,121	0,484	0,1
6	6	8640	11	560	9,7	0,168	1,008	1,1
7	4	8640	12	560	9,7	0,168	0,672	1,8
$\Sigma$							4,21	6,35

г) Розрахуємо витрати тиску у вентиляційній системі.

Витрати тиску на тертя:

$$\Delta p_{mi} = \Delta p_{\text{т.т.т.}} \cdot l_i;$$

де  $\Delta p_{\text{т.т.т.}}$  – витрати тиску на одиницю довжини, кгс/м<sup>2</sup>.

По [2] для першої ділянки  $\Delta p_{\text{т.т.т.}} = 0,095$  (кгс/м<sup>2</sup>).

Тоді  $\Delta p_{\text{м1}} = 0,095 \cdot 6 = 0,57$  кгс/м<sup>2</sup>.

Аналогічно розраховуємо витрати тиску на тертя на інших ділянках і результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

Витрати тиску на місцеві опори.

Ділянка № 1:

– сітка  $\Delta p_{\text{м}}' = 0,15$  кгс/м<sup>2</sup>;

– відвід під кутом 90°  $\Delta p_{\text{м}}'' = 1,1$  кгс/м<sup>2</sup>;

– трійник на стиці ділянок 1, 2, 8 :  $d = 45^0$ ;  $V_1 = 5,13$  (м/с);

$V_2 = 6,37$  м/с;  $V_8 = 5,13$  м/с;

$$V_c' = L_8 \cdot V_8 \cdot \cos 45^0 / L_2 + L_1 V_2 / L_2;$$

$$V_c' = 1440 \cdot 5,13 \cdot 0,707 / 2880 + 1440 \cdot 5,13 / 2880 = 4,38;$$

$$V_c' / V_2 = 4,38 / 6,37 = 0,69; V_1 / V_2 = 1,24.$$

По номограмі з [2]  $\Delta p_{\text{м1}} = 1$ ;  $\Sigma \Delta p_{\text{м1}} = 2,25$ .

Ділянка № 2:

– трійник на стиці ділянок 2, 3, 9:  $\alpha = 45^0$ ;  $V_2 = 6,37$  (м/с);



$$V_3 = 7,55 \text{ м/с}; V_9 = 5,13 \text{ м/с};$$

$$V'_c = L_9 \cdot V_9 \cdot \cos 45^\circ / L_3 + L_2 V_2 / L_3;$$

$$V'_c = 1440 \cdot 5,13 \cdot 0,707 / 4320 + 2880 \cdot 6,37 / 4320 = 5,46;$$

$$V'_c / V_3 = 5,46 / 7,55 = 0,72; V_2 / V_3 = 6,37 / 7,55 = 0,84; \Delta p_{M2} = 0,45.$$

Ділянка № 3:

– трійник на стиці ділянок 3, 4, 10:  $\alpha = 45^\circ$ ;  $V_3 = 7,55$  (м/с);

$$V_3 = 8,14 \text{ м/с}; V_9 = 5,13 \text{ м/с};$$

$$V'_c = L_{10} \cdot V_{10} \cdot \cos 45^\circ / L_4 + L_3 V_3 / L_4;$$

$$V'_c = 1440 \cdot 5,13 \cdot 0,707 / 5760 + 4320 \cdot 7,55 / 5760 = 6,57;$$

$$V'_c / V_4 = 6,57 / 8,14 = 0,81; V_3 / V_4 = 7,55 / 8,14 = 0,93; \Delta p_{M3} = 0,3.$$

Ділянка № 4:

– трійник на стиці ділянок 4, 5, 11:  $\alpha = 45^\circ$ ;  $V_4 = 8,14$  м/с;

$$V_5 = 8,22 \text{ м/с}; V_{11} = 5,13 \text{ м/с};$$

$$V'_c = L_{11} \cdot V_{11} \cdot \cos 45^\circ / L_5 + L_4 V_4 / L_5;$$

$$V'_c = 1440 \cdot 5,13 \cdot 0,707 / 7200 + 57600 \cdot 8,14 / 7200 = 7,24;$$

$$V'_c / V_5 = 7,24 / 8,22 = 0,88; V_4 / V_5 = 8,14 / 8,22 = 0,99; \Delta p_{M4} = 0,35.$$

Ділянка № 5:

– трійник на стиці ділянок 5, 6, 12:  $\alpha = 45^\circ$ ;  $V_5 = 5,13$  м/с;

$$V_6 = 9,7 \text{ м/с}; V_{12} = 5,13 \text{ м/с};$$

$$V'_c = L_{12} \cdot V_{12} \cdot \cos 45^\circ / L_6 + L_5 V_5 / L_6;$$

$$V'_c = 1440 \cdot 5,13 \cdot 0,707 / 8640 + 7200 \cdot 8,22 / 8640 = 7,45;$$

$$V'_c / V_6 = 7,45 / 9,7 = 0,77; V_5 / V_6 = 8,22 / 9,7 = 0,85; \Delta p_{M5} = 0,1.$$

Ділянка № 6:

– відвід під кутом  $90^\circ$  -  $\Delta p_{M6} = 1,1$ .

Ділянка № 7:

– дифузор після вентилятора  $\Delta p_M = 0,5$ ;

– зонт звичайний  $\Delta p_m'' = 1,3$ ;

$$\Delta p_{m7} = \Delta p_{m7}' + \Delta p_{m7}'' = 0,5 + 1,3 = 1,8.$$

дані розрахунку заносимо в таблицю 9.7.

д) Необхідна потужність вентилятора:

$$N = \frac{L \cdot \Delta p}{\eta_v \cdot \eta_m} \cdot 3600;$$

$$N = 8640 \cdot (4,21 + 6,35) / 0,78 \cdot 0,995 \cdot 3600 = 321,6 \text{ (Вт)}.$$

Приймаємо даховий центр обіжний вентилятор КЦЗ-90 з  $N_\phi = 40$  Вт.

Визначаємо витрати тиску по магістралі:

$$\Delta p_1 = \Delta p_{m1} + \Delta p_{m1} = 0,57 + 2,25 = 2,82 \text{ (кгс/м}^2\text{)};$$

$$\Delta p_{1-2} = 2,82 + 0,448 + 0,45 = 3,718 \text{ (кгс/м}^2\text{)};$$

$$\Delta p_{1-2-3} = 3,718 + 0,52 + 0,3 = 4,538 \text{ (кгс/м}^2\text{)};$$

$$\Delta p_{1-2-3-4} = 4,538 + 0,508 + 0,35 = 5,396 \text{ (кгс/м}^2\text{)};$$

$$\Delta p_{1-2-3-4-5} = 5,396 + 0,484 + 0,1 = 6,98 \text{ (кгс/м}^2\text{)}.$$

Витрати тиску у відгалуженнях:

$$\Delta p_{m8} = 0,15 + 1,1 = 1,25 \text{ (опір сітки та відводу)}$$

$$\Delta p_m = 0,095 \cdot 2 = 0,19 \text{ (витрати на тертя)};$$

$$\text{тоді } \Delta p_8 = 1,25 + 0,19 = 1,44.$$

Такі ж витрати тиску у ділянках 9, 10, 11, 12.

Для зрівняння витрат тиску у відгалуженнях з відповідними витратами на магістралі, встановлюють діафрагми.

Підберемо розміри отвору діафрагми для погашення тиску у повітроводі.

Надмірний тиск для 8-ї ділянки:

$$\Delta p_{n8} = 2,82 - 1,44 = 1,38 \text{ (кгс/м}^2\text{)};$$

$$\text{аналогічно } \Delta p_{n9} = 2,278 \text{ (кгс/м}^2\text{)}; \Delta p_{n10} = 3,098 \text{ (кгс/м}^2\text{)};$$

$$\Delta p_{n11} = 3,956 \text{ (кгс/м}^2\text{)}; \Delta p_{n12} = 5,64 \text{ (кгс/м}^2\text{)}.$$

Визначаємо швидкість тиску  $p_c$  в повітроводі  $d = 315$  мм, відповідний швидкості  $V = 5,13$  м/с;  $p_c = 1,59$  кгс/м<sup>2</sup>.

Визначаємо коефіцієнт місцевого опору діафрагми для погашення

надмірного тиску:

$$\xi_8 = \frac{1,38}{1,59} = 0,89; d'_8 = 268 \text{ (мм)}.$$

з таблиць знаходимо необхідний розмір отвору діафрагми.

Аналогічно  $\xi_9 = 1,43; d'_9 = 251 \text{ (мм)}$ ;

$$\xi_{10} = 1,948; d'_{10} = 242 \text{ (мм)};$$

$$\xi_{11} = 2,49; d'_{11} = 238 \text{ (мм)};$$

$$\xi_{12} = 3,55; d'_{12} = 224 \text{ (мм)}.$$

#### 4.2.2 Освітлення

На ділянці механічної обробки застосовують природне і штучне освітлення. Недостатня освітленість приводить до втоми, підвищенню травматизму. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості, штучне освітлення характеризується освітленістю. Для металорізальних верстатів робоча поверхня - це місце обробки деталей. Площина в якій нормується освітлення - горизонтальна. Розряд зорової роботи II в. Освітленість при комбінованому освітленні загальному та місцевому - 2000 лк, при загальному 200 лк. Освітленість при одному загальному освітленні 500 лк. Для розряду зорової роботи II, підрозряду "в" характеристика зорової роботи дуже високої точності, найменший розмір об'єкту розпізнавання від 0,15 до 0,3 мм. Контраст об'єкта розпізнавання з фоном може бути малий, середній, великий і відповідно фон - світлий, темний, середній.

Природне освітлення в приміщенні бічне. Нормоване значення  $e_n^m = 1,5\%$ . Місто Вінниця знаходиться у IV поясі світлового клімату. Нормоване значення КПО  $e_n$  для будов, розташованих у IV поясі:

$$e_n^{IV} = e_n^{III} \cdot m \cdot C = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cong 1,28\%,$$

де  $e_n$  - значення КПО для третього поясу світлового клімату;

$m$  - коефіцієнт світлового клімату, для IV поясу  $m = 0,9$ ;

$C$  - коефіцієнт сонячності клімату, для азимута  $0^\circ$  і поясу світлового клімату IV  $C=0,95$ .

