

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ТА
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПІДГОТОВКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ»»**

08-64.МКР.015.00.000 ПЗ

Виконала: студентка 2-го курсу, гр. 1ПМ-23м
спеціальності 131 – Іскладна механіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Олександр РИЖИХ
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ТАМ
Олег ПОНТКЕВИЧ
(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. АТМ
Олег АНТОНЮК
(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л.Г.
(прізвище та ініціали)

«16» грудня 2024 р.

Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування

Вінницький національний технічний університет
Факультет Машинобудування та транспорту
Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 13- Механічна інженерія
Спеціальність – 131 – Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
начальник конструкторського
бюро ТОВ «Піонтек»


В.В. Черніх
«24» вересня 2024 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри ТАМ
д.т.н., проф. Л.Г. Козлов


(підпис)
«24» вересня 2024 р.

ЗАВАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТИЦІ

Рижих Олександр Ігорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Підвищення продуктивності технологічної підготовки та механічної обробки заготовки деталі «Вал»»

керівник роботи к.т.н., доц. кафедри ТАМ Піонткевич О.В.
затверджені наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 року №310

2. Строк подання студентом роботи 17 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: робоче креслення деталі «Вал», прототип маршруту механічної обробки заготовки деталі, креслення заготовки, програма випуску 2700 шт. та режими різання на операції.

4. Зміст текстової частини: аналіз початкових умов, конструкції та службового призначення деталі; розробка пристосування для механізації процесу закріплення деталі на шпонково-фрезерну операцію; розрахунок ріжучого інструменту на шпонково-фрезерної операції; розрахунок контрольно-вимірювального інструменту для точної поверхні; удосконалення робочого місця механічної обробки заготовки деталі типу «Вал»; економічне обґрунтування розробки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення конструкції деталі «Вал», плакат маршруту механічної обробки, креслення шпонкової фрези та калібр-скоби, плакат удосконаленого робочого місця, креслення пристосування.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав
Основна частина	к.т.н., доц. Олег ПОНТКЕВИЧ	26.09.24	26.09.24
Економічна частина	к.е.н., проф. Олександр ЛЕСЬКО	26.09.24	26.09.24

7. Дата видачі завдання 24 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Гр
1	Визначення об'єкту та предмету дослідження	до 25. 10.2024	Вол
2	Аналіз відомих рішень, постановка задачі	до 25. 10.2024	Вол
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	до 30. 10.2024	Вол
4	Розв'язання поставлених задач	до 20. 11.2024	Вол
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	до 22. 11.2024	Вол
6	Виконання розділу «Економічна частина»	до 25. 11.2024	Вол
7	Попередній захист МКР	до 02. 12.2024	Вол
8	Перевірка роботи на плагіат	до 04. 12.2024	Вол
9	Нормоконтроль МКР	до 13. 12.2024	Вол
10	Рецензування МКР	до 13. 12.2024	Вол
11	Захист МКР	до 25. 12.2024	Вол

Студентка

Керівник роботи

(підпис)

Олександра РИЖИХ

Олег ПОНТКЕВИЧ

АНОТАЦІЯ

УДК 621.8

Рижих О. В. Підвищення продуктивності технологічної підготовки та механічної обробки заготовки деталі «Вал»: магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / О. В. Рижих. Вінницький національний технічний університет. Вінниця, 2024. 108 ст.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв; рис.: 32; табл. 18.

Метою роботи є підвищення продуктивності виготовлення деталей «Вал» шляхом зменшення затрат допоміжного часу на механічну обробку її заготовки та використання розроблених додатків для автоматизації технологічної підготовки.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз деталі «Вал»; спроектовано пристосування для обробки пазу шириною 16 мм; забезпечено максимальну продуктивність обробки заготовки режимами різання та проаналізовано їх вплив на конструкцію пристрою; розроблено додатки для розрахунку ріжучого та контрольно-вимірювального інструменту; удосконалено робоче місце механічної обробки заготовки деталі типу «Вал».

Отримала подальший розвиток методика забезпечення міцності деталей необхідного пристосування за рахунок врахування залежності величини зміни зусилля затиску від параметрів режимів різання на шпонково-фрезерній операції механічної обробки, що дозволило обрати найбільш продуктивний метод обробки деталі з раціональними конструктивними розмірами пристосування для закріплення заготовки.

В економічній частині роботи розраховані капітальні вкладення, собівартість механічної обробки заготовки деталі, термін окупності та економічний ефект.

Графічна частина ілюстративно доповнює матеріали, які представлені в пояснювальній записці.

Ключові слова: вал, робоче місце механічної обробки, пристосування, продуктивність

ABSTRACT

Ryzhyk O. V. Increasing the productivity of technological preparation and mechanical processing of the workpiece of the “Shaft”: master's qualification work for the completion of the educational qualification level "Master" in specialty 131 "Applied mechanics". / O. V. Ryzhyk. Vinnitsa National Technical University. Vinnitsa, 2024. 108 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 23 titles; Fig.: 32; table 18.

To achieve the set goal, an analysis of the “Shaft” part was carried out; a device for processing a groove with a width of 16 mm was designed; maximum productivity of workpiece processing by cutting modes was ensured and their influence on the design of the device was analyzed; applications for calculating cutting and control and measuring tools have been developed; the workplace for machining a workpiece of the “Shaft” type has been improved.

The method for ensuring the strength of the parts of the required fixture has been further developed by taking into account the dependence of the magnitude of the change in clamping force on the parameters of the cutting modes in the key-milling operation of machining, which made it possible to choose the most productive method of machining the part with rational structural dimensions of the fixture for fixing the workpiece.

In the economic part of the work, capital investments, the cost of machining the workpiece of the part, the payback period and the economic effect are calculated. The work also developed measures for labor protection and safety in emergency situations.

The graphic part illustratively complements the materials presented in the explanatory note.

Key words: shaft, machining workplace, device, productivity

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТА СЛУЖБОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»	7
1.1 Службове призначення деталі «Вал»	7
1.2 Аналіз конструкції та технологічності деталі «Вал»	10
1.3 Аналіз маршруту механічної обробки деталі «Вал»	14
1.4 Обґрунтування та способи покращення режимів різання і норми часу	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»	22
2.1 Розробка конструктивної схеми пристосування	22
2.2 Визначення похибки базування	24
2.3 Розрахунок необхідної сили закріплення	26
2.4 Вибір затискного механізму та розрахунок його параметрів	28
2.5 Дослідження силових характеристик затискного пристрою	29
2.6 Розрахунки затискних елементів пристрою на міцність	30
2.7 Опис дії верстатного пристосування	32
РОЗДІЛ 3 ДОДАТКИ І РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ РІЗУЧОГО ТА КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТІВ	33
3.1 Алгоритм розрахунку різучого та контрольно вимірювального інструментів	33
3.2 Розробка додатків для розрахунку різучого та контрольно вимірювального інструментів	38
3.3 Результат обробки отриманих даних після розрахунку	42
РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»	46
4.1 Характеристики оброблюваного обладнання робочого місця	46
4.2 Вибір промислового робота для удосконалення робочого місця	48
4.3 Проєктування захватного пристрою та його перевірочний розрахунок	50

4.4 Розрахунок траєкторії руху елементів промислового робота.....	56
4.5 Вибір допоміжного устаткування для удосконалення робочого місця.....	57
4.6 Розрахунок допустимих швидкостей переміщення деталі в захваті.....	59
4.7 Побудова циклограми роботи промислового робота.....	61
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	62
5.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи.....	62
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	64
5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором.....	74
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ.....	85
ДОДАТОК А – ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	86
ДОДАТОК Б – ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	87
ДОДАТОК В – ПРОГРАМНИЙ КОД РОЗРОБЛЕНИХ ДОДАТКІВ.....	98

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасні підходи до виробництва дозволяють покращити продуктивність виготовлення деталей. Основою виробництва машинобудівних деталей є їхні технологічні процеси. За рахунок послідовного та постійного удосконалення технологічних процесів досягається значний економічний ефект. Невід'ємною частиною удосконалення є впровадження нового обладнання, матеріалів та інструментів. Саме тому інженери та директори заводів слідкують за впровадженням та розвитком нових способів удосконалення технологічних процесів для забезпечення росту доходів підприємства.

В роботі розглянуто шляхи підвищення продуктивності технологічної підготовки та механічної обробки заготовки деталі «Вал». Актуальними на даний час є впровадження автоматизованого робочого місця, що покращує продуктивність випуску виробів, розробка спеціального пристосування та необхідність розробки сучасних додатків для проектування інструментів.

Мета та задачі роботи дослідження.

Метою роботи є підвищення продуктивності технологічної підготовки та механічної обробки заготовки деталі «Вал» шляхом розробки спеціальних додатків для автоматизації роботи інженерного персоналу та використання автоматизованого спеціального обладнання для зменшення часу на допоміжні операції.

Для досягнення мети планується розв'язати такі *задачі*:

- провести аналіз деталі «Вал»;
- спроектувати пристосування для виготовлення шпонкового пазу 16Р9 мм;
- забезпечити максимальну продуктивність обробки заготовки режимами різання та проаналізувати вплив на конструкцію пристосування;
- розробити додатки для розрахунку ріжучий та контрольно вимірювальний інструментів;
- удосконалити безпосередньо робоче місце механічної обробки заготовки деталі типу «Вал».

Об'єкт дослідження – фізико-механічні процеси в обладнанні.

Предмет дослідження – обладнання та механізми для удосконалення технологічного процесу.

Методи дослідження. Математична логіка, методи функціонального моделювання та методи поверхневого і твердотілого моделювання за допомогою програмного пакету SolidWorks, редактор коду програм для додатків Visual Studio.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримала подальший розвиток методика кінцево-елементного аналізу спеціального пристосування деталі «Вал», що дозволило удосконалити його конструкцію з метою забезпеченням необхідної швидкості обробки та коефіцієнту запасу міцності.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено пристосування для виготовлення шпонкового пазу 16P9 мм

Розроблено додатки та спроектовано конструкції шпонкової фрези 16 мм та контрольно-вимірювального інструменту калібру $\varnothing 60k6$.

Удосконалено робоче місце механічної обробки заготовки деталі типу «Вал» шляхом встановлення промислового робота моделі «QJKB15-1».

Особистий внесок магістранта. Основні теоретичні, програмні та імітаційні результати розрахунків та моделювання, що наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримано самостійно.

Публікації: Побережець В. Я., Ящук Д. А., Рижих О. В., Піонткевич О. В. Розробка прикладних програм мовою програмування C# для автоматизованого проєктування металорізного інструменту. Матеріали ІІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. 4 с. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20531>.

Ящук Д. А., Побережець В. Я., Рижих О. В., Піонткевич О. В. Інженерні дослідження деталей машин на базі CAE технологій середовища SOLIDWORKS. Матеріали ІІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. 5 с. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20580>.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТА СЛУЖБОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

1.1 Службове призначення деталі «Вал»

Редуктор розкидача добрив – це спеціальний варіант редукторів (рисунок 1.1), який сконструйовано для розкидання добрив Minghua Made Seed (рисунок 1.2). Основна функція редуктора – це перетворення швидкості обертання валів та передача потужності від валу відбору потужності до механізму розкидання. З допомогою редуктора можна передати з необхідною частотою такий крутний момент на вал, який буде забезпечувати розкидання добрив на велику відстань. Цей пристрій розміщено одразу під бункером та забезпечує рівномірність розкидання добрива по полю. Крім цього, редуктор вигідний тим, що його він виготовлений з алюмінієвого сплаву та є достатньо легким, а його ціна відповідає якості виробу.

Основні робочі характеристики редуктора для розкидача добрив показано в таблиці 1.1.

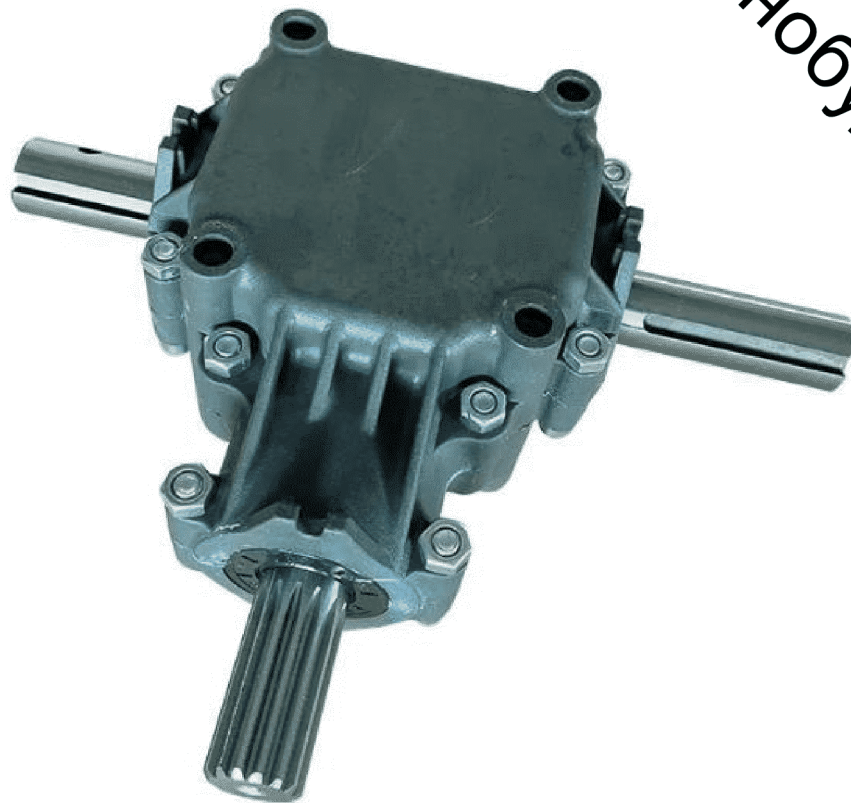


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд редуктор розкидача добрив

Таблиця 1.1 – Дані редуктора розкидача добрив

Передаточне число	1:1,9
Максимальна вихідна потужність	11 кВт
Максимальний вихідний крутний момент	990 Н·м
З'єднувальний вал	D-8x52d11x60d7x10js7
Корпус коробки передач	Лиття з алюмінієвого сплаву
Вага нетто	14,1 кг
Додатки	Розкидачі хімічних добрив, косарки, стрічкові пилки
Стан корпусу	Корпус без оливи



Рисунок 1.2 – Розкидач добрив Minghua Made Seed під час роботи

Редуктор розкидача добрив забезпечує наступні критерії, щоб досягти необхідної ефективності:

- передача потужності: щоб забезпечити точне та надійне розкидання хімічних добрив, від потужності валу вихідної потужності трактора ефективно передається на механізм розкидання через редуктор.

- регульовані налаштування: в редукторах розкидачів добрив передбачено налаштування, які легко змінювати, щоб задавати необхідну ширину та швидкість розкидання. Така особливість дозволяє фермерам регулювати насичення ґрунту добривами для конкретних потреб та культур.

- довговічність: редуктор виготовлено таким чином, щоб бути міцним та стійким до діючих навантажень, що виникають при регулярному використанні в робочих польових умовах сільськогосподарських робіт.

- технічне обслуговування: для гарантування довговічності і максимальної продуктивності редуктора, необхідно забезпечувати планове технічне обслуговування. Сюди входить заміна зношених компонентів, перевірка редуктора на наявність пошкоджень та змащення.

- сумісність: редуктор розкидачів добрив призначено для застосування на різних типах та моделях машин. Фермерам необхідно переконатися, що редуктор відповідає вимогам їхнього розкидача.

Деталь «Вал» є невід'ємною частиною для редуктора розкидувача добрив та забезпечує його ефективну роботу за рахунок розміщення шестерні на підшипниках в корпусі. Отже, усі елементи редуктора, які контактують з деталлю «Вал» є:

- конічна шестірня: це основний елемент у вигляді диска з зубами на конічній поверхні, що входить в зачеплення із зубами іншого зубчастого колеса і призначений для передавання крутного моменту та частоти обертання;

- втулки регульовальні: на деталі, що контактують з деталлю «Вал» та розташовують її вибираючи необхідні зазори і забезпечуючи тихохідність роботи;

- підшипники: для забезпечення плавної роботи та обертання навколо своєї осі деталь «Вал» встановлюють на підшипниках, які встановлюються в корпус редуктора.

Згідно розглянутого редуктора на рис. 1.1 деталь «Вал» розміщено в центрі його корпусу та вона безпосередньо контактує з підшипниками, шестірнею та муфтою від валу відбору потужності. Основні особливості під час дослідження деталі «Вал» - це центрування в підшипниках, передача крутного моменту та забезпечення міцнісних характеристик. Максимальна робоча частота обертання деталі «Вал» складає до 1100 об/хв, а максимальний крутний момент, яке передає деталь «Вал» - 990 Нм.