Таблиця 4.3 – Норми освітленості при штучному освітленні та КЕО (III пояс) при природному та сумісному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КЕО, $e_i$ , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або Верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високі точності	Від 0,15 до 0,3	II	а	Малий	Темний	4000	1250	7	2,5	4,2	1,5
			б	Малий середній	Середній Темний	3000	750				
			в	Малий середній Великий	Світлий Середній Темний	2000	500				
			г	Середній Великий	Світлий Середній	1000	300				

Для загального штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи, для місцевого освітлення - лампи розжарювання.

#### 4.2.3 Виробничий шум

Джерелом шуму на дільниці є працююче обладнання та системи вентиляції.

За характером спектру шум на ділянці широкопasmовий із безперервним спектром шириною більше октави. За часовими характеристиками шум постійний, так як рівень звуку за восьмигодинний робочий день змінюється в часі не більш, ніж на 5 дБА. За походженням шум механічний (від працюючого обладнання) і аеродинамічний (від вентиляційних установок). Характеристикою шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5,63,125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Допускається в якості характеристики постійного широкопasmового шуму на робочих місцях при орієнтовній оцінці приймати рівень звуку (дБА), виміряний на тимчасовій характеристиці "повільно" шумоміра по ГОСТ 17187-85

Таблиця 4.4 – Нормування значень рівнів шуму

Рівень звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц.									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБ(А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення шуму на ділянці використовують архітектурно-планувальні методи захисту. Сюди відноситься раціональне розміщення технологічного обладнання, верстатів, раціональне розміщення робочих місць, раціональне акустичне планування зон і режиму руху транспорту, створення різних шумозахищених зон в різних місцях знаходження людей.

#### 4.2.4 Виробнича вібрація

Від верстатів, систем вентиляції та іншого обладнання на працюючих може діяти локальна вібрація.

Таблиця 4.5 – Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження на оператора для зміни в 8 год.

Вид вібрації	Категорія вібрації по сан. нормам	Напрямок дії	Нормативні і кореговані частоти і еквівалентні кореговані значення			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			мс <sup>2</sup>	дБ	мс	дБ
локальна	-	X <sub>л</sub> Y <sub>л</sub> Z <sub>л</sub>	2,0	126	2,0	112
загальна	3 тип „а”	Z <sub>з</sub> Y <sub>з</sub> X <sub>з</sub>	0,1	100	0,2	90

Категорія вібрації 3 тип "а" - технологічна на робочих місцях. Критерій оцінки - межа зниження продуктивності прац. На працюючих діє локальна і загальна вібрація. Вона передається через руки працюючих і через підшви ніг.

Загальні методи та засоби боротьби з вібрацією базуються на аналізі рівнянь котрі описують коливання машин у виробничих умовах і класифікуються наступним чином:

- зниження вібрацій в джерелі виникнення шляхом зниження або усунення збуджувальних сил;
- відлагодження від резонансних режимів раціональним виборем приведеної маси або жорсткості системи, котра коливається;
- вібродемпферування – зниження вібрацій за рахунок демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в тепло;
- динамічне гасіння – введення в коливну систему додаткові мас або збільшення жорсткості системи
- віброізоляція – введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, з метою послаблення передавання вібрацій, суміжному елементу конструкції або робочому місцю;
- використання індивідуальних засобів захисту.

### 4.3 Техніка безпеки

#### Електробезпека.

Обладнання на дільниці живиться від трифазної, чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Клас приміщення по ступеню небезпеки ураження електричним струмом - особливо небезпечне. У приміщенні струмопровідна підлога і є можливість одночасного торкання людини до струмопровідних металоконструкцій зв'язаних з землею і металевих корпусів електрообладнання.

Згідно з ГОСТ 12.1.030-81 на дільниці механічної обробки в якості захисту необхідно виконувати занулення. Занулення це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмоведучих частин обладнання, що може виявитись під напругою.

Установка заготовок і зняття готових деталей під час роботи устаткування допускається поза зоною обробки, при застосуванні спеціальних позиційних пристосувань (наприклад, поворотні столи), що забезпечують безпеку праці працюючих.

Для виключення зіткнення рук верстатників із пристосуваннями, що рухаються і інструментом при установленні заготовок і знятті деталей повинні застосовуватися автоматичні устрої (механічні руки, револьверні пристосування, бункери й ін.).

Контроль на верстатах розмірів оброблюваних заготовок і зняття деталей для контролю повинні проводитися лише при відключених механізмах обертання або переміщення заготовок, інструмента і пристосувань.

Спецодяг працюючих у цехах і на ділянках варто періодично здавати в хімчистку і зберігати окремо від верхнього одягу. Хімчистка і прання спецодягу повинно бути централізованим, проводитися в міру забруднення, у не рідше двох разів на місяць.

Для захисту шкіряного покриву від впливу ЗОР і пилу токсичних металів застосовуються дерматологічні захисні засоби (профілактичні пасти, мазі,

креми). Припускається застосовувати інші профілактичні пасти і мазі по рекомендаціям органів Держсаннагляду.

При готуванні розчинів порошкоподібних і гранульованих миючих засобів для промивання систем охолодження (КМ, лабоїд 101, лабоїд 203, МС-2, МЛ-51) працюючі повинні використовувати маски і респіратори.

#### 4.4 Пожежна безпека

За вибухопожежною і пожежною небезпекою дільниця відноситься до категорії Д. До категорії приміщення Д відносяться приміщення з наступною характеристикою речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) у приміщенні. Негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

Будівля, де знаходиться дільниця відноситься до I ступені вогнестійкості. До ступені вогнестійкості I відносяться будівлі з штучними і відгороджуваними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, год.(над ризикою) і максимальні межі розповсюдження вогню по ним, см. (під ризикою): Стіни несучі і сходинові клітини - 2,5/0; Стіни самонесучі -1,25/0;

Стіни зовнішні не несучі ( у тому числі з навесних панелей) - 0,5/0; Стіни внутрішні ненесучі (перегородки) - 0,5/0; Колони - 2,5/0;

Сходинові площадки, косоури, ступені, балки і марші сходинових клітин - 1/0; Плити, настили (у тому числі з утеплювачем) і другі несучі конструкції перекрить -1/0; Елементи покрить: плити, настили (у тому числі з утеплювачем) і прогони - 0,5/0; Елементи покрить: балки, ферми, арки, рами - 0,5/0.

Для категорії приміщення Д, ступені вогнестійкості I допустима кількість поверхів 10, площа поверху в межах пожежного відсіку не обмежується .

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до ближчого евакуаційного виходу із приміщення безпосередньо зовні чи в сходинову



клітину не обмежується незалежно від об'єму приміщення для категорії приміщення Д і ступені вогнестійкості будови І.

Ширину евакуаційного виходу (дверей) із приміщення необхідно приймати в залежності від загальної кількості людей, які евакуюються через цей вихід і кількості людей на 1 м ширини вихода (дверей). Для категорії приміщення Д, ступені вогнестійкості І, незалежно від об'єму кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу (дверей) повинна бути не менше 260 чол./м.

#### 4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.5.1 Розрахунок режимів роботи виробничого персоналу в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Радіація — випромінювання, випускання променів будь-яким тілом, наприклад Сонцем (сонячна радіація) чи іншим джерелом. Під радіацією розуміють потоки елементарних частинок і квантів, проходження яких через речовину викликає її іонізацію. Це електрони, позитрони, протони, нейтрони та ін. елементарні частинки, а також атомні ядра і електромагнітне випромінювання гамма-, рентгенівського і оптичного діапазонів.

Існує кілька видів випромінювання. Альфа-випромінювання – це потік важких часток, що складаються з нейтронів і протонів, не здатне проникнути навіть крізь аркуш паперу і людську шкіру. Стає небезпечним, тільки при попаданні всередину організму з повітрям, їжею, через рану. Бета-випромінювання являє собою потік негативно заряджених часток, здатних проникати крізь шкіру на глибину 1-2 см. Гамма-випромінювання – має найвищу проникну здатність. Такий вид випромінювання може затримати товста свинцева або бетонна плита.

Небезпека радіації полягає в її іонізуючому випромінюванні, що взаємодіє з атомами і молекулами, які ця взаємодія перетворює в позитивно заряджені іони, тим самим розриваючи хімічні зв'язки молекул, що складають живі організми, і викликаючи біологічно важливі зміни.

Вплив радіації на живий організм викликає в ньому різні зворотні і незворотні біологічні зміни. І ці зміни діляться на дві категорії – соматичні, викликані безпосередньо у людини, і генетичні, що виникають у нащадків. Важкість впливу радіації на організм людини залежить від того, як відбувається цей вплив – відразу чи порціями. Більшість органів встигає відновитися, тому вони краще переносять серію короточасних доз, в порівнянні з тією ж сумарною дозою опромінення за один раз. Як писалося вище, реакція різних органів на радіацію не однакова – червоний кістковий мозок та органи кровотворної системи, репродуктивні органи та органи зору найбільш вразливі. Також, варто зауважити, що діти сильніше схильні до дії радіації, ніж доросла людина. Більшість органів дорослої людини не такі схильні до впливу радіації – це нирки, печінка, сечовий міхур, хрящові тканини.

Радіоактивні речовини характеризуються іонізуючим випромінюванням, енергії якого достатньо для відділення електронів від атомів (в результаті чого утворюються заряджені іони) і розриву хімічних зв'язків. Іонізуюча радіація може зашкодити будь-якому типу тканини людського організму, причому в більшості випадків пошкодження від іонізуючого випромінювання не піддаються відновленню. Більше того – будь-яке порушення природного механізму відновлення організму призводить до утворення ракових клітин.

У загальному випадку ступінь ушкоджень організму залежить від інтенсивності і тривалості впливу радіації на нього. Наслідки для здоров'я в результаті радіаційного опромінення прийнято поділяти на дві основні категорії: стохастичні і не стохастичні.

Стохастичні наслідки опромінення пов'язані з довгостроковим опроміненням при мінімальному рівні радіації (сама назва «стохастичний» означає ймовірність чого-небудь). Чим вищий рівень радіації, тим імовірніші наслідки для здоров'я, проте рівень радіації не впливає на їх вигляд.

Більшість вважає рак ключовим наслідком для здоров'я людини внаслідок опромінення. Рак – це неконтрольований ріст клітин. Зазвичай організм контролює механізм росту та розвитку клітин, а також відновлення

пошкоджених тканин. У результаті пошкоджень на клітинному або молекулярному рівні цей механізм порушується, приводячи до неконтрольованого росту клітин. Ось чому здатність радіації розривати хімічні зв'язки в атомах і молекулах робить її потужним канцерогеном.

Крім того, до групи стохастичних, або випадкових наслідків опромінення входять зміни в ДНК, викликані радіацією – так звані клітинні мутації. У деяких випадках організм не справляється із завданням відновлення таких утворень, що призводить до появи нових мутацій. Мутації можуть бути тератогенними або генетичними. Генетичні мутації викликані опроміненням плоду і впливають тільки на людей, що постраждали від опромінення. Генетичні ж мутації передаються наступним поколінням.

Не стохастичні наслідки для здоров'я людини пов'язані з опроміненням високої інтенсивності – чим інтенсивніший вплив радіації на організм людини, тим серйозніші наслідки для здоров'я. Короткострокове інтенсивне опромінення називають гострим опроміненням. У числі найбільш поширених наслідків гострого опромінення – опіки і так звана променева хвороба, або радіаційне ураження, що викликає передчасне старіння і часто призводить до летального результату.

Для розрахунку режимів роботи дільниці механічної обробки в умовах дії іонізуючого випромінювання прийнято такі початкові дані:

$P_1 = 1,2$  мР/год – рівень радіації через 1 годину після аварії на радіаційно небезпечному об'єкті (після вибуху);

$K_{\text{пос}} = 7$  – коефіцієнт послаблення дози радіації;

$D_d = 0,5$  мР – допустима доза опромінення виробничого персоналу;

$t_{\text{Pmin}}$  – мінімальна доцільна тривалість роботи першої зміни. При цьому  $t_{\text{Pmin}} \geq 2$  години;

$t_{\text{П1}} = 1$  год. – час початку роботи 1-ї скороченої зміни.

Визначення часу початку ( $t_{\text{П1}}$ , год.), тривалості роботи ( $t_{\text{Р1}}$ , год.) та дози опромінення ( $D_i$ , Р) кожної скороченої зміни [17].

Визначення  $t_{\text{П1}}$

$$a = \frac{D_d \cdot K_{noc}}{1,33 \cdot P_{1max}}. \quad (4.1)$$

$$a = \frac{0,5 \cdot 7}{1,33 \cdot 1,2} = 2,193.$$

$$D_M = \frac{1,33 \cdot P_{1max} \left( \sqrt[4]{t_K^3} - \sqrt[4]{t_{II}^3} \right)}{K_{noc}} \text{ [МР]}. \quad (4.2)$$

$$D_M = \frac{1,33 \cdot 1,2 \left( \sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3} \right)}{7} = 1,333 \text{ (МР)}.$$

За параметром  $a$  визначаємо  $t_{II}$  в годинах. Згідно завдання приймаємо  $t_{II} = 1$  год.

Визначаємо  $t_{PI}$ . Відповідно до вимог керівних документів системи ЦО перша скорочена зміна повинна працювати не менше 2 годин, тобто  $t_{PI} = t_{Pmin} \geq 2$  год.

Враховуючи те, що  $D_M > D_d$ , то працювати у звичайному режимі не можна, потрібно зменшити час, протягом якого буде працювати перша зміна.

Визначаємо кількість скорочених змін:

$$n = \frac{D_M}{D_d}. \quad (4.3)$$

$$n = \frac{1,333}{0,5} = 2,666.$$

Приймаємо 3 зміни.

Доза опромінення 1-ї скороченої зміни:

$$D_1 = \frac{1,33 \cdot P_{1max} \left( \sqrt[4]{t_{K1}^3} - \sqrt[4]{t_{II1}^3} \right)}{K_{noc}} \text{ [Р]}. \quad (4.4)$$

$$D_1 = \frac{1,33 \cdot 1,2 (\sqrt[4]{3^3} - \sqrt[4]{1^3})}{7} = 0,292 \text{ (мР)}.$$

Визначаємо  $t_{П2}$ ,  $t_{P2}$ ,  $D_2$

$$t_{П2} = t_{П1} + t_{P1}, \text{ [ГОД.]} \quad (4.5)$$

$$t_{П2} = 1 + 2 = 3 \text{ (ГОД.)}.$$

$$t_{P2} = t_{K2} - t_{П2}, \text{ [ГОД.]} \quad (4.6)$$

де  $t_{K2}$  – час кінця опромінення 2-ї скороченої зміни. Визначаємо за формулою:

$$t_{K2} = \left( \frac{D_D \cdot K_{noc} + 1,33 \cdot P_{1max} \sqrt[4]{t_{П2}^3}}{1,33 \cdot P_{1max}} \right)^{4/3} \text{ [ГОД.]} \quad (4.7)$$

$$t_{K2} = \left( \frac{0,5 \cdot 7 + 1,33 \cdot 1,2 \cdot \sqrt[4]{3^3}}{1,33 \cdot 1,2} \right)^{4/3} = 7,4 \text{ (ГОД.)}.$$

$$t_{P2} = 7,4 - 3 = 4,4 \text{ (ГОД.)}.$$

Дозу опромінення 2-ї скороченої зміни визначаємо за формулою 4.4.

$$D_2 = \frac{1,33 \cdot 1,2 (\sqrt[4]{7,4^3} - \sqrt[4]{3^3})}{7} = 0,5 \text{ (мР)}.$$

Визначаємо параметри 3-ї скороченої зміни.

$$t_{П3} = t_{K2} = 7,4 \text{ (ГОД.)}.$$

$$t_{K3} = \left( \frac{0,5 \cdot 7 + 1,33 \cdot 1,2 \cdot \sqrt[4]{7,4^3}}{1,33 \cdot 1,2} \right)^{4/3} = 12,6 \text{ (ГОД.)}.$$

$$t_{P3} = 12,6 - 7,4 = 5,2 \text{ (ГОД.)}.$$

Доза опромінення 3-ї скороченої зміни визначаємо за формулою 4.2.

$$D_3 = \frac{1,33 \cdot 1,2 \left( \sqrt[4]{12,6^3} - \sqrt[4]{7,4^3} \right)}{7} = 0,5 \text{ (мР)}.$$

Таблиця 4.7 – Результати розрахунку скорочених змін

№ скороченої зміни	t <sub>П</sub> , год.	t <sub>Р</sub> , год.	t <sub>К</sub> , год.	D <sub>м</sub> , мР	D <sub>д</sub> , мР
1	1	2	3	0,292	0,5
2	3	4,4	7,4	0,5	0,5
3	7,4	5,2	12,6	0,5	0,5

Після того, як відпрацює остання скорочена зміна, до роботи запрошується друга повна зміна.

У результаті проведених розрахунків визначено режим роботи виробничого персоналу в умовах дії іонізуючого випромінювання. Для кожної зі скорочених змін визначено час початку та кінця зміни, тривалість зміни та дозу опромінення.

#### 4.6 Висновки до розділу 4

Для дільниці механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1» було розроблено заходи з охорони праці на робочому місці.

Також, у даному розділі було розглянуто вплив загрозливих чинників на людей. Визначено кількість скорочених змін на дільниці по виготовленню деталі «Сопло 14.26.1». Розраховано тривалість змін та дозу опромінення і запропоновано заходи по підвищенню безпеки виробничого персоналу в умовах дії радіації.

## ВИСНОВОК

Підвищення точності обробки на верстатах з ЧПК є досить складним технічним завданням, що включає в себе рішення конструкторських, технологічних, метрологічних питань, проведення додаткових досліджень, розробку специфічного апаратного і програмного забезпечення.

Точність обробки на верстатах з ЧПК в достатній мірі визначається конструктивною досконалістю верстата, його жорсткістю, точністю позиціонування, тепловими деформаціями, точністю базування, стійкістю процесу різання та іншими факторами.

Для підвищення точності обробки циліндричних поверхонь необхідно використовувати верстати з ЧПК з підвищеною жорсткістю. До таких верстатів відносять токарні верстати Spinner TC300/400/600/800. Використання таких верстатів для обробки циліндричних поверхонь деталей дозволяє підвищити їх точність.

В технологічному розділі було проведено удосконалення маршруту механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1» із застосуванням сучасного металообробного обладнання, яке забезпечить задані параметри точності деталі. У якості основго обладнання використано токарно-револьверний верстат SPINNER TC300-32. В порівнянні з базовим маршрутом механічної обробки кількість операцій зменшилась на 4 операції. Було проведено порівняння сумарної похибки механічної обробки поверхні  $\varnothing 75f9$  на різних типах верстатів. Мінімальне значення сумарної похибки механічної обробки буде отримано при обробці на верстаті з ЧПК підвищеної точності SPINNER TC300-32. Також було проведено аналіз технологічності деталі. Для забезпечення точності виготовлення та якості поверхонь за допомогою розмірного аналізу були розраховані проміжні розміри та припуски. Також були призначенні режими різання та норми часу на переходи механічної обробки. Було проведено розрахунок ділянки механічної обробки для покращення техніко-економічних показників.

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

Комерційний потенціал дослідження за результатами опитування експертів було визначено як вище середнього. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проект може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проекту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проекту складає 1,89 років.

Для ділянки механічної обробки деталі «Сопло 14.26.1» було розроблено заходи охорони праці на робочому місці. Визначено необхідну кількість світильників для забезпечення загального освітлення ділянки.