1.2 Аналіз конструкції та технологічності деталі «Вал»

Деталь «Вал» зроблено з сталі марки 40Х ДСТУ 7806:2015, так як деталь виконує основну функцію редуктора по передачі крутного моменту. Деталь «Вал» є відповідальною та від точності обробки її поверхонь залежить уся ефективність роботи даного механізму. Саме тому обрано матеріал легрована конструкційна сталь 40Х із вмістом вуглецю 0,36...0,44%, кремнію 0,17...0,37%, марганцю 0,5...0,8% та хрому 0,8...1,1%. При цьому частка сірки та фосфору в даній сталі не повинна перевищувати 0,035%.

На рис. 1.3 показано конструкцію деталі «Вал». Перш за все можна сказати, що це «тілом обертання».

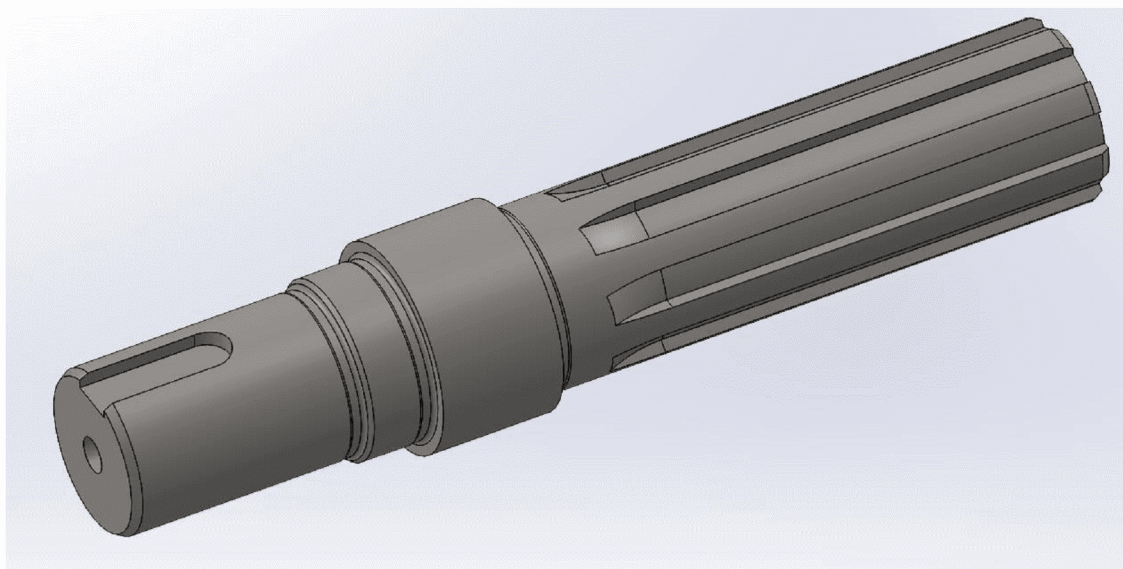


Рисунок 1.3 – Тривимірна модель деталі «Вал»

Необхідні вимоги виготовлення деталі «Вал» зображено на його кресленіку: 08-64 МКР.015.00.001. Найточніші є зовнішні циліндричні поверхні: $\varnothing 60k6$ мм та $\varnothing 55f8$ мм. Для закріплення деталі «Вал» в корпусі редуктора використовують регулювальні втулки та підшипники. Передачу крутного моменту відбувається через шпонку шириною 16Р9 мм та шліцеву поверхню D-8x52d11x60d7x10js7.

Технологічні вимоги мають запис про термообробку «Поліпшення», яка складається зі гартування та відпуск, при цьому забезпечується 260-280 НВ по Бренелю. Такий підхід дозволяє покращити структуру заготовки для обробки та зменшення напружень після її виготовлення. Окремо для шліців передбачено термічну обробку токами високої частоти на глибину 1,5 мм при HRC більше 36 по Роквелу.

Для деталі «Вал» вказано вимоги щодо якості поверхні за шорсткістю R_a 1,25-6,3 мкм, яку можна забезпечити точінням або фрезеруванням з декількох переходів. Також для місця контакту деталі із манжетою встановлено шорсткість R_a 0,63 після полірування. Загальна шорсткість для усіх інших поверхонь складає R_a 12,5 мкм.

Попередній огляд деталі «Вал» показав, що коефіцієнт уніфікації по розмірам становить 0,89. Так само можна проаналізовано коефіцієнт точності обробки – 0,917, та коефіцієнт шорсткості поверхні – 0,127. Отримані значення знаходяться в межах норми та за розрахованими кількісними показниками деталь є технологічною.

Для аналізу конструкції деталі «Вал» проведемо статичні дослідження на її міцнісні характеристики. Для цього розрахунку будемо використовувати розроблену тривимірну модель (рисунок 1.3). Під час дослідження деталі «Вал» прикладемо дію крутного моменту в 990 Нм та радіальну силу в 40%, яка діє на буртики та в середині деталі. Спочатку знайдемо та проаналізуємо напруження по Мізесу (див. рис. 1.4), які виникають в матеріалі деталі.

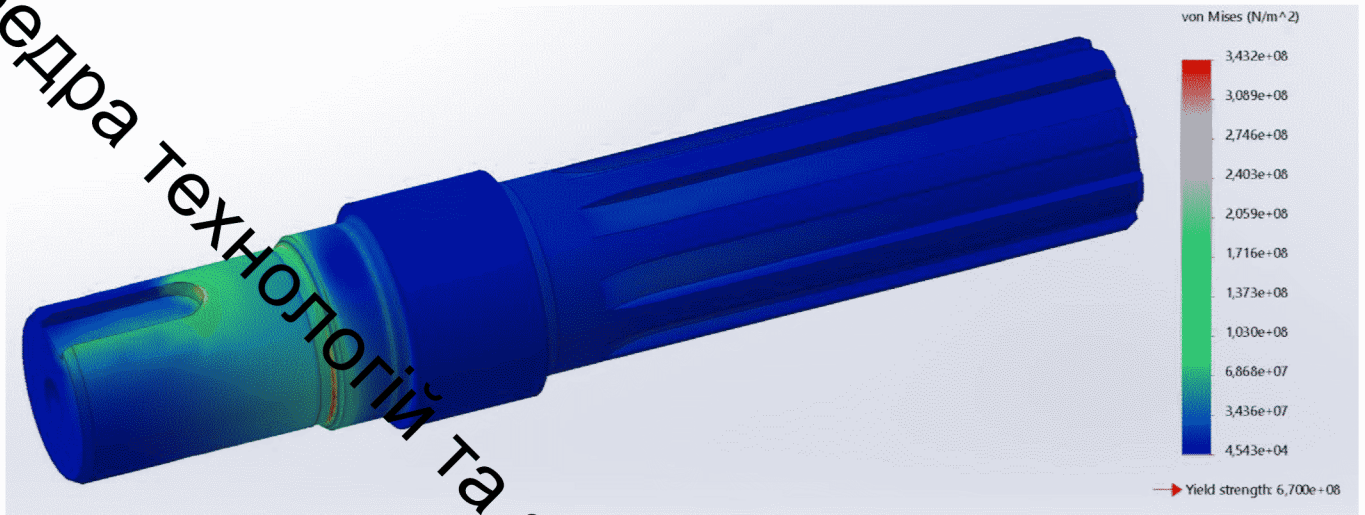


Рисунок 1.4 – Напруження по Мізесу для деталі «Вал»

Встановлено, що в місцях закріплення деталі «Вал» виникають найбільші напруження по Мізесу, які дорівнюють 343,2 МПа. Для цього дослід також проаналізовано коефіцієнт запасу міцності (див. рис. 1.5), який дорівнює 1,95.

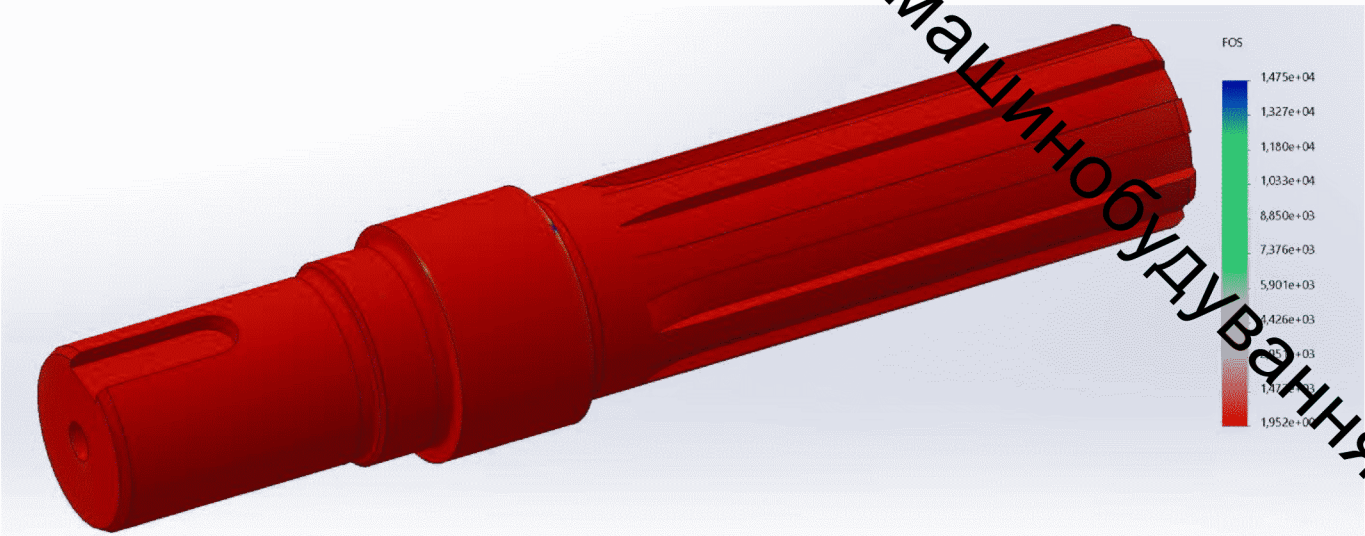


Рисунок 1.5 – Коефіцієнт запасу міцності деталі «Вал»

Отже, досліджувана тривимірна модель деталі «Вал» забезпечує необхідні міцнісні характеристики, а її маса дорівнює 6,92 кг.

Заготовка деталі «Вал» є гарячекатаний прокат $\varnothing 75$ мм за ГОСТ 2590-2006 (див. рис. 1.6). Довжина сортаменту також визначається в залежності від матеріалу. Для легованої сталі гарячекатаний прокат виготовляють довжиною від 2 до 6 метрів,

довжину $L = 6000$ мм, а точність для необхідного розміру: $\varnothing 75^{+0,3}_{-1,1}$ мм при точності прокату В.

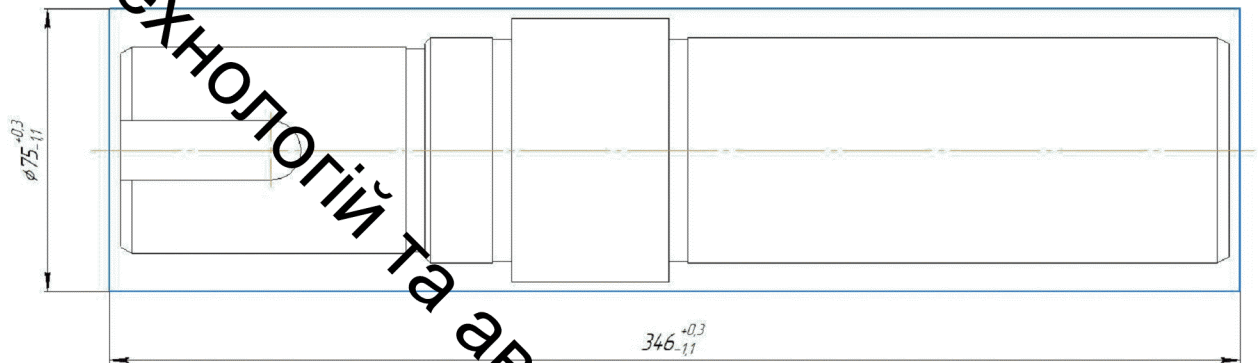


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки деталі «Вал»

Проведемо розрахунок кількості заготовок для одного кругляка сортаменту:

$$\frac{L}{L_1} = \frac{6000}{346} = 17,34.$$

Приймаємо 17 шт. заготовок для одного сортаменту, визначимо його залишок:

$$l_{\text{залишок}} = L - 17 \cdot L_1 = 6000 - 17 \cdot 346 = 118 \text{ (мм)}.$$

Технічні вимоги для заготовки деталі «Вал»:

1. Кривизна прокату – не більше 0,2 мм.
2. Паралельність торців – 0,2 мм.

Невказані радіуси – 3 мм.

Отже, маса заготовки становить 11,92 кг, так як маса обробленої деталі – 6,92 кг. Розрахований коефіцієнт точності маси деталі «Вал» становить 58%, що є гарним значенням для даної заготовки під час середньосерійного виробництва.

1.3 Аналіз маршруту механічної обробки деталі «Вал»

Згідно орієнтованих даних [1] розраховано тип виробництва середньо-серійний, також коефіцієнт закріплення операцій дорівнює 18,8. Тоді встановлюємо, що форма організації роботи – групова. При цьому кількість деталей у партії 102 шт.

Для деталі «Вал» прийнято за чистові технологічні бази прийнято допоміжні бази у вигляді центрованих отворів НМ16 ГОСТ 14034-74. Тобто базування деталі «Вал» відбуватиметься в центрах для майже на всіх операціях. Ці базові поверхні дозволяють забезпечити закріплення та обробку деталі відносно осі з достатньою точністю розмірів і геометричних форм.

Схему базування для шпоночно-фрезерної операції прийнято за зовнішню циліндричну поверхню заготовки та її торець. При цьому похибка базування має значення $\xi_6 = 0,01$ мм, що є допустимо при допуску на розмір 0,2 мм.

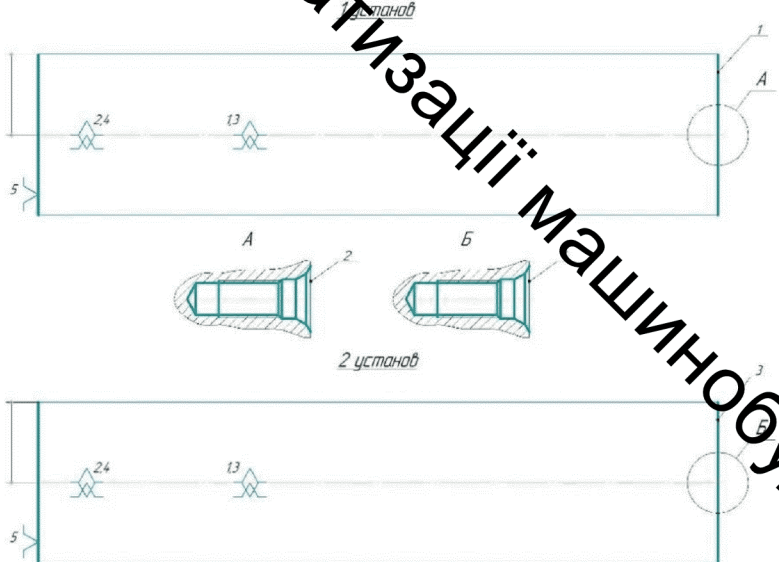
Під час обробки похибки базування на токарній, пліцефрезерну та шліфувальні операції відсутні за рахунок використання центрованих отворів НМ16 ГОСТ 14034-74.

Чорною базою в нашому випадку приймаємо класичну схему базування на фрезерно-центрувальній операції за зовнішній діаметр заготовки і один торець. Вибрані чистові і чорнові бази забезпечують всі вимоги до деталі.

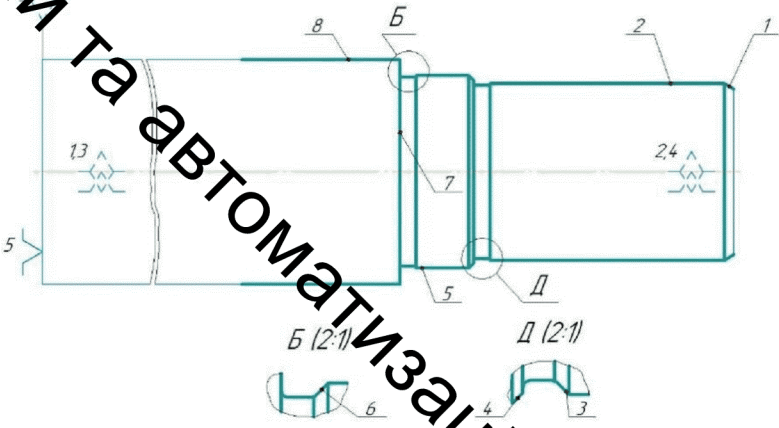
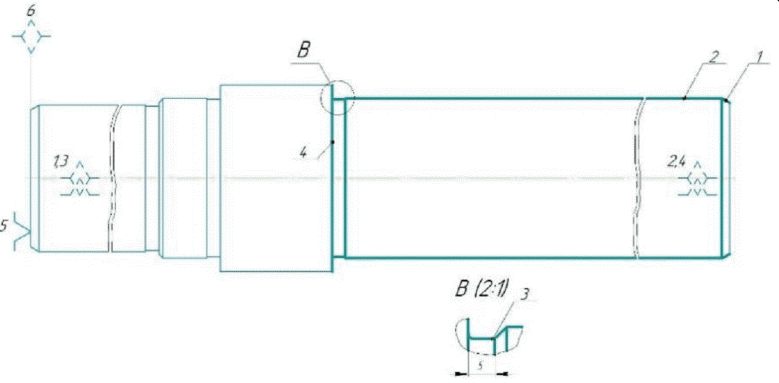
При розробці маршруту на механічну обробку ми дотримувалися принципів, що точність оброблюваних розмірів є завжди більшою по мірі припусків та якості обробки деталі «Вал». Крім цього, в самому кінці технологічного процесу механічної обробки наявна промивна та контрольна операції. Ці операції дають можливість очистити від стружки і бруду деталь «Вал» з перевіркою її розмірів (див. таблицю 1.2).

В ході аналізу даного маршруту механічної обробки деталі «Вал» ми маємо обробку на операції 010 токарній з ЧПК операції на верстаті 16Б16Ф3. Доцільно було б розмістити програмованого робота з тактовим столом, що дасть зменшення часу на допоміжні та міжопераційні переходи.

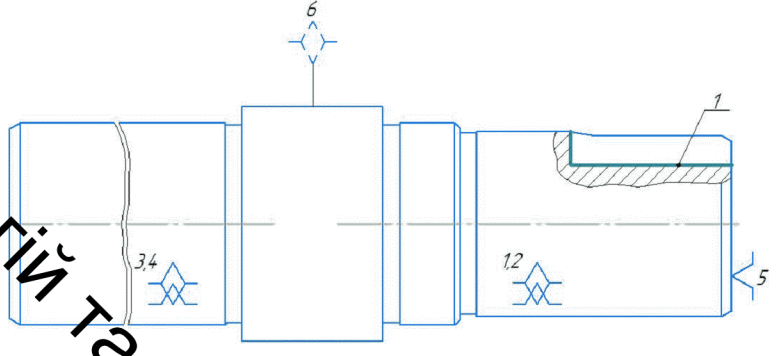
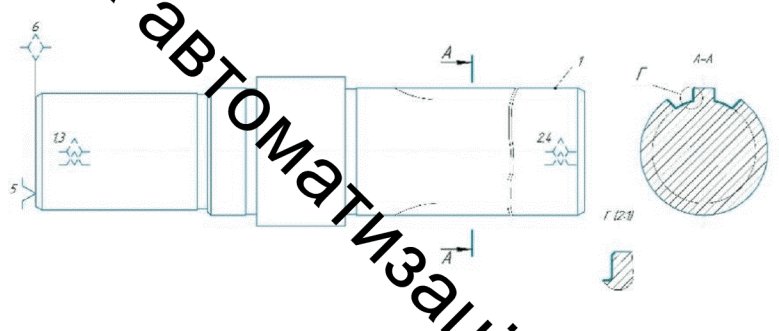
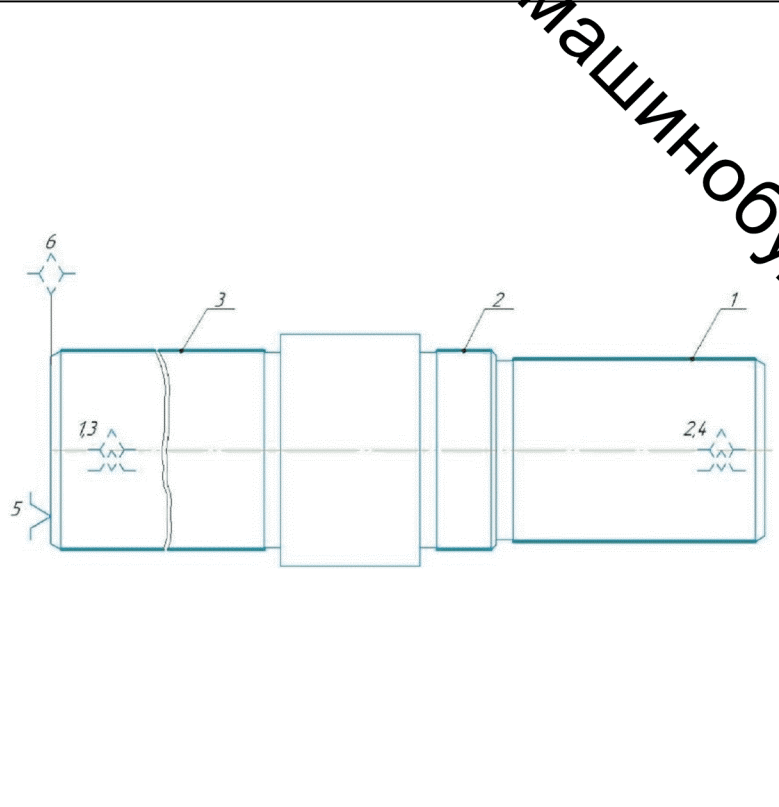
Таблиця 1.2 – Маршрут механічної обробки деталі «Вал»

Номер назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
	2	3
005 Токарно-револьверна з ЧПК 1. Установити і закріпити заготовку. 2. Точити торець 1. 3. Центрувати отвір 2. 4. Сверлити отвір 2. 5. Розсверлити отвір 2. 6. Зенкувати фаску в отворі 2 (60°). 7. Нарізати різь в отворі 2. 8. Зенкувати фаску в отворі 2 (120°). 9. Переустановити деталь. 10. Точити торець 3. 11. Центрувати отвір 4. 12. Сверлити отвір 4. 13. Розсверлити отвір 4. 14. Зенкувати фаску в отворі 4 (60°). 15. Нарізати різь в отворі 4. 16. Зенкувати фаску в отворі 4 (120°). 17. Зняти деталь.		Токарно-револьверний з ЧПК 1П420ПФ3 0

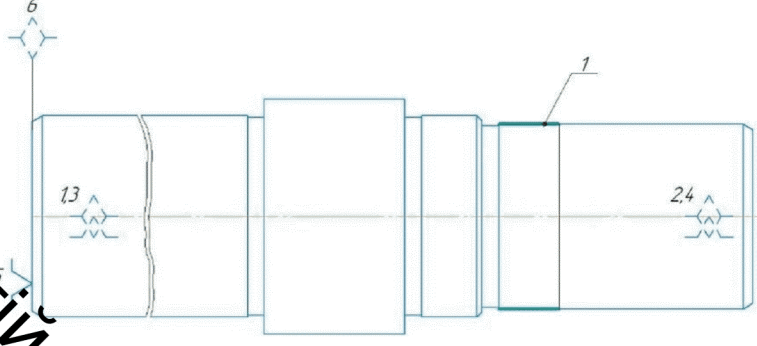
Продовження таблиці 1.2

1	2	3
010 Токарна з ЧПК 1. Встановити та закріпити деталь 2. Точити поверхню 2 з підрізанням торця, поверхню 5, торець 7 попередньо, поверхню 8 одноразово. 3. Точити фаску 1 одноразово, поверхню 2 остаточно 3 підрізанням торця, фаску 4 одноразово, поверхню 5, торець 7 остаточно. 4. Точити канавки 3 та 6 одноразово. 5. Зняти деталь.		Токарний з ЧПК 16Б16Ф3
015 Токарна з ЧПК 1. Встановити та закріпити деталь 2. Точити поверхню 2, торець 4 попередньо. 3. Точити фаску 1 одноразово, поверхню 2, торець 4 остаточно. 4. Точити канавку 3 одноразовою 6. Зняти деталь.		Токарний з ЧПК 16Б16Ф3

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
020 Шпонково-фрезерна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати шпонковий паз 1. 3. Зняти деталь.		Шпонково-фрезерний 692Р
025 Шліцефрезерна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати шліци 1. 3. Зняти деталь.		Шліцефрезерний 5350А
030 Термічна	Поліпшення	
035 Токарна з ЧПК 1. Встановити та закріпити деталь 2. Точити тонко поверхню 1 одноразово, поверхню 2 попередньо. 3. Точити тонко поверхню 3 попередньо. 4. Точити тонко поверхню 2 остаточно. 5. Точити тонко поверхню 3 остаточно. 6. Зняти деталь.		Токарний з ЧПК МК6801Ф

Продовження таблиці 1.2

040 Полірувальна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Полірувати поверхню 1 одноразово. 3. Зняти деталь.		Круглошліфувальний з ЧПК 3М151Ф2
045 Промити деталь		
050 Технічний контроль		

Необхідно також звернути увагу на 020 шпонково-фрезерну операцію на шпоночно-фрезерному верстаті моделі 6921, для якого варто спроектувати пристосування, щоб зменшити час для допоміжних переходів та для операцій на затискання, з метою забезпечити установку і закріплення деталі «Вал» в необхідній позиції.

1.4 Обґрунтування та способи покращення режимів різання і норми часу

В таблицях 1.3-1.9 показано режими різання на операції 005-040 з механічною обробкою для деталі «Вал». А також, таблиці 1.10 показано результати розрахунку технологічних норм часу для механічної обробкою 005-040 для деталі «Вал».

Таблиця 1.3 – Операція 005 – Токарно-револьверна з ЧПК (верстат 1П420ПФ30)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\max}$, мм	s , мм/об	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм	T_o , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 перехід Точити торець 1	75	2	2	0,4	138	2,9	586	37,5	0,198
2 перехід Центрувати отвір 2 з утворенням фаски 60°	10	5	5	0,2	13	-	400	15	0,275
3 перехід Сверлити отвір 2	14	7	7	0,2	18	-	400	50	0,725

Таблиця 1.5 – Операція 015 – Токарна з ЧПК (верстат 16Б16Ф3)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\max}$, мм	s , мм/об	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм	T_o , хв
1 перехід Точити поверхню 2, торець 4 попередньо	70	1	1	0,5	132	4,9	600	194	3,233
2 перехід Точити фаску 1 одноразово, поверхню 2, торець 4 остаточно	51	0,2	0,2	0,2	135	-	700	194	2,771
3 перехід Точити канавку 3 одноразово	60,5	3	3	0,3	115	-	600	1,5	0,008
Основний час виконання операції									4,17

Таблиця 1.6 – Операція 020 – Шпонково-фрезерна (верстат 692Р)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\max}$, мм	s , мм/об	s_z , мм/зуб	$S_{\text{хв}}$, мм/хв	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм	T_o , хв
1 перехід Фрезерувати шпонковий паз 1.	16	0,2	0,2	0,3	0,15	2	180	2,2	600	48	1,446
Основний час виконання операції											1,446

Таблиця 1.7 – Операція 025 – Шліцефрезерна (верстат 5350А)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\max}$, мм	s , мм/об	s_z , мм/зуб	z	$S_{\text{хв}}$, мм/хв	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм	T_o , хв
1 перехід Фрезерувати шліці 1.	60	4	4	0,3	0,015	50	120	76	2,2	400	173	1,78
Основний час виконання операції												1,78

Таблиця 1.8 – Операція 035 – Токарна з ЧПК (верстат МК6801Ф3)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\max}$, мм	s , мм/об	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм	T_o , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 перехід Точити тонко поверхню 1 одноразово, поверхню 2 попередньо.	60,5	0,1	0,1	0,1	191	2,4	1000	104	2,08
2 перехід Точити тонко поверхню 3 попередньо	60,5	0,15	0,15	0,1	191	-	1005	194	3,88

Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>3 перехід</u> Точити тонко поверхню 2 остаточно	60,2	0,1	0,1	0,1	190	-	1005	23	0,92
<u>4 перехід</u> Точити тонко поверхню 3 остаточно	60,3	0,15	0,15	0,05	190	-	1003	193	7,7
Основний час виконання операції									14,58

Таблиця 1.9 – Операція 040 – Полірувальна з ЧПК (верстат 3М151Ф2)

Технологічні переходи і робочі ходи	d , мм	t , мм	$t_{\text{раз}}$, мм	s , мм/об	v , м/хв	$N_{\text{різ}}$, кВт	n , об/хв	L , мм	T_o , хв
<u>1 перехід</u> Полірувати поверхню 1 одноразово	60	0,01	0.01	0,01	377	3,5	2001	23	1,15
Основний час виконання операції									1,15

Таблиця 1.10 – Розрахунок технічних норм часу

Номер і назва операції	$T_{осн}$, хв.	ФК	$T_{шт-к}$, хв.
005 Токарна з ЧПК	3,454	1,34	4,63
010 Токарна з ЧПК	6,09	1,3	7,917
015 Токарна з ЧПК	4,17	1,3	5,421
020 Шпонково-фрезерна	7,78	1,67	13,0
025 Шліцефрезерна	6,016	1,67	10,0
035 Токарна з ЧПК	14,58	1,3	18,954
040 Полірувальна з ЧПК	1,15	1,52	1,748

Після розрахунків почнемо проводити удосконалення технологічного процесу шляхом покращення продуктивності виготовлення деталі «Вал». Це може досягатися за рахунок проєктування спеціального пристосування для закріплення деталі «Вал» під час шпонково-фрезерної операції 020, встановлення сучасного робочого місця з роботом та тактовим столом на операціях 010 та 015, розробкою застосунків для вибору стійкого металорізального інструменту (шпонкова фреза) та спеціального вимірювального інструменту (калібр-скоба).

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»

2.1 Розробка конструктивної схеми пристосування

Розробка верстатного пристосування для деталі «Вал» доцільно використати з наступною послідовністю [9]:

1) розрахувати габаритні розміри установчої області верстату і розміри кріпильних елементів для верстатного пристосування;

2) розглянути схему базування на обробку деталі «Вал», та врахувати точність і якість поверхонь, типи і розміри елементів для безпосереднього закріплення. Визначити взаємне розташування елементів та якщо має місце, розрахувати похибку базування на верстатному пристосуванні на операцію;

3) згідно типу виробництва запропонувати тип верстатного пристосування та кількість одночасно оброблюваних деталей;

4) показати основні напрямки дії сил затиску деталі «Вал» виходячи із схеми закріплення, а також визначити величину дії цих сил;

5) підібрати вид затискного елементу, запропонувати розміри механізму затиску в залежності від необхідної для цього сили закріплення. Визначити конструктивні розміри, параметри та знайти вихідну силу на приводі;

6) вибрати тип механізму затиску чи приводу, та розрахувати для нього конструктивні розміри. Обов'язково необхідно притримуватися принципу вибору стандартних розмірів для елементів силового приводу;

7) обов'язково розраховується похибка закріплення та похибка встановлення деталі «Вал» в верстатному пристосуванні;

8) якщо передбачено, то встановити тип і розміри напрямних елементів для металорізального інструменту.

Розробимо та розглянемо конструктивну схему нашого верстатного пристосування (рисунок 2.1).