Проаналізовано безпеку в надзвичайних ситуаціях. Було розглянуто вплив загрозливих чинників на людей. Визначено кількість скорочених змін на ділянку по виготовленню деталі «Сопло 14.26.1». Розраховано тривалість змін та дозу опромінення і запропоновано заходи по підвищенню безпеки виробничого персоналу в умовах дії радіації.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Підвищення точності механічної обробки деталей за рахунок використання верстатів з ЧПК підвищеної точності / С. І. Сухоруков, В. В. Бернацький // Міжнародна науково-технічна конференція “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи – 2019”, Вінниця.
2. Технология машиностроения: курс лекций / А. Г. Ткачѳв, И. Н. Шубин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.ун-та, 2009. – 164 с.
3. Додонов В.В. Повышение точности обработки на станках с числовым программным управлением / В.В. Додонов // Инженерный журнал: наука и инновации, № 6, 2016 С. 1-17.
4. Берлинер Э.М. Повышение точности обработки заготовок на станках с ЧПУ / Э.М. Берлинер // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 6, 2012, С. 219-222.
5. Дусанюк Ж. П. Технологічні процеси виготовлення деталей машин. Навчальний посібник / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 196 с.
6. Анализ методов чистового точения изделий из упрочненных сталей и сплавов / С. А. Клименко, А. С. Манохин // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2016 , вип. 2(13) С.100-107.
7. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с
8. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об’ємне штампування: навчальний посібник / [Ж. П.Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
9. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – Минск : Вышэйшая школа, 1983.— 256 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / [Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

11. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч I. – М.: Машиностроение, 1974. – 416 с

12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч II. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.

13. Мельников Н.Г., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1990. -352 с.

14. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами - магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / В.О.Козловський - Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

15. 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>.

16. Кобилянський О.В. Основи охорони праці (в двох частинах). Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, Ч. 2. – 2007. – 171 с.

17. 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.

Додатки

## Додаток А

### Технічне завдання

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 ДЕТАЛІ «СОПЛО 14.26.1»

08-26.МКР.002.00.000 ТЗ

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

Сухоруков С. І. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Виконавець: студент 2 курсу, групи 2ПМ-18м  
спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

Бернацький В. В. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### 1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи

а) потреба в зниженні собівартості виконання операцій механічної обробки заготовки деталі «Сопло 14.26.1» за рахунок використання сучасного металорізального обладнання, інструменту, оснащення, та досягнення вищої якості та точності для поверхонь, що мають підвищений знос;

б) наказ про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

### 2. Мета і призначення МКР

а) модернізація технологічного процесу механічної обробки для підвищення якості та точності циліндричних поверхнь завдяки застосуванню верстатів підвищеної точності;

б) розробка призначена для застосування на машинобудівних підприємствах України.

### 3. Вихідні дані для виконання МКР

Робоче креслення деталі «Сопло 14.26.1».

Необхідність розгляду альтернативних варіантів способу поверхневого зміцнення поверхонь та вибору 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	2.09.19 р.	20.09.19 р.	Формування задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Методика теоретичних (експериментальних) досліджень об'єкту вивчення	2.09.19 р.	20.09.19 р.	Об'єкт дослідження, розділ 1
3	Математичне моделювання та аналіз результатів дослідження	2.09.19 р.	4.10.19 р.	розділ 2, публікація результатів
4	Підготовка економічної частини	09.09.19 р.	22.11.19 р.	розділ 3, апробація
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	09.09.19 р.	22.11.19 р.	розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	28.10.19 р.	22.11.19 р.	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

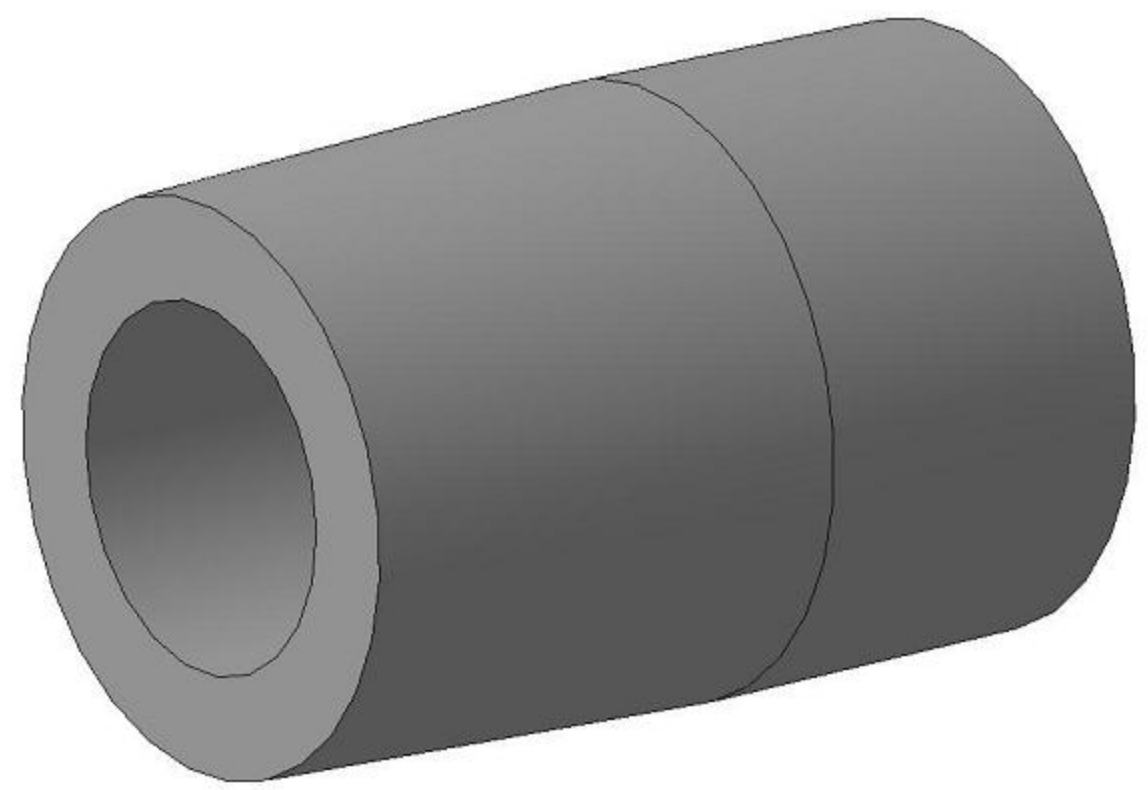
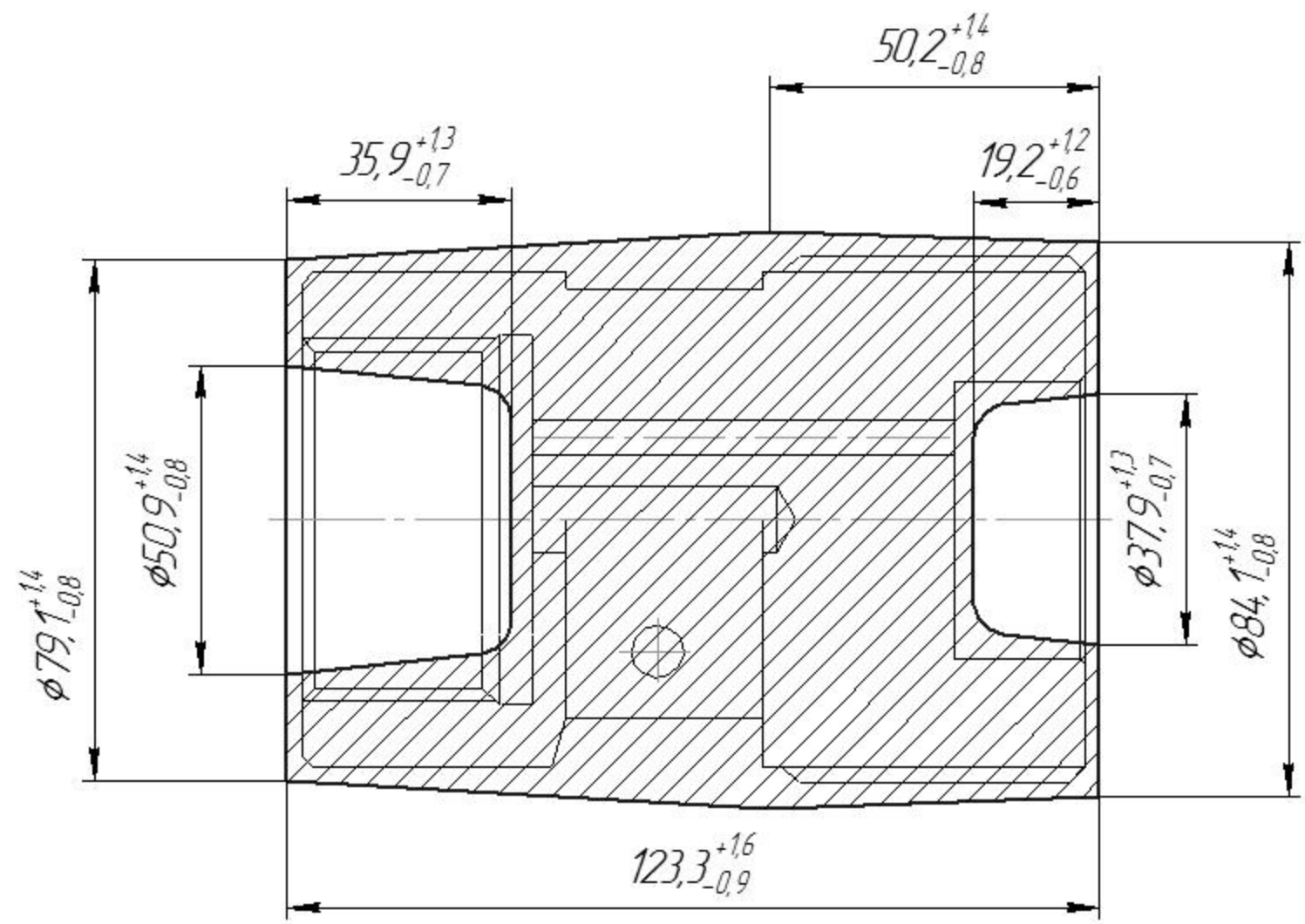
Графічна частина





08-26.МКР.002.00.002

√ Ra 16 (√)



1. Клас точності – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С1.
2. Невказані штампувальні нахили 5°, радіуси 4 мм.
3. Допустимі зміщення по площині роз'єму 3 мм.
4. Невказані допуски радіусів заокруглень 1,0 мм.
5. НВ 229...269