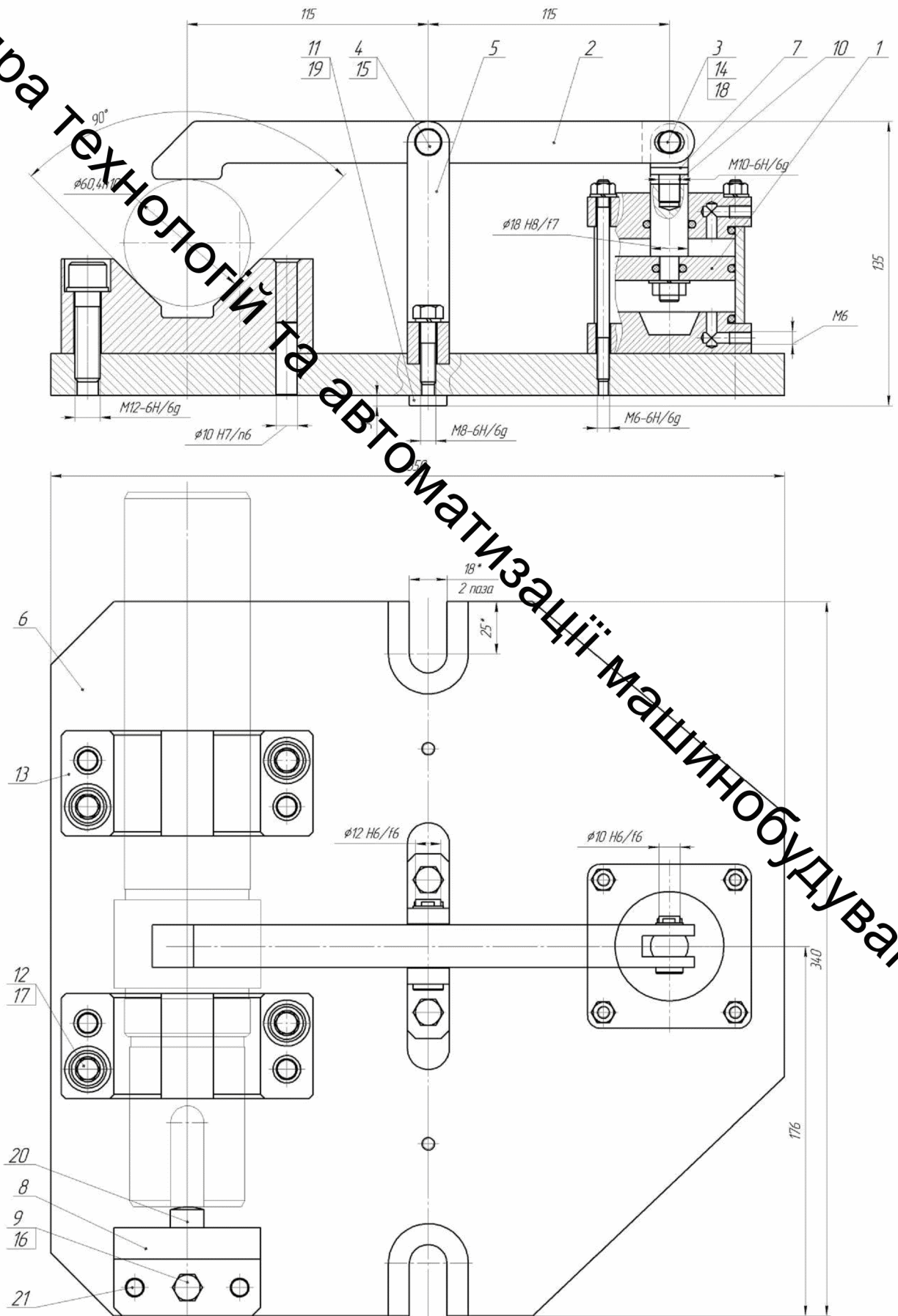


Рисунок 2.1 – Ескіз верстатного пристосування для шпонково-фрезерної операції 020

Основними елементами верстатного пристосування для шпонково-фрезерної операції 020 (див. рис. 2.1): 1 – пневмоциліндр, 2 – важіль, 3, 4 – вісі, 5 – вилка, 6 – плита, 7 – тяга, 8 – упор та інші стандартні елементи.

2.2 Визначення похибки базування

Для нашого верстатного пристосування досягається неповне базування деталі через базування її в призмах (4 ступені вільності) та упором в штир (1 ступень вільності). Останню ступінь вільності для деталі «Вал» забезпечуємо за рахунок закріплення заготовки.

Виконаємо схему базування (див. рис. 2.2):

1) Поверхня I (циліндрична поверхня $\varnothing 60,4$ мм під підшипники) є подвіною прямою базою, яка позбавляє деталі «Вал» чотирьох рухів: переміщення вздовж осей OZ та OX, а також двох поворотів навколо осей OX та OZ.

2) Поверхня II (торець деталі) виконує функцію опорної бази, яка позбавляє деталь «Вал» руху переміщення вздовж осі OY.

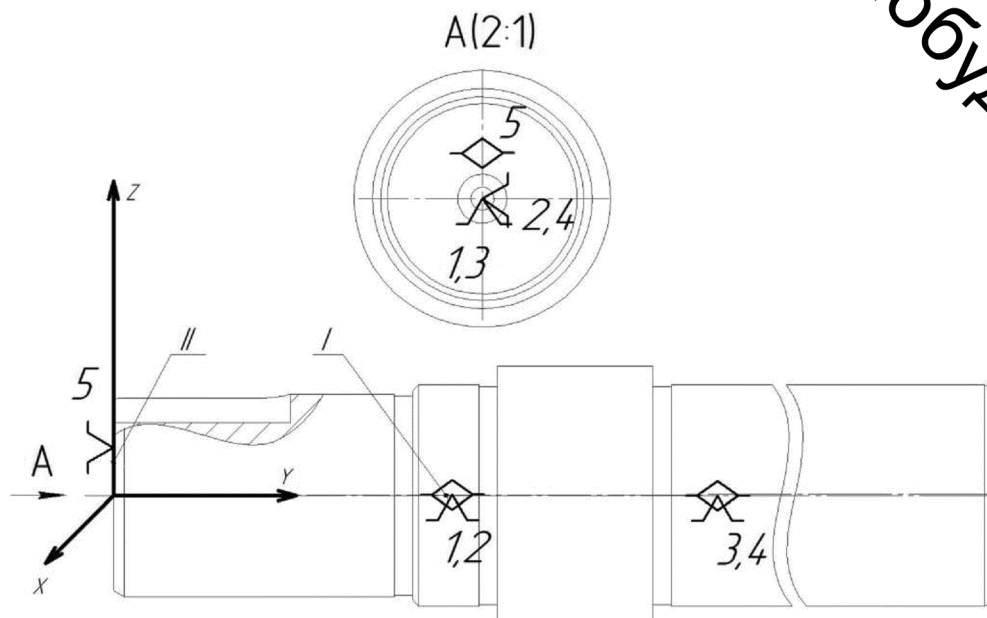


Рисунок 2.2 – Схема базування деталі «Вал»: I, II – бази;

XYZ – система координат для деталі із центром O.

Схема для базування (див. рис. 2.3) складається з: 1 – призми; 2 – штиря; 3 – заготовки; 4 – плити.

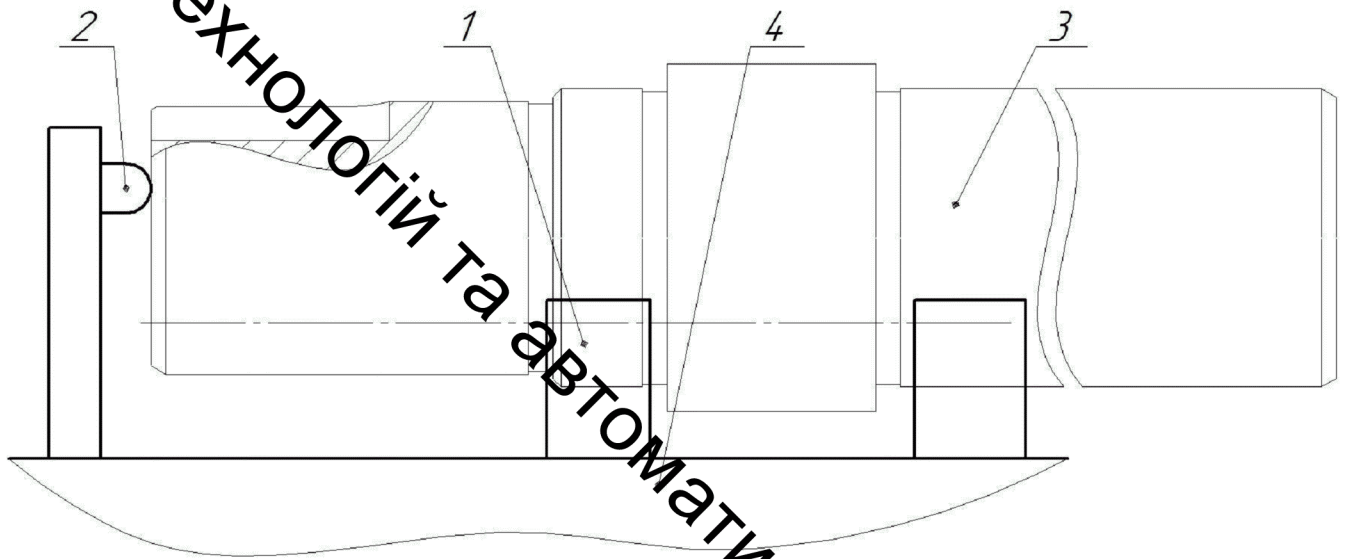


Рисунок 2.3 – Реалізація схеми базування для пристрою шпонково-фрезерної операції 020

Схема для базування реалізовано так: заготовку 3 циліндричною поверхнею $\phi 60,4H8$ встановлюють на призму 1, яка закріплена в плиті 4 пристрою і забезпечує подвійну напрямну базу.

Це означає, що похибка базування має місце. Знайдемо похибку базування за формулою (2.1):

$$\xi_{60,4} = 0,5 \cdot TD \cdot \left(\frac{1}{\sin \frac{90}{2}} - 1 \right) [\text{мм}], \quad (2.1)$$

де TD – допуск отримання розміру 49, дорівнює 0,2 мм.

Отже,

$$\xi_{60,4} = 0,5 \cdot 0,0604 \cdot \left(\frac{1}{\sin \frac{90}{2}} - 1 \right) = 0,013 \text{ (мм)}.$$

Похибка базування має значення $\xi_6 = 0,013$ мм, що є допустимо при допуску на розмір 0,2 мм. Значення похибок базування не перевищує допуску на розмір та дозволяє продовжити використовувати дану схему базування.

2.3 Розрахунок необхідної сили закріплення

Розглянемо схему дії всіх сил на заготовку деталі «Вал» під час виконання шпонково-фрезерної операції 020 (див. рис. 2.5).

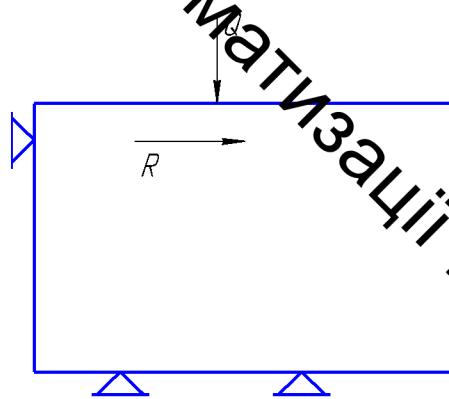


Рисунок 2.5 – Схема дії всіх сил на заготовку деталі «Вал»

При фрезеруванні пазу в деталі «Вал», сили, що виникають під час цього намагаються зсунути заготовку від опор. Зміщенню заготовки запобігає сила тертя від важеля та двох призм. Вона виникає в місцях контакту заготовки з опорами та затискними механізмами.

Необхідна сила для затиску при цьому визначаємо за формулою 2.2

$$W_z = \frac{K \cdot P}{f_1 + f_2}, [\text{H}] \quad (2.2)$$

де P - готова складова сили різання під час свердління, Н; $P = P_z$

f – коефіцієнт тертя для сталь по сталі; $f = 0,1 \dots 0,2$; приймає $f = 0,16$.

K – коефіцієнт запасу для сили затиску.

Коефіцієнт запасу для сили затиску обчислюємо по формулі 2.3 [2, 3]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.3)$$

де: K_0 - коефіцієнт гарантованого запасу; приймаємо $K_0 = 1,5$;

K_1 - коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання внаслідок випадкових нерівностей на поверхнях, що оброблюються; приймаємо $K_1 = 1,0$;

K_2 - коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту; приймаємо $K_2 = 1,6$;

K_3 - коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання при перервному різанні; приймаємо $K_3 = 1,2$;

K_4 - коефіцієнт, що характеризує постійність сили затиску в затискному механізмі; $K_4 = 1,0$;

K_5 - коефіцієнт, що характеризує ергономіку ручних затискних механізмів; приймаємо $K_5 = 1,0$ – так як використовуємо пневмоциліндр;

K_6 - коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що намагаються повернути заготовку; приймаємо $K_6 = 1,0$.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,88$$

Отже, приймаємо $K = 2,88$. Тепер розрахуємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, [H] \quad (2.4)$$

Всі параметри для розрахунку вибираємо із рекомендацій, де: $C_p=68,2$; $x=0,86$; $y=0,72$; $u=1,0$; $w=0$; $q=0.86$; $t=0,2$ мм; $S_z=0,1$ мм/зуб; $n=1000$ хв⁻¹

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_b}{750} \right)^u = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,3} = 1; \quad (2.5)$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 0,2^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 16^1 \cdot 2}{16^{0,86} \cdot 1000^0} = 96(H).$$

Отже, необхідна для затиску сила буде довінювати згідно формули 2.2:

$$W_z = \frac{2,88 \cdot 96}{0,16 + 0,16} = 864 \text{ (H)}.$$

2.4 Вибір затискного механізму та розрахунок його параметрів

В якості силового приводу для нашого пристосування обираємо звичайний пневматичний циліндр (див. рис. 2.6). Основними складовими пневматичного циліндра є: 1 – шток, 2 – поршень, 3 – кришка верхня, 4 – кришка задня, 5 – гільза, 6 – шпильки із гайками. Для герметизації частин пневматичного циліндра використовуємо ущільнення, що знаходять на штоці 1, кришках 4, 5 та поршні 2.

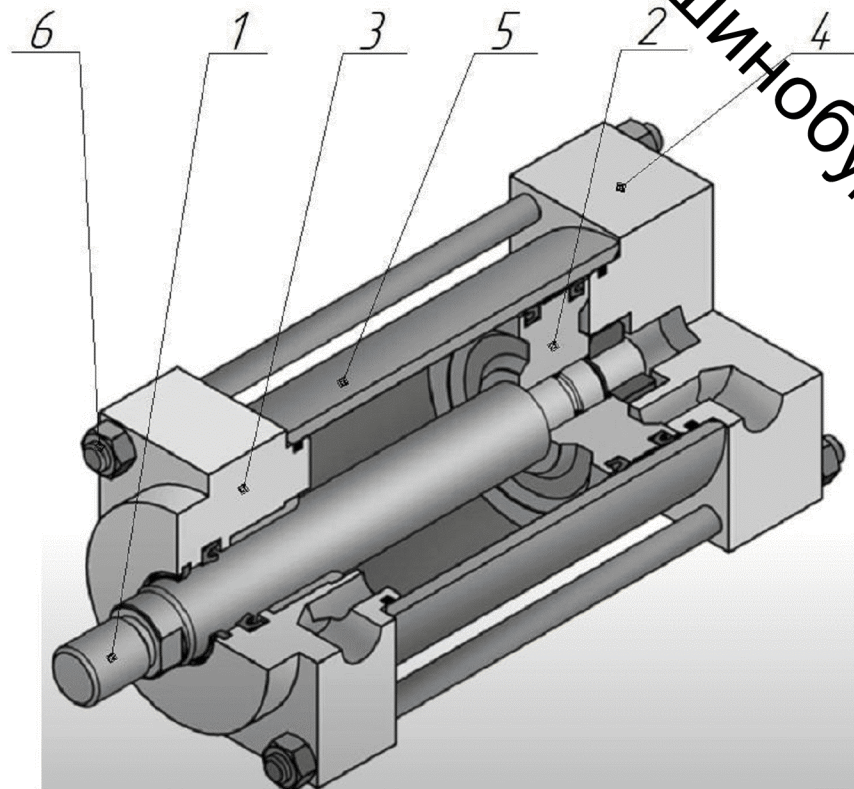


Рисунок 2.6 – Пневматичний циліндр в розрізі

Знайдемо діаметр поршня нашого пневмоциліндра розрахувавши та виберемо стандартний за нормативами. Діаметр поршня визначимо за формулою (2.6) в режимі штовхання.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P \cdot \eta_1}} \quad (2.6)$$

де η_1 - ККД пневмоциліндра; $\eta_1 = 0,85$

P – тиск силового повітря, $P = 0,4$ МПа.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 864}{\pi \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,85}} = 0,057 \text{ м} = 57 \text{ (мм)}.$$

Згідно стандартних значень діаметрів поршнів пневмоциліндрів обираємо 63 мм, а діаметр штока 20 мм.

2.5 Дослідження силових характеристик затискного пристрою

В цьому підпункті досліджено вплив параметрів режимів різання на сили різання та визначено необхідну силу затиску в зв'язку з погіршенням процесу різання. Для цього запропоновано параметри подачі на зуб та глибину різання згідно рекомендації: $S_z = 0,01-0,1$ мм/зуб та $t = 0,05-0,25$ мм, відповідно. Розрахунки проведено відносно формул 2.2-2.6. В результаті визначено залежності величини зусилля затиску W_z від параметрів режимів різання – подачі на зуб S_z та глибини різання t під час утворення шпонкового пазу (див. рис. 2.7).

Крім цього також проводимо визначення продуктивності обробки за рахунок розрахунку часу на механічну обробку T_0 від подачі та від глибини різання. Усі ці параметри впливають на продуктивність роботи як показано на графіку 2.7.