Лист № докум  
Сторінка №  
Взам. інв. №  
Інв. № дрізн  
Підп. і дата  
Інв. № деталі

				<b>08-26.МКР.002.00.002</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Заготовка деталі "Сопло" (Паковка)	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Бернацький В.В.					4,528	1:1
Проб.		Сухоручков С.І.				Лист		Листов 1
Т.контр.								
Н.контр.		Сердюк О.В.			Сталь 38Х2МЮА ГОСТ 7417-75	ВНТУ гр. 2ПМ-18М		
Утв.		Козлов Л.Г.				Формат А3		

Копіював

# Маршрут механічної обробки

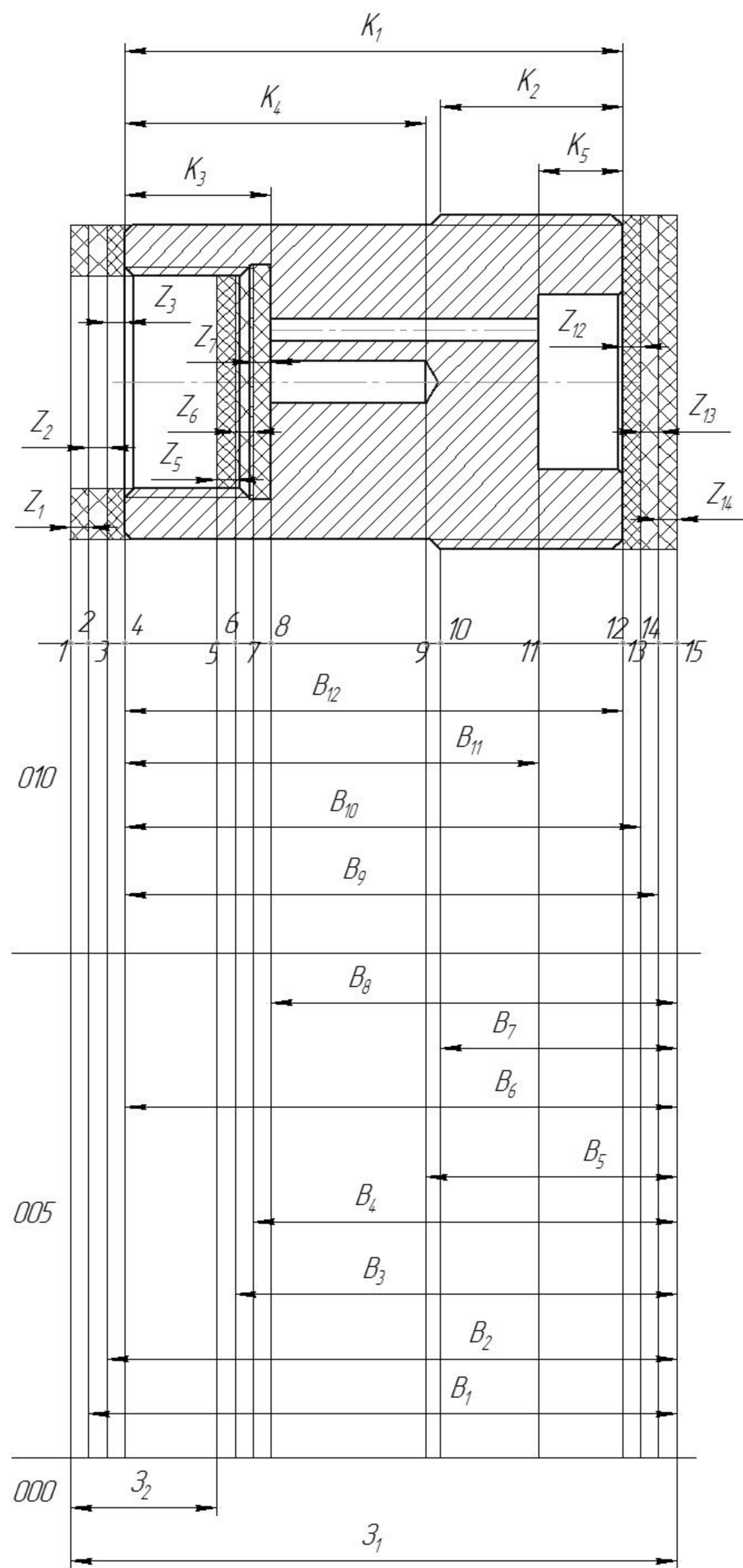
08-26.МКР.002.00.100 ПЛ

№ Операції	Операції і переходи	Ескіз та схеми установки	Тип обладнання
005	<p style="text-align: center;"><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити пов. 1 в розмір <math>124,93_{-0,87}</math> та пов. 2 в розмір <math>\phi 76,2_{-0,6}</math> по контуру.</li> <li>3. Точити пов. 1 в розмір <math>123,26_{-0,54}</math> та пов. 2 в розмір <math>\phi 75,05_{-0,12}</math> по контуру.</li> <li>4. Розточити отв. 3 в розмір <math>\phi 50,94^{+0,32}</math> та торець 4 в розмір <math>33,03^{+0,87}</math> попередньо.</li> <li>5. Розточити отв. 3 в розмір <math>\phi 52,18^{+0,12}</math> та торець 4 в розмір <math>34,3^{+0,54}</math> попередньо.</li> <li>6. Розточити канавку 5 згідно ескізу.</li> <li>7. Центрувати отв. 6 та 4 отв. 8.</li> <li>8. Свердлити отв. 6 в розмір <math>\phi 9,09^{+0,22}</math></li> <li>9. Свердлити 4 отв. 8 в розмір <math>\phi 6,09^{+0,22}</math></li> <li>10. Зенкерувати отв. 6 в розмір <math>\phi 9,672^{+0,058}</math></li> <li>11. Зенкерувати отв. 6 в розмір <math>\phi 9,903^{+0,022}</math></li> <li>12. Зенкерувати 4 отв. 8 в розмір <math>\phi 6,672^{+0,058}</math></li> <li>13. Зенкерувати 4 отв. 8 в розмір <math>\phi 6,903^{+0,022}</math></li> <li>14. Розвернути отв. 6 в розмір згідно ескізу.</li> <li>15. Розвернути 4 отв. 8 згідно ескізу.</li> <li>16. Розточити отв. 3 в розмір <math>\phi 53,5^{+0,074}</math> та торець 4 в розмір згідно ескізу.</li> <li>17. Точити фаску 9 в розмір згідно ескізу.</li> <li>18. Точити пов. 1, 2 остаточно по контуру.</li> <li>19. Нарізати різь в отв. 3.</li> <li>20. Зняти деталь.</li> </ol>		Токарно-револьверний верстат з ЧПК SPINNER TC300-52
010	<p style="text-align: center;"><u>Токарно-револьверна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Точити пов. 1 в розмір <math>120,77_{-0,35}</math> та пов. 2 в розмір <math>\phi 81,8_{-0,35}</math> по контуру.</li> <li>3. Точити пов. 1 в розмір <math>119,62_{-0,22}</math> та пов. 2 в розмір <math>\phi 80,52_{-0,14}</math> по контуру.</li> <li>4. Розточити отв. 3 однократно.</li> <li>5. Розточити фаску 5 однократно.</li> <li>6. Точити фаску 4 однократно.</li> <li>7. Точити пов. 1, 2 остаточно по контуру.</li> <li>8. Нарізати різь на поверхні 2.</li> <li>9. Зняти деталь.</li> </ol>		Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1П4.20ПФ30
015	<p style="text-align: center;"><u>Фрезерна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити заготовку.</li> <li>2. Фрезерувати 2 лиски 1 в розмір <math>56,1_{-0,63}</math>, лиску 5 в розмір <math>30_{-0,54}</math> та лиску 6 в розмір <math>35_{-0,54}</math> попередньо.</li> <li>3. Фрезерувати 2 лиски 1, лиску 5 та лиску 6 остаточно в розмір згідно ескізу.</li> <li>4. Фрезерувати паз 3 в розмір згідно ескізу</li> <li>5. Центрувати отв. 2, 7 однократно.</li> <li>6. Свердлити отв. 2 та 7 в розмір <math>\phi 7,09^{+0,22}</math> та <math>\phi 8</math>.</li> <li>7. Розсверлити отв. 8 в розмір <math>\phi 14</math>.</li> <li>8. Зенкерувати отв. 6 в розмір <math>\phi 7,672^{+0,058}</math></li> <li>9. Зенкерувати отв. 6 в розмір <math>\phi 7,903^{+0,022}</math></li> <li>10. Розвернути отв. 2 згідно ескізу.</li> <li>11. Зенкерувати отв. 8 однократно.</li> <li>12. Нарізати різь в отв. 8 однократно.</li> <li>13. Зняти деталь.</li> </ol>		Вертикальний оброблювальний центр SPINNER UC-620