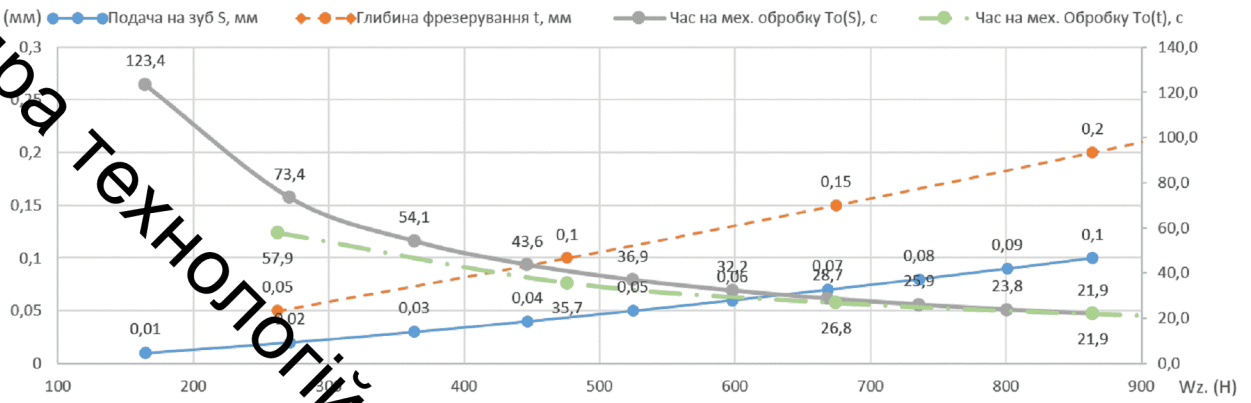


Рисунок 2.7 - Залежності величини зусилля затиску W_z та продуктивності To від параметрів режимів різання – подачі на зуб S_z та глибини різання t

Отримані залежності дозволяють вибрати найбільш продуктивний режим різання. Ріжучий інструмент для максимально продуктивного режиму різання буде викликати максимальні зусилля затиску і це необхідно врахувати під час конструювання пристосування.

В результаті розрахунків отримано графічні залежності зусилля затиску W_z та продуктивності To від подачі на зуб S_z та глибини різання t . Щоб забезпечити максимальну продуктивність роботи на шпонково-фрезерній операції 020 приймаємо максимальну подачу на зуб $S_z=0,1$ мм/зуб, та глибину різання $t=0,20$ мм. При цьому сила затиску буде дорівнювати $W_z=864,01$ Н, а діаметр поршня пневматичного циліндра $D=59,95$ мм. Таким чином ми підтвердили достатність обрання уніфікованого розміру пневмоциліндра більшого діаметра, тому приймаємо $D_{\text{прийняте}}=63$ мм по ГОСТ 19899-74.

2.6 Розрахунки затискних елементів пристрою на міцність

Аналітично виконаємо перевірочний розрахунок для найслабшої ланки вестатного пристрою. При цьому найслабшою ланкою нашого верстатного пристрою є його вісі, котрі працюють на зріз. Умова міцності:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p], \quad (2.7)$$

де $[\sigma_p]$ - прийняте допустиме дотичне напруження сталі 45 на зріз;

σ_p - дотичне напруження на розрив саме в небезпечному перерізі, його розраховуємо за формулою 2.8:

$$\sigma_p = \frac{N}{A}, [\text{МПа}] \quad (2.8)$$

де N – діюча поперечна сила;

A – безпосередньо площа місця розрахунку в небезпечному перерізі;

Площу небезпечного перерізу A ми знайдемо за формулою 2.9:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} [\text{мм}^2] \quad (2.9)$$

де D – діаметр найтоншої вісі дорівнює 10 мм.

Підставляємо прийняте значення у формулу 2.9:

$$A = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 (\text{мм}^2)$$

Розраховану поперечну силу N прирівнюємо до реакції від сили закріплення, тобто $[W]=864,01$ (Н). Тоді σ_p буде дорівнювати:

$$\sigma_p = \frac{864,01}{78,5} = 11,0 (\text{МПа})$$

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{n}; \quad (2.10)$$

де σ_T - границя текучості сталі 45 для вісі;

n – запас міцності для матеріалу вісі.

При цьому σ_T для Сталь 45 дорівнює 355 МПа. Запас міцності рекомендується брати в межах 1,4...1,6. Приймаємо 1,5.

$$[\sigma_p] = \frac{355}{1,5} = 236,67 (\text{МПа})$$

В результаті аналітичних розрахунків маємо, що 11,0 МПа < 236,67 МПа, тобто вісь на штоці верстатного пристрою витримає зріз.

2.7 Опис дії верстатного пристосування

Згідно за призначення наш верстатний пристрій є спеціальним верстатним шпонково-фрезерним пристосуванням. Це обґрунтовується використанням його для закріплення деталі «Вал» на шпонково-фрезерувальному верстаті моделі 692Р при виготовленні шпонкового пазу 16Р9 мм. Спроектоване пристосування вважається ручним, одномісним та однопозиційним.

Застосування шпонково-фрезерного пристрою забезпечує точну обробку, суттєво підвищує продуктивність праці робітника, досягається висока безпека праці та культура виробництва.

На рис. 2.1 показано ескіз верстатного пристосування, яке складається з: пневмоциліндра 1, важіля 2, вісей 3, 4, вилка 5, плита 6, тяга 7, упор 8 та інші стандартні елементи.

На плиті 6 кріпляться усі елементи пристрою. Деталь встановлюється на призми 13 та впирається в штир 20. Між деталлю та призмами 13 притискним елементом є важіль 2. В результаті дії штоку пневмоциліндра 1 важіль 2 затискає деталь до призм 13 і таким чином закріплює її.

Для заміни деталі після обробки достатньо віджати шток пневмоциліндра 1 та важіль 2 підніметься. Далі знімається готова деталь та встановлюється нова заготовка і процедура повторюється повторно.

РОЗДІЛ 3 ДОДАТКИ І РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ РІЖУЧОГО ТА КОНТРОЛЬНО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТІ

3.1 Алгоритм розрахунку ріжучого та контрольно вимірювального інструментів

Ріжучий інструмент, який обробляє шпонковий паз В=16Р9, є фреза шпонкова $\phi 16$. Шпонкова фреза – це тіло обертання, що складається із ріжучої та хвостової частини. Вони уніфіковані по ГОСТ 9140-2015. Проектуюча фреза виконується з циліндричним хвостовим і двоперою ріжучою частиною. Матеріал ріжучої частини шпонкової фрези – швидкорізальна сталь марки Р6М5 по ГОСТ 19265-73. Циліндрична частина, сам хвостовик, застосовується для кріплення фрези в патроні.

Підбір геометричних параметрів та розрахунок конструктивних елементів [4]:

1. Діаметр шпонкової фрези: діаметр ріжучої частини вибираємо виходячи з розміру оброблюємого пазу; $d_{\text{фрези}} = 16(\text{мм})$.

2. Діаметр хвостової частини: приймаємо рівним - $d_{\text{хвостовика}} = 16(\text{мм})$.

3. Так як глибина оброблюваного пазу $h=6\text{мм}$, приймаємо довжину ріжучої та назначаємо довжину хвостової частини і загальну довжину фрези по ГОСТ 9140-2015: $L = 79(\text{мм})$; $L_{\text{роб.част.}} = 19(\text{мм})$; $L_{\text{хвост.част.}} = 60(\text{мм})$.

4. Кількість пір'їв фрези: $z=2$.

5. Загальний кут α можна знайти за формулою: $\sin \alpha = \frac{C}{a_{\text{max}}^{0,3}}$, де C - постійний коефіцієнт, який приймаємо при обробці сталі: $C=0,21$ [4]; a_{max} -максимальна товщина стружки, яка відповідає подачі на зуб. По ГОСТ 9140-2015 $\alpha = 20^\circ$.

6. Передній кут приймається за нормативами: $\gamma = 5^\circ$.

7. Кут нахилу гвинтових зубців для шпоночних фрез: $\omega = 20^\circ$.

8. Крім цього на задній поверхні зубів шпонкової фрези допускається циліндрична стрічка шириною f не більше $0,05\text{мм}$. Інші параметри: $d_1 = 16(\text{мм})$; $h = 1,8(\text{мм})$; $r = 0,3(\text{мм})$; $f = 0,8(\text{мм})$; $f_1 = 0,7(\text{мм})$. Крок гвинтової канавки 52мм .

Проводимо перевірочний розрахунок. Визначаємо напруження в
небезпечному перерізі фрези $\sigma_{оп.} = \frac{M_{пр.}}{\omega} \leq [\sigma]$, де $M_{пр.}$ -приведений момент (Нм).

$$M_{пр.} = \sqrt{M_{зг.}^2 + M_{кр.}^2}; [кгс \cdot мм]; \quad (3.1)$$

$$M_{зг.} = Pz \cdot L; \quad (3.2)$$

$$M_{кр.} = \frac{Pz \cdot D}{2}; \quad (3.3)$$

$Pz = 96H$; - за розрахунками формули (2.4)

$$M_{зг.} = 96 \cdot 79 = 7584 \text{ (Нм)};$$

$$M_{кр.} = \frac{96 \cdot 16}{2} = 768 \text{ (Нм)};$$

$$M_{пр.} = \sqrt{7584^2 + 768^2} = 7623 \text{ (кгс} \cdot \text{мм)};$$

$$\omega = 0,1 \cdot D^3 = 0,1 \cdot 16^3 = 409,6 \text{ (мм}^3\text{)},$$

$$\sigma_{оп.} = \frac{7623}{409,6} = 18,61 \text{ (МПа)} < 750 \text{ (МПа)} \Rightarrow \sigma_{оп.} < [\sigma].$$

В результаті розрахунків отримуємо висновок: $\sigma_{оп.} < [\sigma]$, тому розрахунок фрези правильний.

Виконаємо розрахунок нашого контрольно-вимірювального інструменту для перевірки (контролю) поверхонь $\varnothing 60k6$ [4, 10]. Проведемо вибір граничних відхилень і граничних розмірів поверхні $\varnothing 60k6$ для деталі та для елементів вимірювального інструменту.

За ГОСТ 25347-82 обираємо граничні відхилення для валів діаметром $\varnothing 60k6$:

$$es = 0,021 \text{ (мм)};$$

$$ei = 0,002 \text{ (мм)}.$$

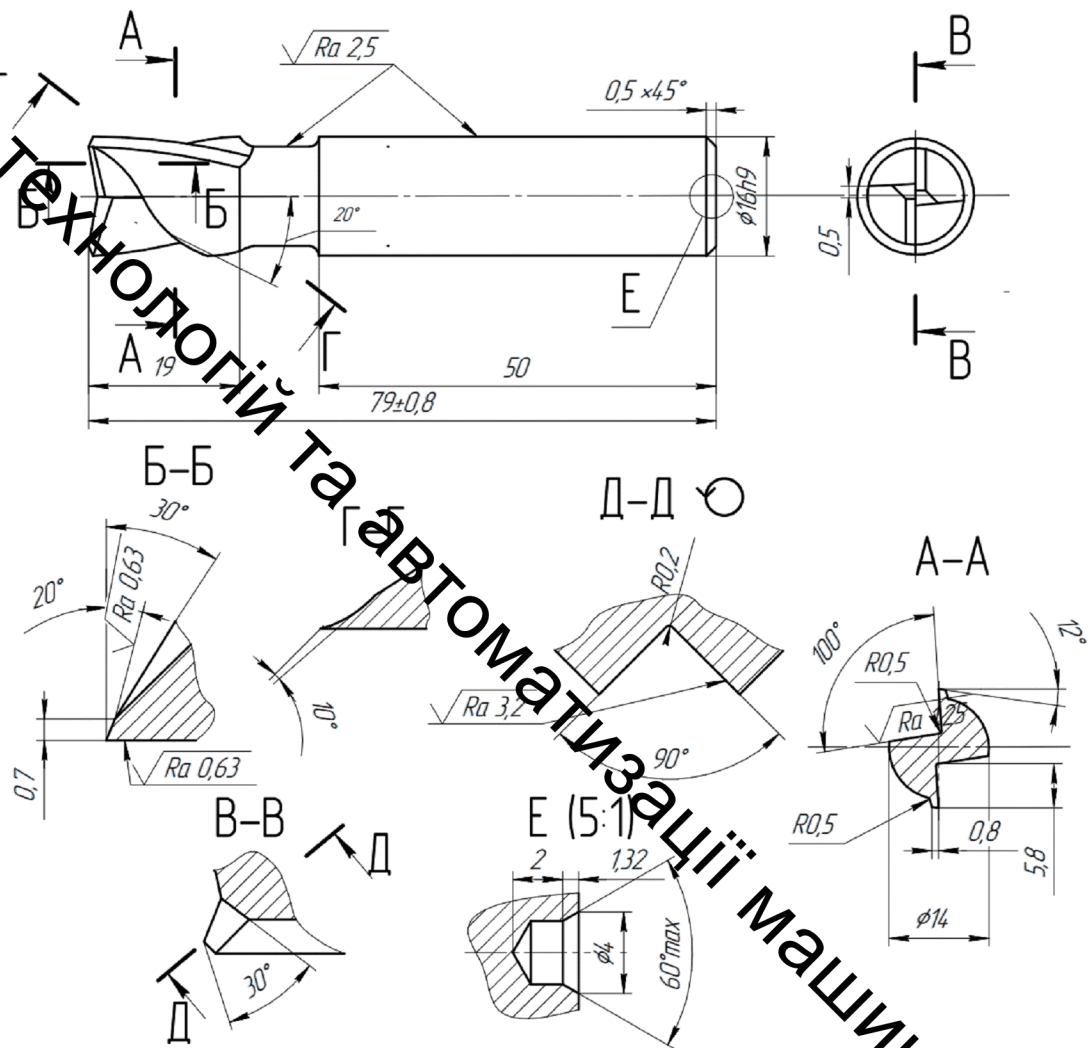


Рисунок 3.1 – Запропонована конструкція шпонкової фрези для обробки шпонкового пазу B=16P9 мм

Розраховуємо граничні розміри та допуск для розміру $\varnothing 60k6$ деталі «Вал».

$$d_{\max} = d + es = 60 + 0,021 = 60,021 \text{ (мм)};$$

$$d_{\min} = d + ei = 60 + 0,002 = 60,002 \text{ (мм)}.$$

$$Td = es - ei \quad (3.4)$$

$$Td = 0,021 - 0,002 = 0,019 \text{ (мм)}.$$

За ГОСТ 24853-81 знаходимо та обираємо граничні відхилення та допуск для виготовлення калібр-скоб:

$$H_1 = 5,0 \text{ (мкм)} = 0,005 \text{ (мм)};$$

$$Y_1 = 3,0 \text{ (мкм)} = 0,003 \text{ (мм)};$$

$$Z_1 = 4,0 \text{ (мкм)} = 0,004 \text{ (мм)}.$$

Виконаємо побудову схеми розташування полів допусків для контролю розміру $\varnothing 60k6$ калібр-скобою. Схему полів допусків показано на рисунку 3.2.

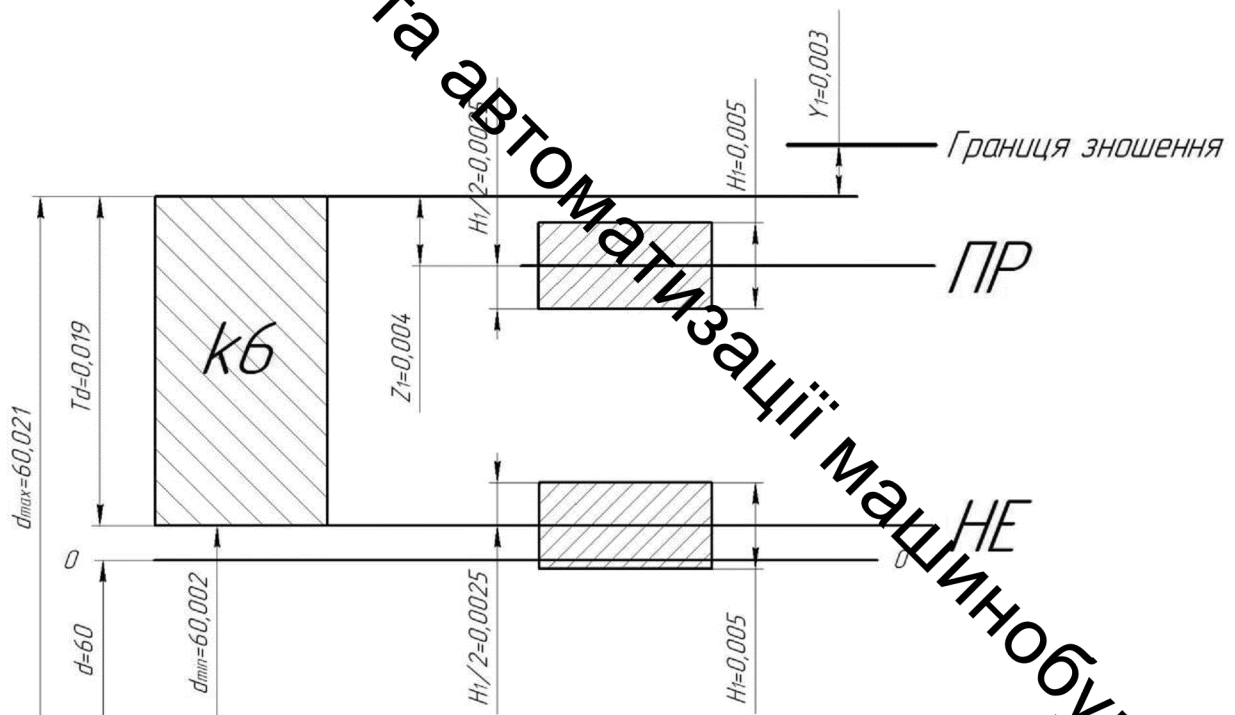


Рисунок 3.2 – Схема розташування полів допусків контролю розміру $\varnothing 60k6$ калібр-скобою

Проводимо розрахунок виконавчих розмірів контрольно-вимірювального інструменту за формулами 3.5-3.9:

а) Прохідна калібр-скоба та границя зношення:

$$ПР_{\max} = d_{\max} - Z_1 + \frac{H_1}{2}. \quad (3.5)$$

$$ПР_{\max} = 60,021 - 0,004 + \frac{0,005}{2} = 60,0195 \text{ (мм)}.$$

$$ПР_{\min} = d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}. \quad (3.6)$$

$$PP_{\min} = 60,021 - 0,004 - \frac{0,005}{2} = 60,0145 \text{ (мм)}.$$

$$PP_{\text{зн}} = d_{\max} + Y_1. \quad (3.7)$$

$$PP_{\text{зн}} = 60,021 + 0,003 = 60,024 \text{ (мм)}.$$

Виконавчий розмір прохідної калібр-скоби: $PP = 60,0145^{+0,005}$ (мм).