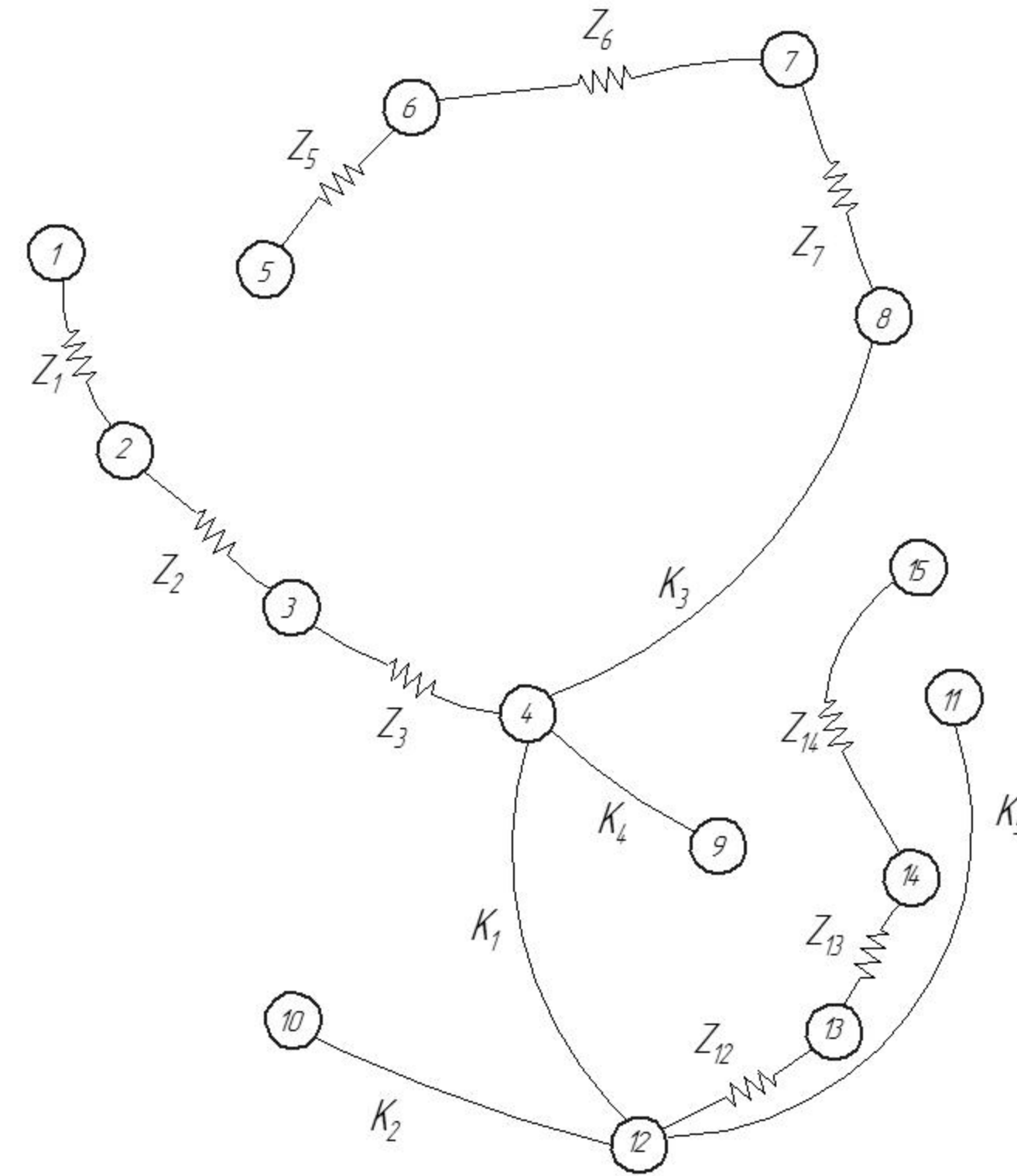
Лист № 001/002/003/004/005/006/007/008/009/010/011/012/013/014/015/016/017/018/019/020/021/022/023/024/025/026/027/028/029/030/031/032/033/034/035/036/037/038/039/040/041/042/043/044/045/046/047/048/049/050/051/052/053/054/055/056/057/058/059/060/061/062/063/064/065/066/067/068/069/070/071/072/073/074/075/076/077/078/079/080/081/082/083/084/085/086/087/088/089/090/091/092/093/094/095/096/097/098/099/100

# Розмірний аналіз технологічного процесу

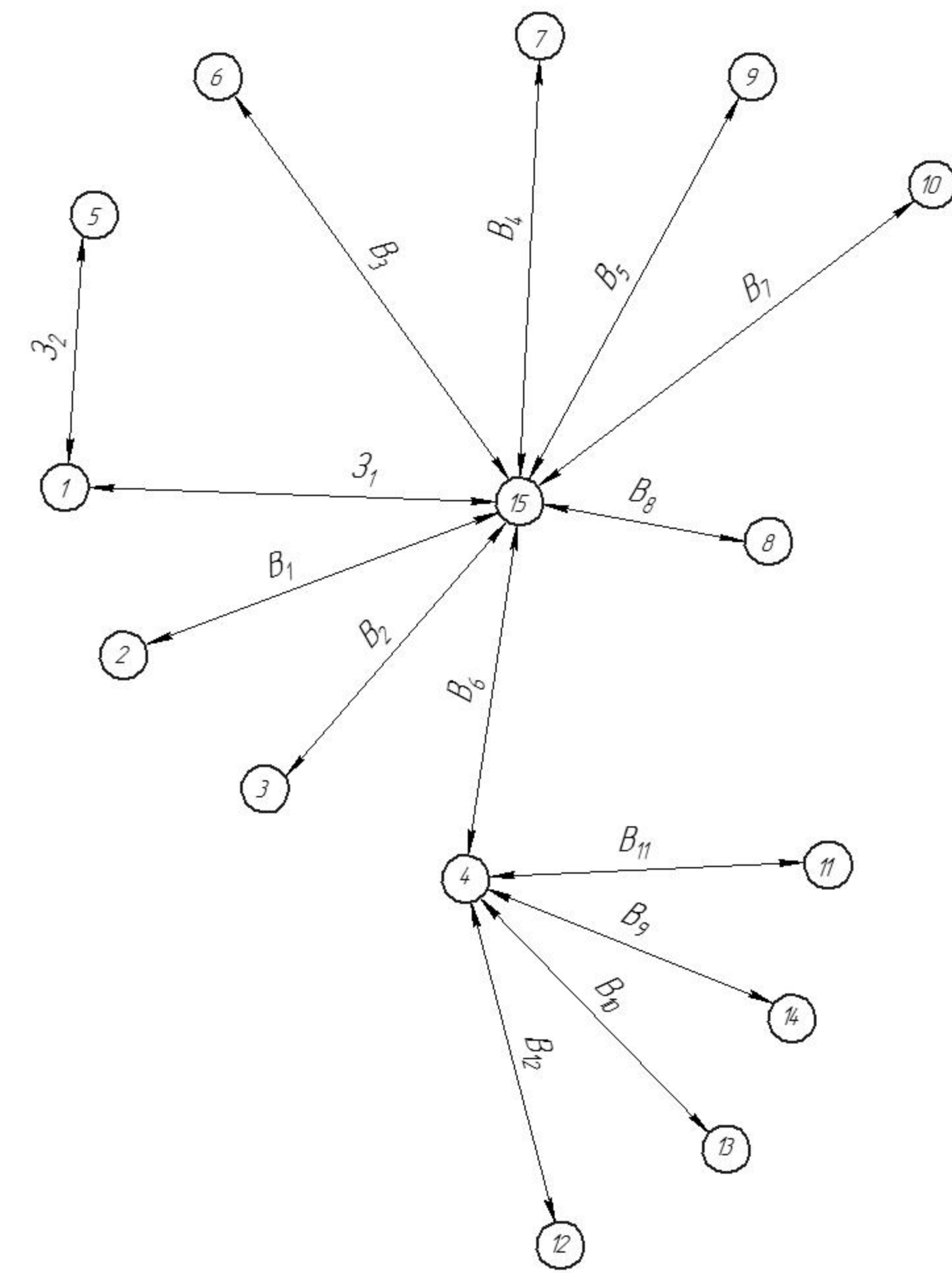
Розмірна схема технологічного процесу



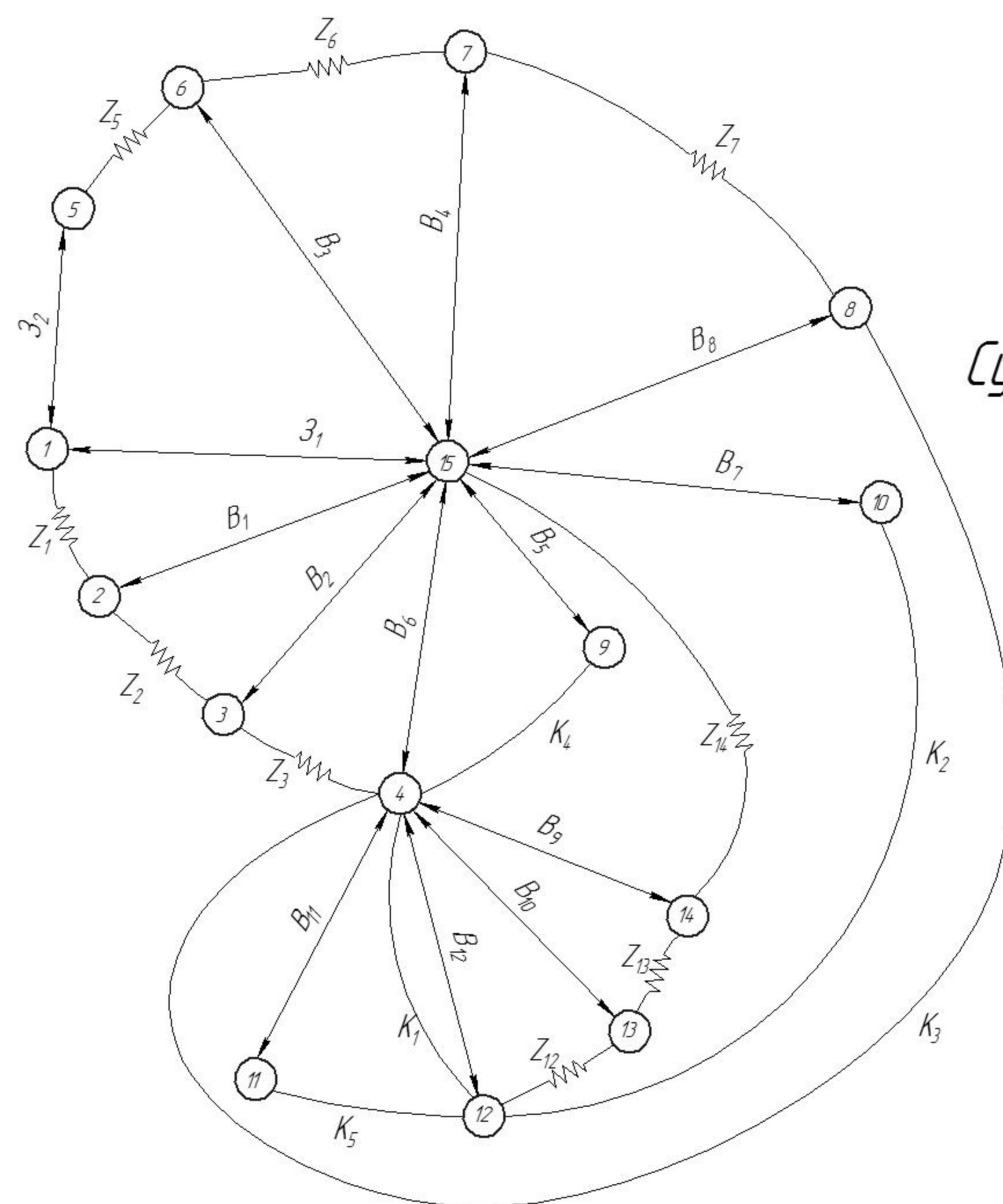
Вихідний граф



Похідний граф



Суміщений граф



Припуски на механічну обробку поверхонь

	Z <sub>1</sub> , мм	Z <sub>2</sub> , мм	Z <sub>3</sub> , мм	Z <sub>5</sub> , мм	Z <sub>6</sub> , мм	Z <sub>7</sub> , мм	Z <sub>12</sub> , мм	Z <sub>13</sub> , мм	Z <sub>14</sub> , мм
min	1,2	0,8	0,4	0,2	0,4	0,8	0,4	0,8	1,2
max	2,6	2,21	1,29	1,45	1,81	2,29	0,807	1,37	1,9