б) Непрохідна калібр-скоба:

$$HE_{\max} = d_{\min} + \frac{H_1}{2}. \quad (3.8)$$

$$HE_{\max} = 60,002 + \frac{0,005}{2} = 60,0045 \text{ (мм)}.$$

$$HE_{\min} = d_{\min} - \frac{H_1}{2}. \quad (3.9)$$

$$HE_{\min} = 60,002 - \frac{0,005}{2} = 59,9995 \text{ (мм)}.$$

Виконавчий розмір непрохідної калібр-скоби: $HE = 59,9995^{+0,005}$ (мм).

Вибираємо розміри корпусу за ГОСТ 18362-73: $D = 60$ мм; $L_1 = 140$ мм; $H = 118$ мм; $h = 50$ мм; $S = 6$ мм; $l = 28$ мм; $l_1 = 17$ мм; $l_2 = 4$ мм. Маса корпусу дорівнює 0,47 кг.

Розміри ручки-накладки за ГОСТ 18369-73 становлять: $L = 60$ мм; $H = 18$ мм; $B = 6$ мм. Маса ручки дорівнює 0,015 кг.

Складальна конструкція калібр-скоби для контролю циліндричної поверхні $\varnothing 60k6$ показано на рисунку 3.3. Основні елементами конструкції калібр-скоби: 1 корпус, 2 гайка, 3 гвинт та 4 ручка-накладка.

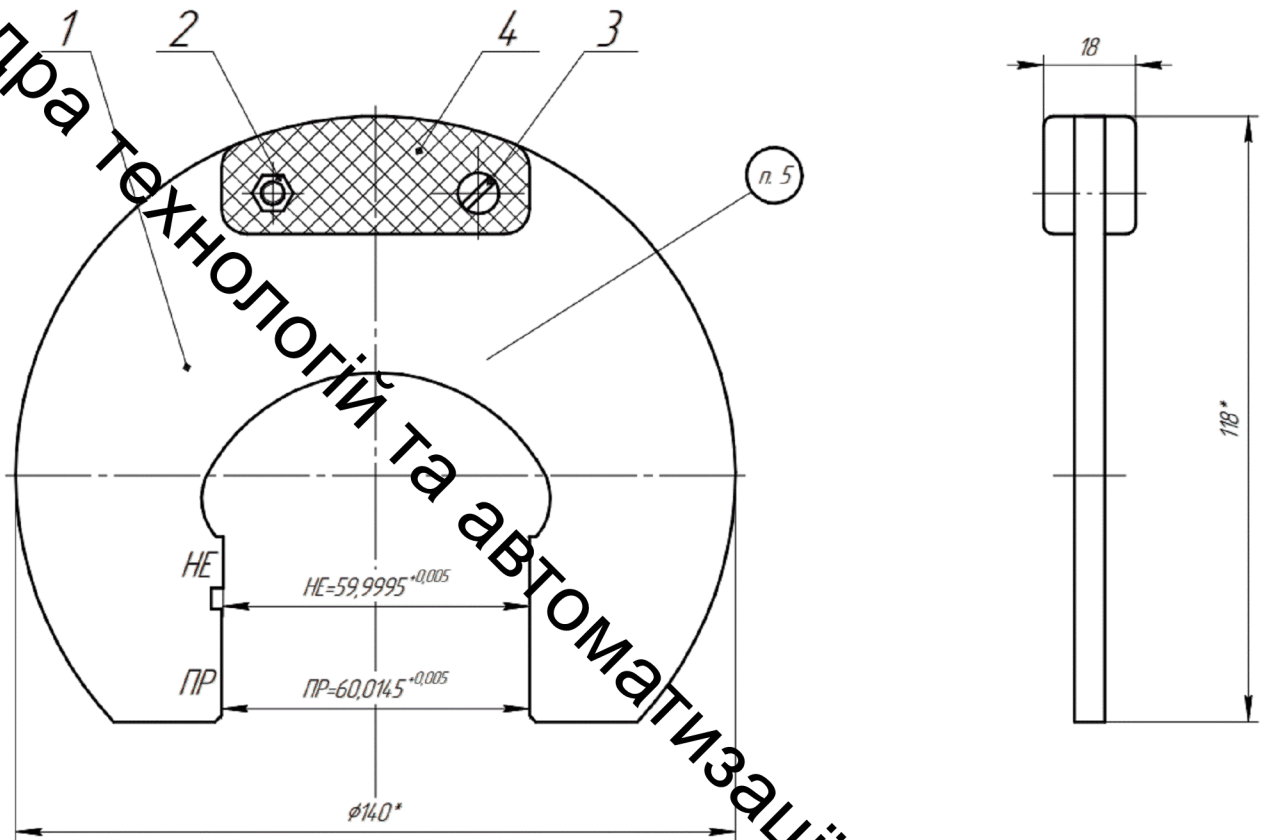


Рисунок 3.3 – Конструкція калібр-скоби для контролю поверхні $\varnothing 60k6$

3.2 Розробка додатків для розрахунку ріжучого та контролю вимірювального інструментів

Розробка додатку для розрахунку ріжучого інструменту виконувалася в прикладній програмі Visual Studio мовою програмування C#. За допомогою зручного конструктора створювалася додаток на основі Windows Form. Зовнішній вигляд укомплектованої Windows Form показано на рисунку 3.4.

Особливістю додатку є можливість інтерактивно обирати основні параметри фрези згідно стандарту ГОСТ 9140-2015 та автоматично розраховувати міцнісні характеристики.

Програмний код розробленого додатку для проектування ріжучого інструменту подано в додатку В.

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд додатку для розрахунку шпонкової фрези

Основними елементами візуального відтворення є: label1; comboBox1; radioButton1; radioButton2; label2; label3; textBox1; button1; button2; panel1; button3. При цьому елементи label відповідають за інформування користувача щодо його дій. Елемент comboBox забезпечує вибір необхідної фрези із спадного списку. Елементи radioButton забезпечують вибір короткої чи нормальної серії фрези. Елемент textBox дозволяє ввести необхідне, попередньо розраховане, значення сили різання в ньютонках. Елементи button забезпечують послідовне виконання дій: розрахунок, генерування звіту та відкриття його дня аналізу.

Виконання розстановки елементів візуального відтворення забезпечує високу швидкість введення початкових даних. А кнопка «Розрахувати» містить основні процедури для розрахунку змінних. На основі розрахованих змінних генерується звіт згідно розписаного шаблону в програмному коді. В свою чергу кнопка «Відкрити звіт» відповідає лише за відкриття згенерованого файлу звіту.

Варто зазначити, що під час роботи з додатком виконується послідовне включення його основних полів введення. Перескочити поле введення або провести розрахунок програми без попередньо введених параметрів не можливо.

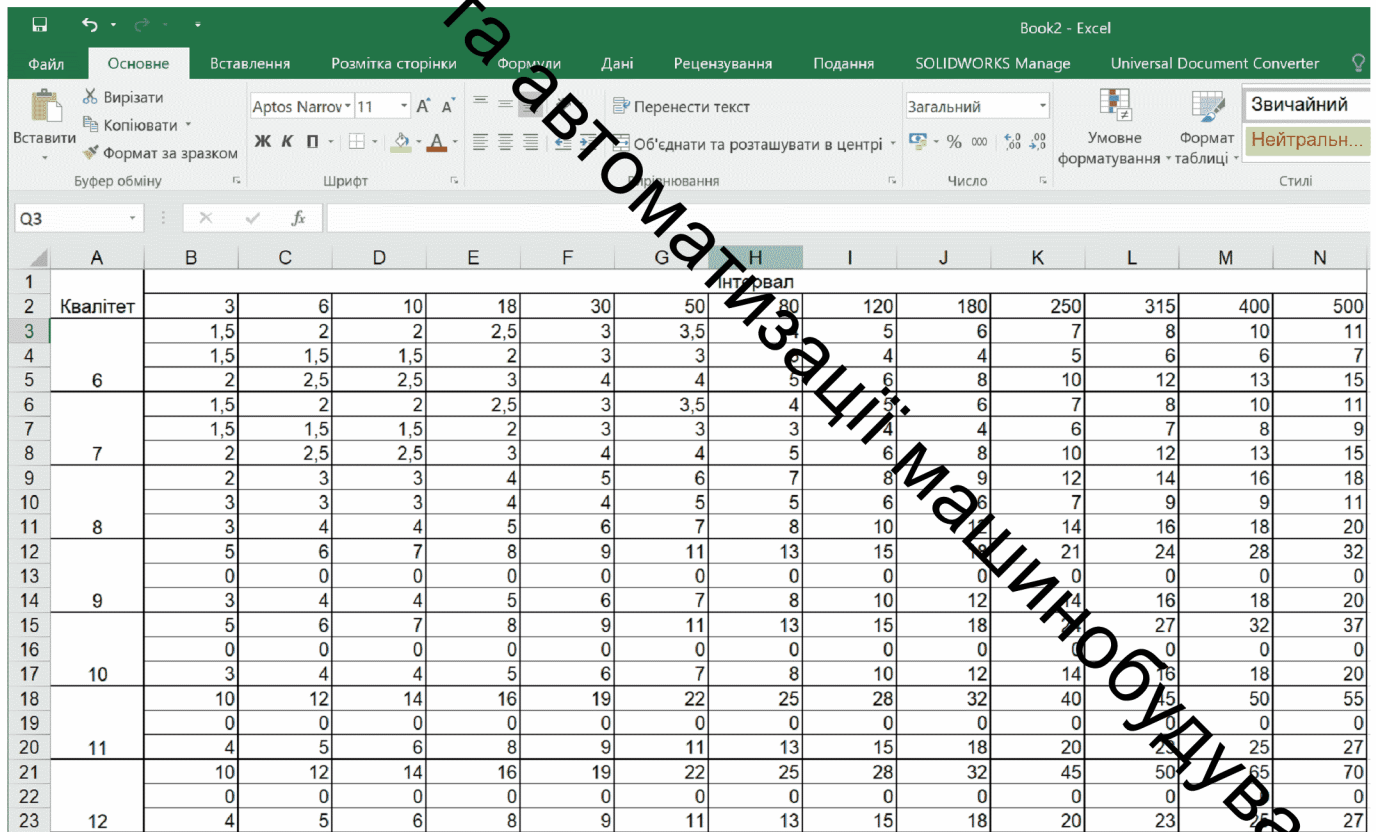
На рисунку 3.5 показано зовнішній вигляд додатку який необхідний для визначення розмірів калібр-скоби. Для роботи додатку також передбачено послідовне введення вхідних даних, а потім аж в кінці розрахунок, генерування звіту та його відкриття.

Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд додатку для розрахунку розмірів калібр-скоби

Основними елементами візуального відтворення є: label1; textBox1; label2; textBox2; label3; textBox3; label4; comboBox1; panel1; button1; button2 та button3. Аналогічно попередній програмі елементи label відповідають за інформування користувача щодо його дій. Елементи textBox дозволяє ввести необхідне значення номінального діаметра в мм, верхнього та нижнього відхилень в мкм. Елемент comboBox забезпечує вибір необхідного квалітету із спадного списку. Елементи

button забезпечують послідовне виконання дій: розрахунок, генерування звіту та відкриття його дня аналізу.

Особливістю цього додатку є використання спеціальних методів, які із Excel таблиць допусків вибирають допуски на необхідний розмір валу і розміри калібр-скоби згідно вибраного в елементі comboBox квалітету. Приклад Excel таблиці показано на рисунку 3.6.



Квалітет	Інтервал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500											
2	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11											
3	1,5	1,5	1,5	2	3	3	4	4	5	6	7	8	10	11										
4	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15											
5	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11											
6	1,5	1,5	1,5	2	3	3	4	4	5	6	7	8	10	11										
7	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15											
8	2	3	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	18											
9	3	3	3	4	4	5	6	7	8	9	9	9	11											
10	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20											
11	5	6	7	8	9	11	13	15	17	21	24	28	32											
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
13	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20											
14	5	6	7	8	9	11	13	15	17	21	24	28	32											
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
16	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20											
17	10	12	14	16	19	22	25	28	32	40	45	50	55											
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
19	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	24	25	27											
20	10	12	14	16	19	22	25	28	32	45	50	65	70											
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
22	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27											
23	12	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	27											

Рисунок 3.6 – Приклад таблиці допусків на розміри калібр-скоби

Процес розробки програмного коду займає значний час, однак, подальша експлуатація додатку дозволяє зекономити час на підготовку виробництва. Варто зауважити, що процес розрахунку основних параметрів калібр-скоби за рахунок додатку та отримання згенерованого звіту займає від 5 до 10 секунд.

Розроблені програми є відкритими для редагування. В подальшому розвитку доцільно використати створені оболонки для удосконалення цих програм шляхом застосування API функцій із CAD програми SolidWorks. За допомогою цієї

Програми можна створювати тривимірні моделі та робочі креслення розроблюваних ріжучих чи контрольно-вимірювальних інструментів.

3.3 Результат обробки отриманих даних після розрахунку

В результаті розробки додатку для проєктування шпонкової фрези введено параметри із підпункту 3.1. Під час розрахунку з'явилося діалогове вікно, яке підтвердило правильність розрахунків на міцність із запасом міцності 40,3 одиниці (рисунок 3.7). Результат розрахунку для шпонкової фрези після відкриття звіту показано на рисунку 3.8.

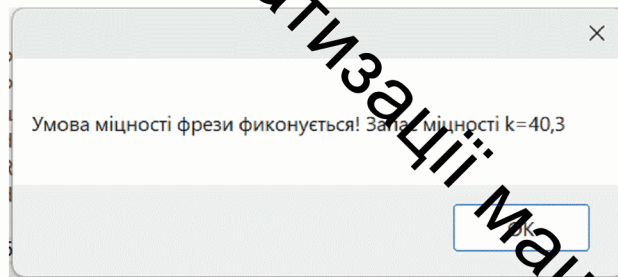


Рисунок 3.7 – Діалогове вікно результату перевірки умови міцності

Підбір параметрів шпонкової фрези із швидкорізальної сталі

Діаметр ріжучої частини вибираємо виходячи з розміру оброблююмого пазу:

16,0

Виберіть серію довжини ріжучої частини залежно від глибини оброблюваного пазу:

☒ Коротка серія (довжина ріжучої частини l=19 мм, загальна довжина L=79 мм.

☐ Нормальна серія (довжина ріжучої частини l=32 мм, загальна довжина L=92 мм.

Введіть значення сили різання під час фрезерування пазу, Н:

96

Розрахувати

Згенерувати звіт

Відкрити звіт

Рисунок 3.8 – Результат розрахунку

На рисунку 3.9 показано згенерований звіт після проєктних розрахунків шпонкової фрези із швидкорізальної сталі.