Технологічні розміри та розміри заготовки

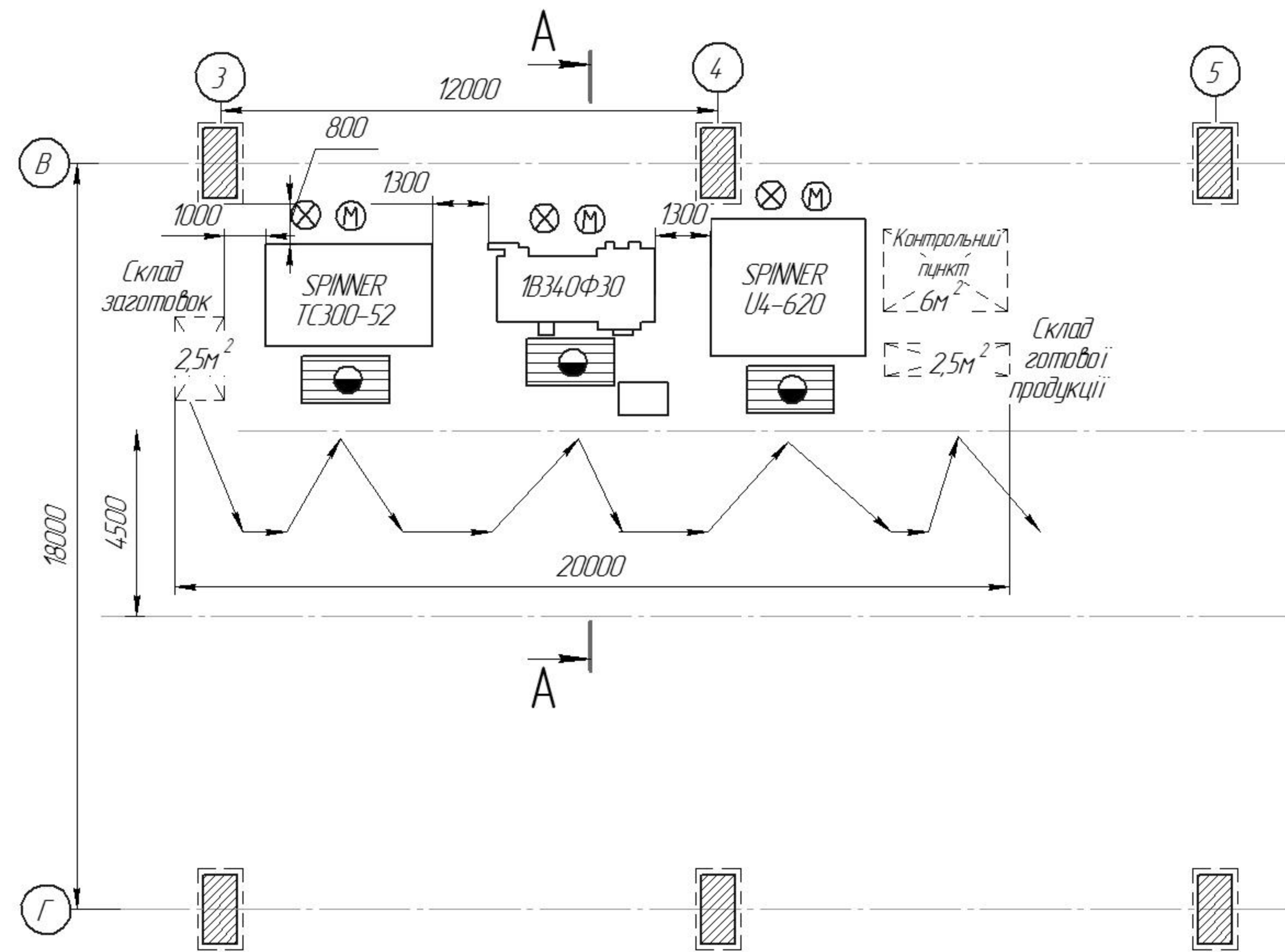
	B <sub>1</sub> , мм	B <sub>2</sub> , мм	B <sub>3</sub> , мм	B <sub>4</sub> , мм	B <sub>5</sub> , мм	B <sub>6</sub> , мм	B <sub>7</sub> , мм	B <sub>8</sub> , мм	B <sub>9</sub> , мм	B <sub>10</sub> , мм	B <sub>11</sub> , мм	B <sub>12</sub> , мм	Z <sub>1</sub> , мм	Z <sub>2</sub> , мм
min	124,06	122,72	89,36	88,42	48,97	121,97	48,97	86,67	120,42	119,4	98,65	118,913	125,26	36,48
max	124,93	123,26	90,23	88,96	50,32	122,32	50,787	87,62	120,77	119,62	99,26	119	126,66	37,1

				08-26.МКР.002.00.200 ПЛ			
Лист	№ док.	Підп.	Дата	Розмірний аналіз технологічного процесу			
Розроб	Сердюк О.В.			Лист	1	Листів	1
Проб.	Сичоричков С.			ВНТУ			
Т.контр.				ст. гр. ППМ-16мс			
Н.контр.	Сердюк О.В.			Формат А1			
Утв.	Козлов Л.			Копіював			

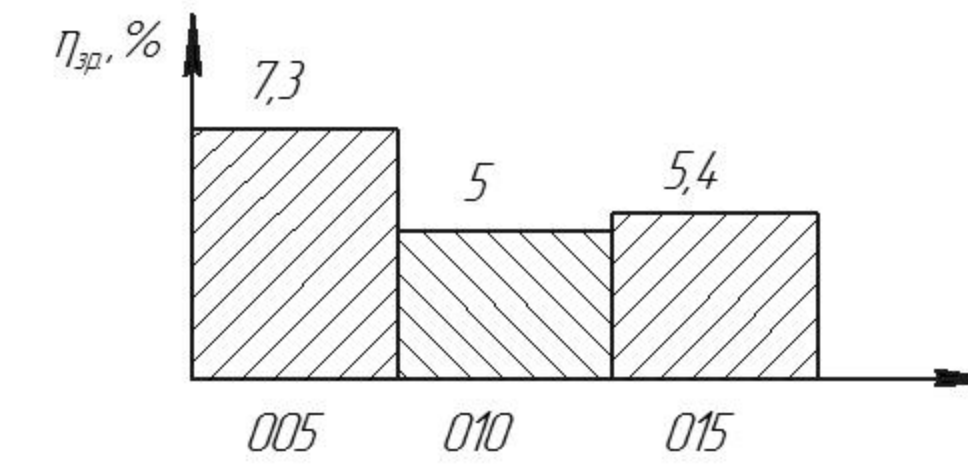
Лист № 1  
Сторінка № 1  
Листів у ділянці  
Листів у ділянці  
Листів у ділянці