Результат проєктних розрахунків для шпонкової фрези із швидкорізальної сталі]

1. Діаметр шпонкової фрези: 16,0 мм.
2. Діаметр хвостової частини: 16 мм.
3. Приймаємо довжину ріжучої частини $l=19$ мм, назначаємо довжину хвостової частини $l_1=60$ мм та загальну довжину фрези $L=79$ мм по ГОСТ 9140-2015.
4. Кількість пір'їв фрези: $z=2$.
5. Загальний кут по ГОСТ 9140-2015 $\alpha=20$ град.
6. Передній кут приймається за нормативами $\gamma=5$ град.
7. Кут нахилу гвинтових зубів для шпоночних фрез $\omega=20$ град.
8. Крім цього на задній поверхні зубів шпонкової фрези допускається циліндрична стрічка шириною f не більше 0,05мм.

Результати перевірки фрези на міцність

1. Крутний момент від дії сили різання $M_{кр}=768$ Нм.
2. Згинальний момент від дії сили різання $M_{зг}=7584$ Нм.
3. Приведений момент від дії сили різання $M_{пр}=7622,79$ Нм.
4. Осьовий момент інерції фрези $I_w=409,6$ куб.см. мм.
5. Напруження в небезпечному перерізі $\sigma=18,81$ МПа.

В результаті розрахунку отримає висновку $\sigma < [\sigma]$, тому розрахунок фрези правильний!

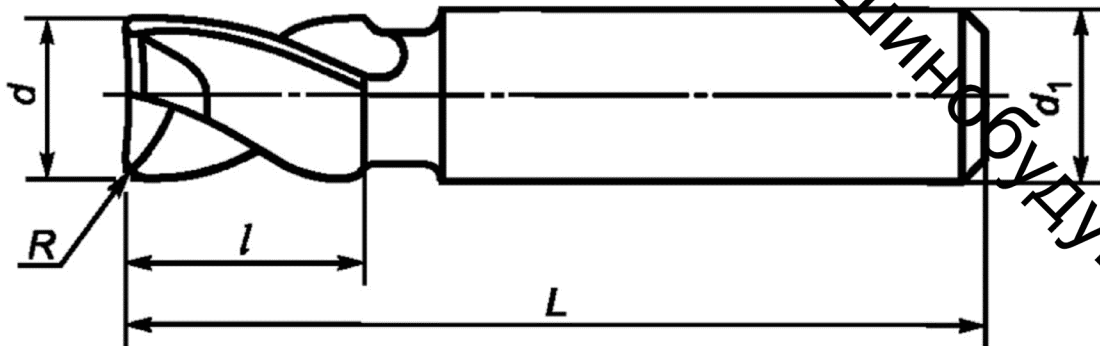


Рисунок 3.9 – Згенерований звіт

Згенерований звіт вдалося виконати протягом 5-10 секунд, що суттєво скоротило процес проєктування шпонкової фрези. Отримані дані дозволяють використовувати основні габарити шпонкової фрези, кути різання та розрахувати параметри перевірки фрези на міцність для безпосередньої розробки тривимірних моделей та креслеників.

На рисунку 3.10 показано розроблений додаток для розрахунку розмірів калібру скоби. При цьому на рисунку 3.10 а) показано форму додатка до початку

розрахунку. Його основні елементи введення скриті, і наявне лише одне активне поле для номінального діаметра вала в мм.

В свою чергу на рисунку 3.10 б) показано повністю проведений розрахунок з згенерованим та відкритим звітом. Отриманий звіт для проєктних розрахунків контрольно-вимірювального інструменту калібр-скоби показано на рисунку 3.11.

а)

б)

Рисунок 3.10 – Додаток до початку розрахунку а) та після отримання результату розрахунку б)

Даний дозволяє отримати граничні відхилення, розміри та допуск для необхідного діаметра вала; граничні відхилення для виготовлення калібр-скоби за ГОСТ 24853-81. Параметри прохідної та непрохідної частини калібр-скоби. А також границю зношення для прохідної частини.

Усі отримані значення аналітичним шляхом цілком правильно сходяться із отриманими значеннями за рахунок роботи додатка. Швидкість формування результату отриманих значень за рахунок роботи додатку є в десятки разів швидшою, а людський фактор, що впливає на якість отриманих результатів

зменшений майже до нуля, що є суттєвою перевагою і покращує таким чином роботу інженера-технолога та інженера-конструктора.

Результати проектних розрахунків для калібр-скоби

Граничні відхилення для валів діаметром 60 мм за ГОСТ 25347-82:

$es = 0,021 \text{ мм}$

$ei = 0,002 \text{ мм}$

Розраховані граничні розміри та допуски для діаметра 60 мм:

$d_{\max} = 60,021 \text{ мм}$;

$d_{\min} = 60,002 \text{ мм}$;

$T_d = 0,019 \text{ мм}$;

Граничні відхилення та допуски для виготовлення калібр-скоби за ГОСТ 24853-81:

$H_1 = 0,005 \text{ мм}$;

$Y_1 = 0,003 \text{ мм}$;

$Z_1 = 0,004 \text{ мм}$;

Параметри прохідної частини калібр-скоби та границі зношення:

$PR_{\max} = 60,0195 \text{ мм}$;

$PR_{\min} = 60,0145 \text{ мм}$;

$PR_{\text{зн}} = 60,024 \text{ мм}$;

Параметри непрохідної частини калібр-скоби:

$HE_{\max} = 60,0045 \text{ мм}$;

$HE_{\min} = 59,9995 \text{ мм}$;

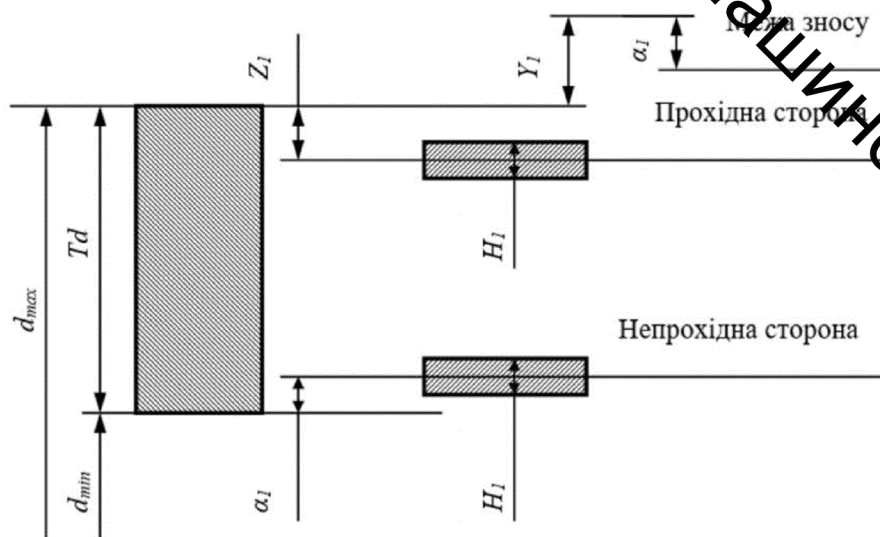


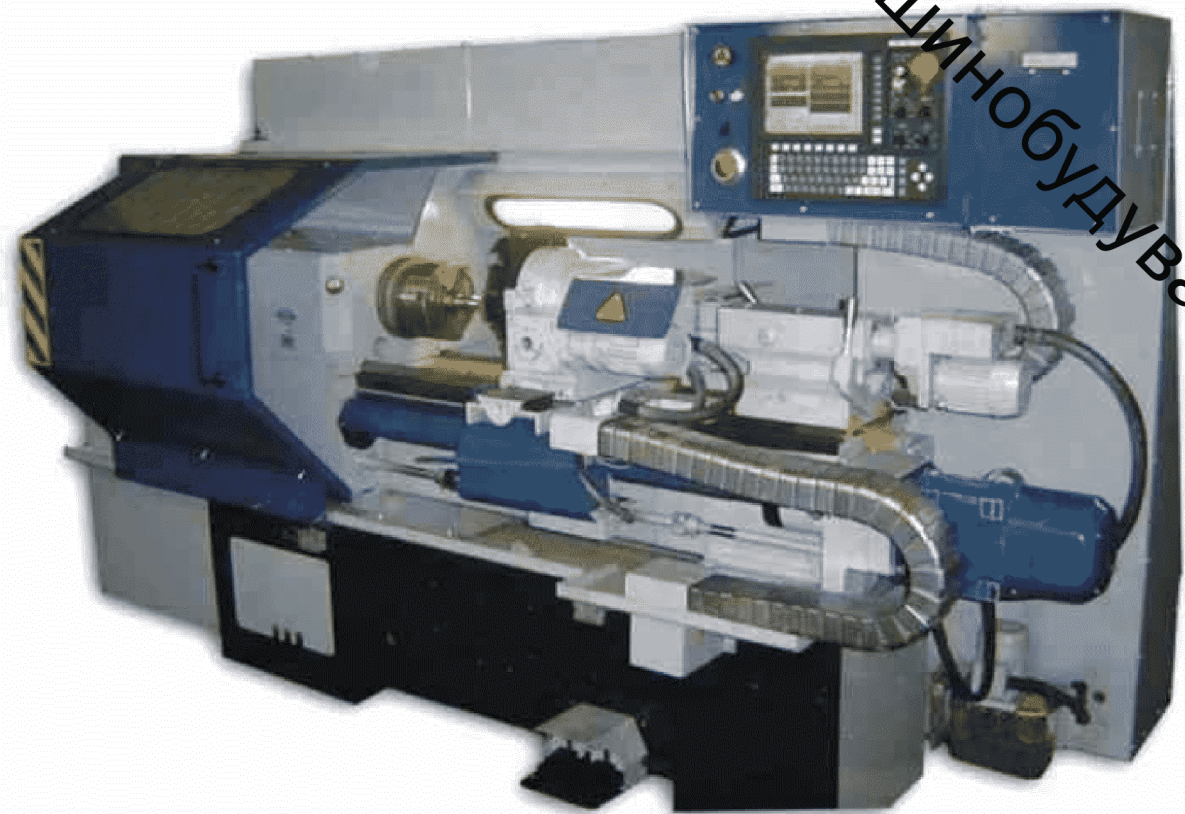
Рисунок 3.11 – Згенерований звіт

РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ «ВАЛ»

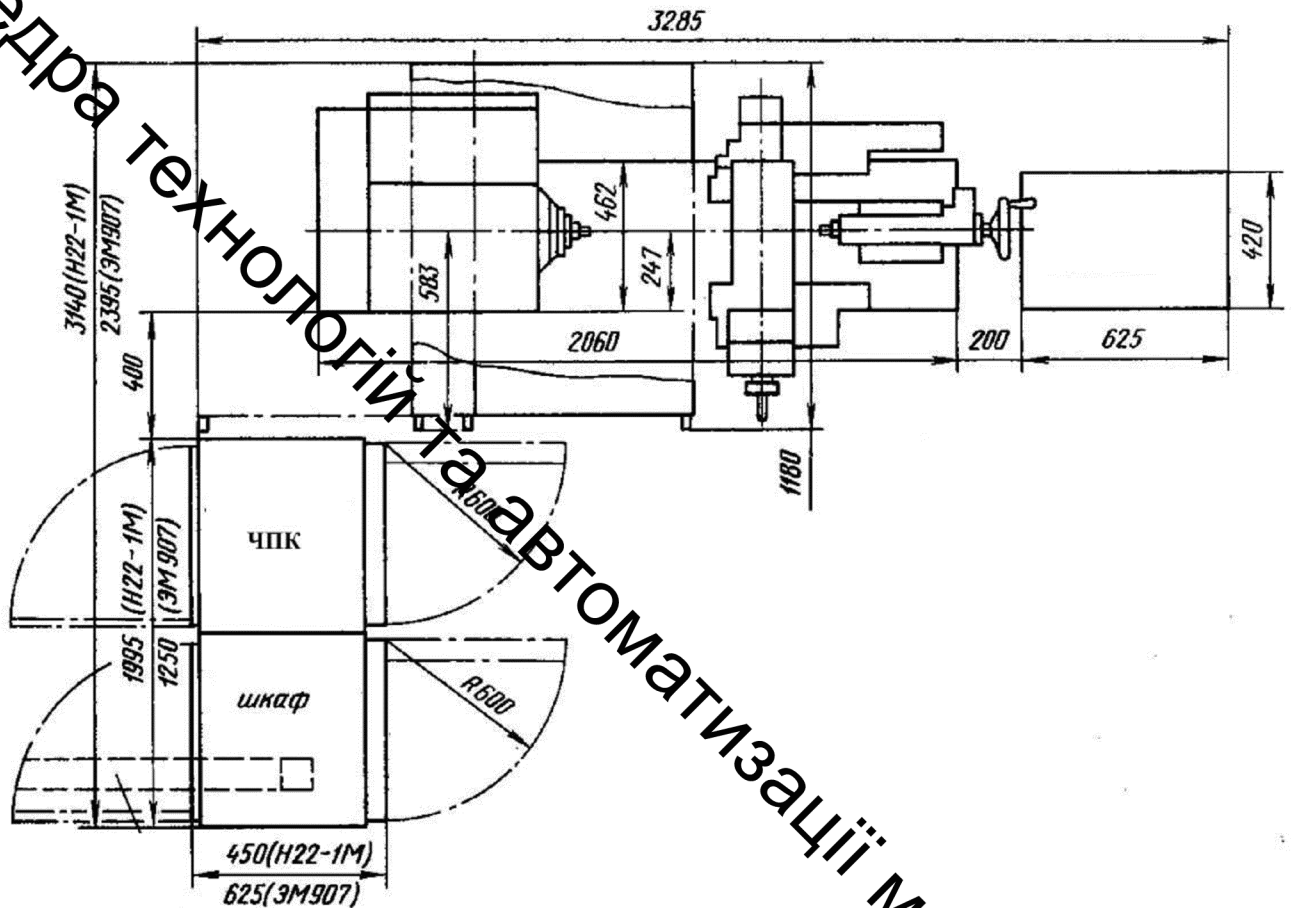
4.1 Характеристики оброблюваного обладнання робочого місця

Шляхом вдосконалення робочого місця мехобробки заготовки деталі «Вал» виконаємо удосконалення технологічного процесу [5, 6]. Прийmemo до уваги операцію 010, яка виконується на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК моделі 16Б16Ф3. Цей верстат оснащений чотирма інструментами в різцетримачі, а також пристроєм їх автоматичної заміни. Заготовка встановлюється в пристосування з автоматичним затисканням (розтисканням). Для удосконалення технологічного процесу операції 010 буде обслуговуватися промисловим роботом.

Загальний вигляд а) токарно-гвинторізного верстата з ЧПК моделі 16Б16Ф3 та його габарити б), наведені на рисунку 4.1.



а)



б)

Рисунок 4.1 – Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16Б16Ф3:

а) – загальний вигляд; б) – габаритні розміри

Технічні характеристики токарно-гвинторізного верстата з ЧПК моделі 16Б16Ф3 [4]:

- Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм: 320;
- Найбільший діаметр виробу, що обробляється, мм: 160;
- Найбільша довжина виробу, що обробляється, мм: 710;
- Висота різця, мм: 25;
- Частота обертання шпинделя, об/хв: 45...560, 140...2500;
- Межі подач револ. поздов. та попер. супорта, мм/хв: 1-1200 та 1-600;
- Потужність електродвигуна головного руху, кВт: 6,3;
- Габаритні розміри, мм: 3065x2395x1860;
- Маса, кг: 2500.

4.2 Вибір промислового робота для удосконалення робочого місця,

Промисловий робот є важливим елементом в підвищенні швидкодії допоміжних операцій, адже він не відчуває втоми, працює ритмічно і злагоджено з підвищеною швидкістю. Вибір його параметрів і моделі є основним етапом для автоматизації процесу виробництва. Промисловий робот буде працювати у синхронізованому складі з іншими елементами робочого місця. Складемо основні вимоги для керування нашим промисловим роботом [7, 8]:

- необхідність в забезпеченні вантажопідємності обладнання;
- зона для обслуговування обладнання до промислового робота не має перевищувати розміри його робочої зони;
- необхідно врахувати кількість керуючих координат в керуючій програмі для промислового робота та його об'єм пам'яті;
- особливості деталі «Вал» мають бути враховані в конструкції захватного пристрою промислового робота;
- вантажопідємність обраного промислового робота приймаємо більшою на 10% від маси об'єкту маніпуляцій.

Завантаження і вивантаження заготовок та деталей після обробки має бути забезпечено без явних перешкод за рахунок підібраної форми і габаритних розміри робочої зони. Необхідно враховувати також форму, розмір та положення робочої зони самого верстату і його живильника для промислового робота, який має декілька ступенів вільності і забезпечує цим ефективну роботу.