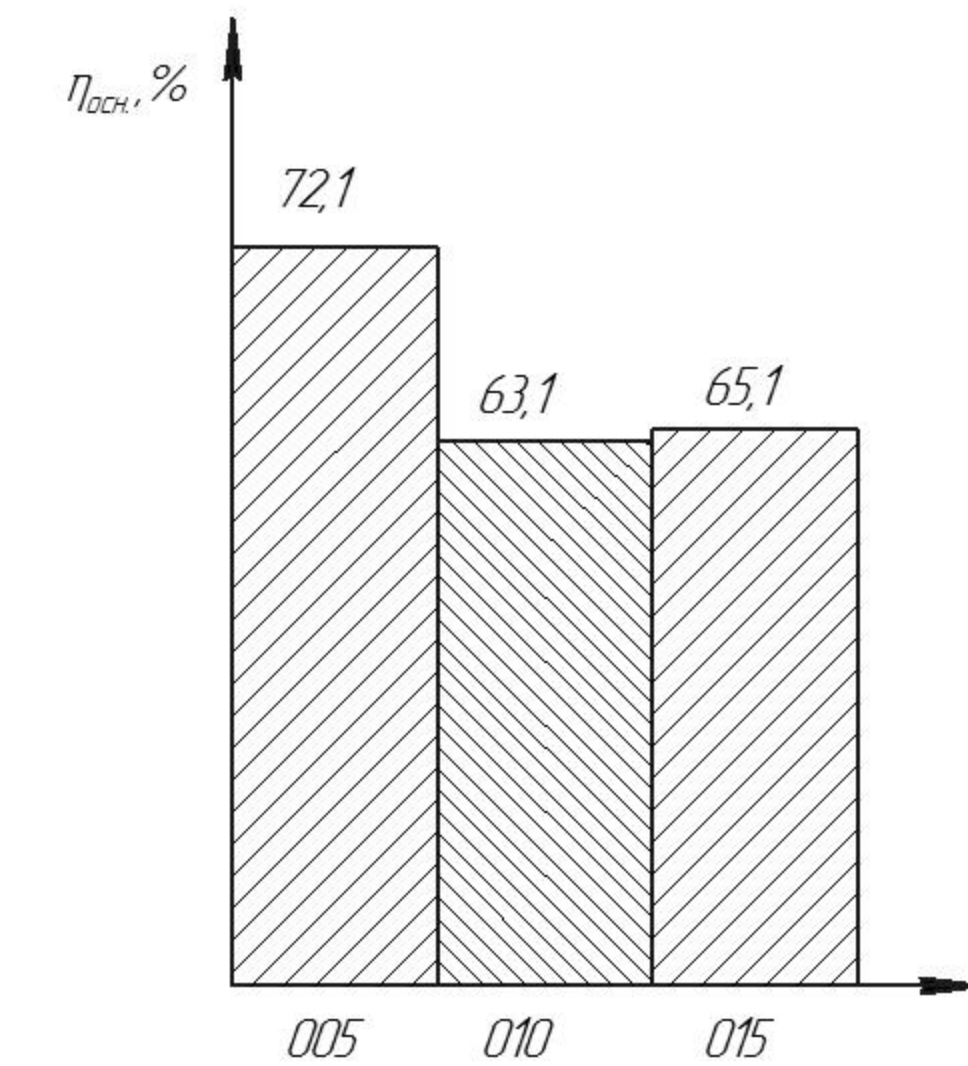
# Дільниця механічної обробки



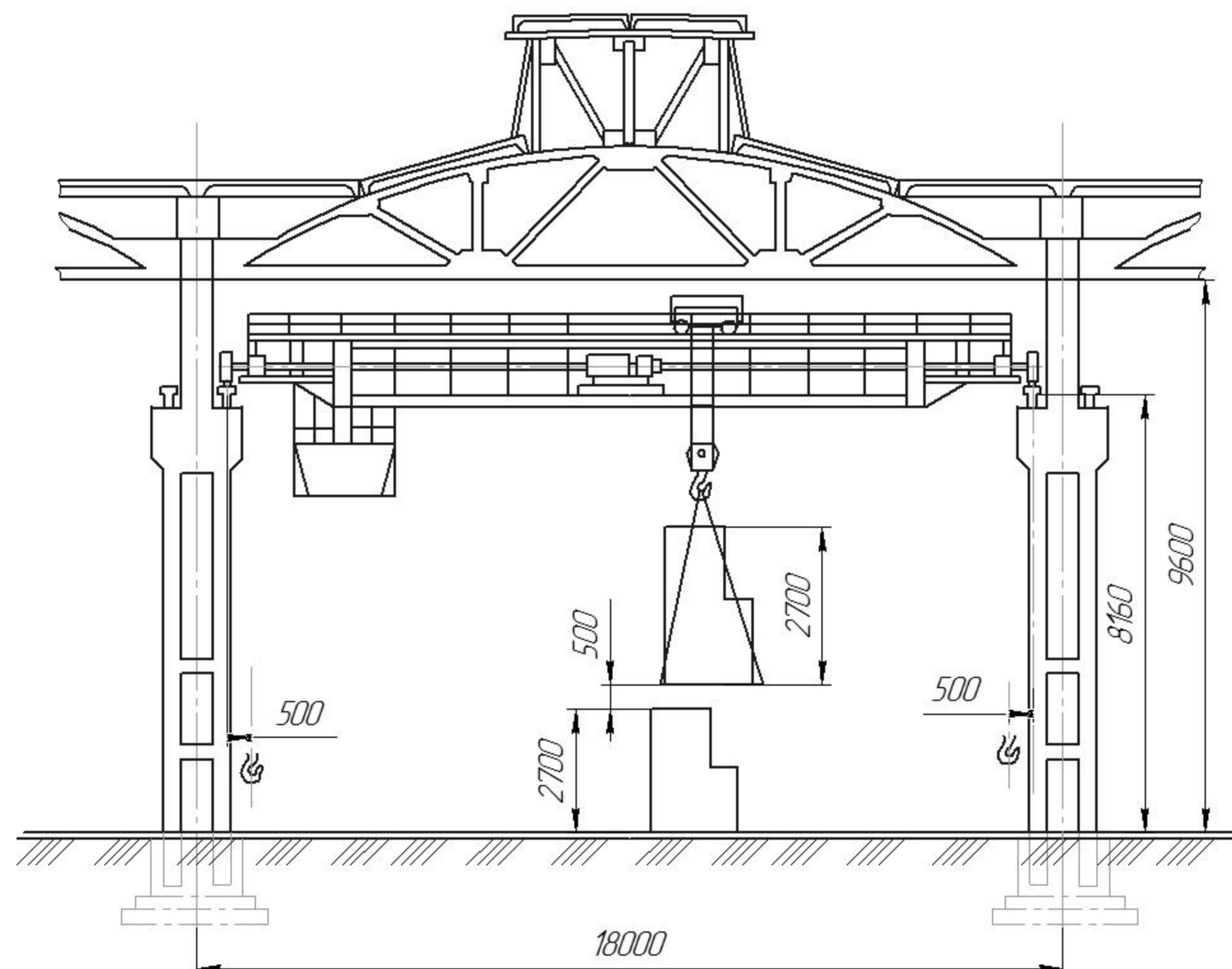
Графік завантаження обладнання



Графік використання обладнання за основним часом



## A-A



Приведена програма випуску: 16020 чол.

Кількість основних працівників: 3 чол.  
 Кількість допоміжних працівників: 1 чол.  
 Кількість ІТР: 1 чол.  
 Кількість молодшого обслуговуючого персоналу: 1 чол.

				08-26.МКР.002.00.400 ЗВ		
Лист	№ док.	Площ.	Ціна	Розрахунок елементів дільниці механічної обробки	Лист	Масштаб
Розроб	Зерняцький В.В.					1:100
Проб	Сичарикова С.					
Т.контр.						
Н.контр.	Сердюк О.В.				Лист	Листів 1
Утв.	Козлов Г.Г.				ВНТУ	
					гр. 2ПМ-18м	
					Формат А1	

Лист № 1  
 Сторінка № 1  
 Взам. лист № 1  
 Листів у ділянці 1  
 Листів у ділянці 1

## Техніко-економічне порівняння

<i>Базовичі технологічний процес</i>	<i>Модернізований технологічний процес</i>
<i>Матеріал</i>	
<i>Сталь 38Х2МЮА</i>	<i>Сталь 38Х2МЮА</i>
<i>Спосіб виготовлення заготовок</i>	
<i>Прокат</i>	<i>Штампування на КГШП</i>
<i>Коефіцієнт використання матеріалу</i>	
<i>0,568</i>	<i>0,713</i>
<i>Кількість операцій</i>	
<i>7 операцій</i>	<i>3 операції</i>
<i>Кількість верстатів</i>	
<i>7 верстатів</i>	<i>3 верстати</i>
<i>Кількість працюючих</i>	
<i>7 основних працівників</i>	<i>3 основних працівника</i>
<i>Абсолютна ефективність розробки</i>	
<i>–</i>	<i>675189</i>
<i>Термін окупності</i>	
<i>–</i>	<i>1,89 року</i>

Лист № 001/1  
 Лист № 001/2  
 Лист № 001/3  
 Лист № 001/4  
 Лист № 001/5  
 Лист № 001/6  
 Лист № 001/7  
 Лист № 001/8  
 Лист № 001/9  
 Лист № 001/10  
 Лист № 001/11  
 Лист № 001/12  
 Лист № 001/13  
 Лист № 001/14  
 Лист № 001/15  
 Лист № 001/16  
 Лист № 001/17  
 Лист № 001/18  
 Лист № 001/19  
 Лист № 001/20  
 Лист № 001/21  
 Лист № 001/22  
 Лист № 001/23  
 Лист № 001/24  
 Лист № 001/25  
 Лист № 001/26  
 Лист № 001/27  
 Лист № 001/28  
 Лист № 001/29  
 Лист № 001/30  
 Лист № 001/31  
 Лист № 001/32  
 Лист № 001/33  
 Лист № 001/34  
 Лист № 001/35  
 Лист № 001/36  
 Лист № 001/37  
 Лист № 001/38  
 Лист № 001/39  
 Лист № 001/40  
 Лист № 001/41  
 Лист № 001/42  
 Лист № 001/43  
 Лист № 001/44  
 Лист № 001/45  
 Лист № 001/46  
 Лист № 001/47  
 Лист № 001/48  
 Лист № 001/49  
 Лист № 001/50  
 Лист № 001/51  
 Лист № 001/52  
 Лист № 001/53  
 Лист № 001/54  
 Лист № 001/55  
 Лист № 001/56  
 Лист № 001/57  
 Лист № 001/58  
 Лист № 001/59  
 Лист № 001/60  
 Лист № 001/61  
 Лист № 001/62  
 Лист № 001/63  
 Лист № 001/64  
 Лист № 001/65  
 Лист № 001/66  
 Лист № 001/67  
 Лист № 001/68  
 Лист № 001/69  
 Лист № 001/70  
 Лист № 001/71  
 Лист № 001/72  
 Лист № 001/73  
 Лист № 001/74  
 Лист № 001/75  
 Лист № 001/76  
 Лист № 001/77  
 Лист № 001/78  
 Лист № 001/79  
 Лист № 001/80  
 Лист № 001/81  
 Лист № 001/82  
 Лист № 001/83  
 Лист № 001/84  
 Лист № 001/85  
 Лист № 001/86  
 Лист № 001/87  
 Лист № 001/88  
 Лист № 001/89  
 Лист № 001/90  
 Лист № 001/91  
 Лист № 001/92  
 Лист № 001/93  
 Лист № 001/94  
 Лист № 001/95  
 Лист № 001/96  
 Лист № 001/97  
 Лист № 001/98  
 Лист № 001/99  
 Лист № 001/100

<i>08-26.МКР.002.00.500 ПЛ</i>			
<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Лист</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Верницький В.В.</i>	<i>Техніко-економічне порівняння</i>	<i>Лист</i>
<i>Проб.</i>	<i>Сухоріков С.</i>		<i>Листов</i>
<i>Т.контр.</i>			<i>ВНТУ</i>
<i>Н.контр.</i>	<i>Сердюк О.В.</i>		<i>гр. 2ПМ-18м</i>
<i>Утв.</i>	<i>Назлов Л.</i>		<i>Формат А1</i>