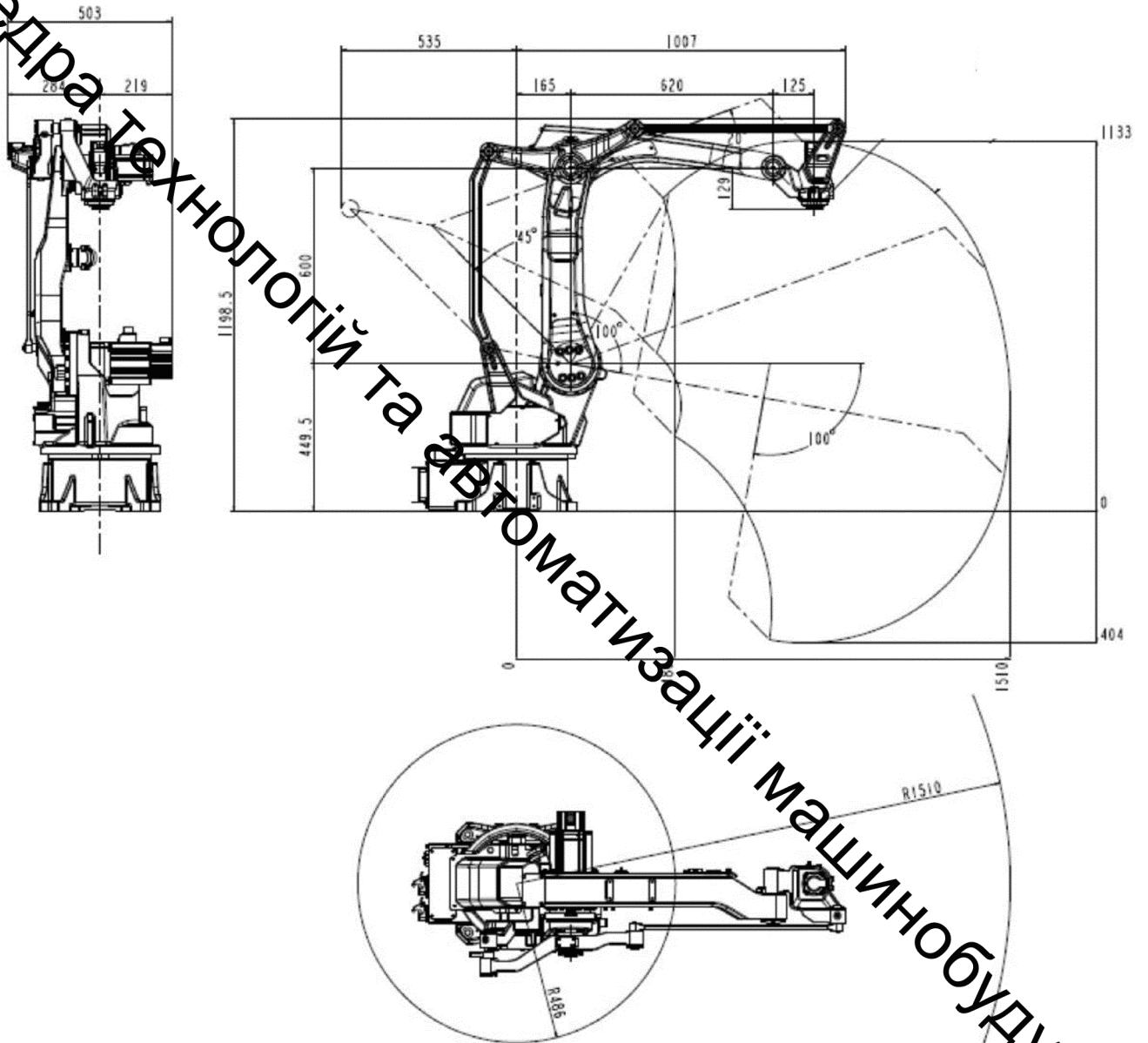
Для деталі «Вал» на основі рекомендацій [7] попередньо вибираємо промисловий робот моделі «QJRB15-1» (рисунок 4.2). Зазвичай, основна задача промислового робота моделі «QJRB15-1» - це автоматизація основних процесів холодного штампування, операцій завантажування та розвантажування, та міжопераційного складання в заготівельних і інших цехах високотехнологічних промислових виробництв. Промисловий робот моделі «QJRB15-1» використовують замість багатьох робітників різних професій на циклічних чи небезпечних робочих місцях.

Робочі характеристики промислового робота моделі «QJRB15-1»:

- вантажопідємність промислового робота - 15 кг;
- число програмованих осей - 4;
- кількість рук промислового робота - 1;
- загальна кількість захватних механізмів на одній руці - 1;
- тип приводу для основних рухів - пневматичний;
- система керування встановлена універсальна;
- кількість одночасно програмованих координат- 6;
- засіб програмування переміщень – по датчикам;
- розрахована похибка позиціонування - $\pm 0,05$ мм;
- найбільший виліт руки для робочої зони - 1510 мм;
- найменший виліт руки для робочої зони - 486 мм;
- кутові переміщення, °/ кутова швидкість, °/с: J1=195; J2=195; J3=229;
- габаритні розміри промислового робота, мм - 580x600x960;
- маса промислового робота, - 160 кг.



a)



б)

Рисунок 4.2 – Промисловий робот моделі «QJRB15-1»

а) загальний вигляд, б) основні габаритні розміри

4.3 Проектування захватного пристрою та перевірочний розрахунок цього захвату

Заготовка деталі «Вал» закріплюється в поводковому патроні в центрах за допомогою зовнішньої циліндр. поверхні і її торців. Необхідно щоб ці поверхні

залишилися доступними під час закріплення заготовки і деталі за рахунок промислового робота. Для якісного переміщення заготовки у патрон та її установку в захваті промислового робота застосовано захватний пристрій за зовнішню циліндричну поверхню (рисунок 4.3).

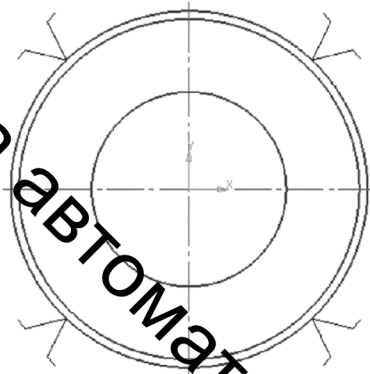


Рисунок 4.3 – Схема захвату заготовки промисловим роботом

Промисловий робот моделі «QJRB15-1» оснащений захватним механізмом конструкції (рисунок 4.4). На одному кінці манипулятора розміщено спеціальні призматичні губки, а на іншому фланець для закріплення механізму. Дві призматичні губки рухаються за рахунок роботи важелів та пневматичного циліндра.

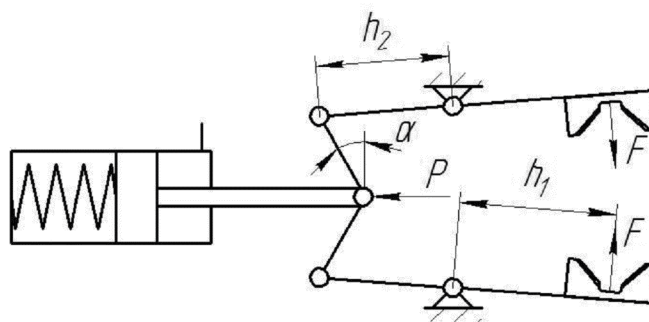


Рисунок 4.4 – Схема використовуваного захватного пристрою для промислового робота моделі «QJRB15-1»

Схема з пневмоциліндром працює наступним чином. Пневмоциліндр починає втягувати свій шток після подачі стисненого повітря до робочої камери. При цьому

Пружина в безштоковій камері пневмоциліндра стискається. Через діючу систему важелів спеціальні губки будуть рухатися на зустріч одна одній на кінці механізму. Цей процес буде забезпечувати необхідну силу затиску F .

Для розтискання деталі «Вал», за рахунок переключення пневмокнопки, стиснене повітря виходить із робочої камери пневмоциліндра і стиснена пружина повертає поршень на початкове положення. Через систему важелів відбуватиметься рух спеціальних губок та розтискати деталь «Вал».

Зусилля для затискання деталі «Вал» визначаємо за припущенням, що утримання деталі «Вал» відбувається за рахунок сил тертя.

Зусилля для затискання деталі «Вал» [7]:

$$F = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot m \cdot g, [H] \quad (4.1)$$

де m – маса деталі «Вал»;

g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;

K_1 – коефіцієнт безпеки, $K_1 = 1,2 \div 2,0$, приймаємо $K_1 = 1,2$;

K_2 – коефіцієнт, що розраховується від максимального прискорення A , з яким наш робот переміщує деталі «Вал», для пневматичних роботів: $A = g = 1 + A/g = 1 + 1 = 2$;

K_3 – коефіцієнт передачі, який розраховується від конструкції самого закривача:

$$K_3 = \frac{\sin \alpha}{2\mu}, \quad (4.2)$$

де α – половина кута нахилу губок пристрою затискання, $\alpha = 60^\circ$;

μ – коефіцієнт тертя; приймаємо $\mu = 0,15$;

$$K_3 = \frac{\sin 60^\circ}{2 \cdot 0,15} = 2,9.$$

Тоді:

$$F = 1,2 \cdot 2 \cdot 2,9 \cdot 11,92 \cdot 9,81 = 813 \text{ (Н)}.$$

Зусилля затискання для вибраної схеми:

$$\frac{P}{F} = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \alpha \quad (4.3)$$

$$P = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \alpha \cdot F. \quad (4.4)$$

$$P = 0,015 / 0,09 \cdot 2 \cdot \sin(45^\circ) \cdot 813 = 191,6 \text{ (Н)}.$$

Розрахуємо діаметр поршня який входить до циліндра односторонньої дії:

$$P = p_v \cdot \frac{\pi D^2}{4} - F_{тр} - F_{пр}. \quad (4.5)$$

де p_v – робочий тиск повітря в системі, приймаємо $p_v = 0,6$ МПа. Варто врахувати, що тиск в пневматичної мережі більше 0,6 МПа зазвичай призводить до можливих жакливих аварійних ситуацій, адже інші пристрої повітряної мережі не розраховані на такий підвищений тиск.

D – діаметр поршня;

$F_{тр}$ – сила тертя в ущільненнях ($\approx 10\%$ від зусилля, що розвивається),

приймаємо $F_{тр} = 19,2$ Н;

$F_{пр}$ – зусилля, створене пружиною (в кінці ходу дорівнює 10% від зусилля, що

розвивається), приймаємо $F_{пр} = 19,2$ Н.

$$D = \sqrt{\frac{4(P + F_{mp} + F_{np})}{\pi \cdot p_s}} = \sqrt{\frac{4(191,6 + 19,2 + 19,2)}{\pi \cdot 0,6 \cdot 10^6}} = 0,0221(\text{м}) = 22,5(\text{мм}).$$

Отже, приймаємо діаметр поршня механізму затиску $D = 25$ мм.

Розрахуємо похибку розміщення заготовки деталі «Вал». Основними частинами установчих розмірних ланцюгів є: розміри заготовки деталі «Вал», пристосування, які розраховано, відповідно, до загальних методик розмірного аналізу конструкції.

Розглянемо розміри, що впливають при автоматизованому відпрацюванні програми промислового робота із заготовкою деталі «Вал» на токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16Б16Ф3 (рисунок 4.5):

B_{Δ} – відхилення осей для затискного пристрою верстату і заготовки;

B_1 – відхилення для осей заготовки та захватного пристрою;

B_2 – відхилення, що враховують основні необхідні переміщення;

B_3 – відхилення осі захвату від бази промислового робота;

B_4 – відхилення габаритної відстані між верстатом з ЧПК та роботом;

B_5 – відхилення для відстані від осі робота до основної бази верстата з ЧПК.

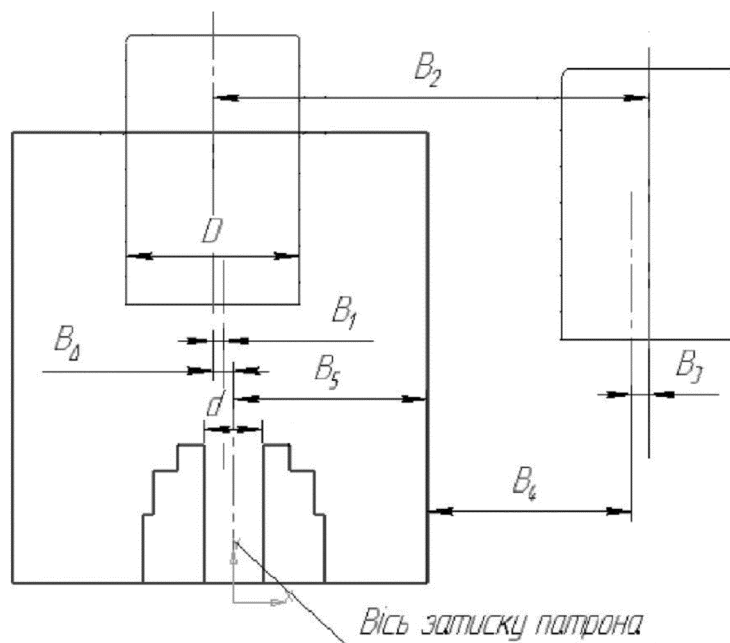


Рисунок 4.5 – Розрахунок похибки розміщення заготовки деталі «Вал»

Встановлення заготовки деталі «Вал» безпосередньо на призму в тому випадку, коли B_{Δ} не перевищує значення:

$$B_{\max} = \frac{d - D}{2K_3}, [\text{мм}] \quad (4.6)$$

де $K_3 = 1,1 \div 1,2$ (коефіцієнт запасу);

d – діаметр розкриття кулачків патрона (120 мм);

D – діаметр поверхні базування деталі (75 мм).

$$B_{\max} = (120 - 75) / 1,2 = 18,75 \text{ (мм)}.$$

В результаті приймаємо допуск на розмір для базування заготовки деталі «Вал» $75^{+0,3}_{-1,1}$ мм, тоді розрахуємо інші параметри:

$$B_1 = \frac{0.5}{2} \left(\frac{1}{\sin 60} - 1 \right) = 0.04 \text{ (мм)}$$

$$B_2 = 1400 \pm 1,55 \text{ (мм)};$$

$$B_3 = \frac{0.5}{2} \left(\frac{1}{\sin 60} - 1 \right) = 0.04 \text{ (мм)}$$

$$B_4 = 60_{-0,72} \text{ (мм)};$$

$$B_5 = 940_{-2,3} \text{ (мм)}.$$

$$T_{\Delta} = 0,04 + 3,1 + 0,04 + 0,72 + 2,3 = 5,87 \text{ (мм)}$$

Оскільки $T_{\Delta} < B_{\max}$, то можна зробити висновок, що розрахована точність позиціонування заготовки деталі «Вал» достатня для виконання необхідної операції.

4.4 Розрахунок траєкторії руху елементів промислового робота

Запишемо координати переміщення траєкторії руху вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розраховані елементи траєкторії переміщення захвату робота

Елемент Траєкторії	Найменування та напрямок руху	Величина переміщення, мм (град)
1	2	3
r0–1	Переміщення руки промислового робота вперед	1000
	Затиск заготовки схватом промислового робота	-
r1–2	Переміщення руки промислового робота назад	1000
z2–3	Переміщення руки промислового робота вгору	100
φ3–4	Поворот корпусу за год. стрілкою	90
r5–6	Переміщення руки промислового робота вперед	1400
z6–7	Переміщення руки промислового робота вниз	100
x7–8	Переміщення корпусу вліво	100
	Розтиск схвату руки	-
x9–10	Переміщення корпусу промислового робота вправо	100
z10–11	Переміщення руки промислового робота вгору	100
z11–12	Переміщення руки промислового робота назад	1400
	Вистій руки промислового робота	-
r12–13	Переміщення руки промислового робота вперед	1400
z13–14	Переміщення руки промислового робота вниз	100
x14–15	Переміщення корпусу вліво	100
	Затиск схвату руки	-
x15–16	Переміщення корпусу вправо	100
z16–17	Переміщення руки промислового робота вгору	100
φ17–18	Поворот заготовки проти год. стрілкою	90
φ18-19	Поворот руки за год. стрілкою	180
φ19-20	Поворот корпусу проти год. стрілкою	90
r20-21	Переміщення руки промислового робота вперед	1400
z21-22	Переміщення руки промислового робота вниз	100

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
x22-23	Переміщення корпусу вліво	100
	Затиск схвату руки	-
x23-24	Переміщення корпусу вправо	100
z24-25	Переміщення руки промислового робота вгору	100
z25-26	Переміщення руки промислового робота назад	1400
	Вистій руки робота	-
r26-27	Переміщення руки промислового робота вперед	1000
z27-28	Переміщення руки промислового робота вниз	100
x28-29	Переміщення корпусу вліво	100
	Затиск схвату руки	-
x29-30	Переміщення корпусу вправо	100
z30-31	Переміщення руки промислового робота вгору	100
φ31-32	Поворот корпусу проти год. стрілкою	90
	Затиск схвату руки	-
r32-33	Переміщення руки промислового робота назад	1000

4.5 Вибір допоміжного устаткування для удосконалення робочого місця

Розберемо функції допоміжного устаткування:

- основна функція накопичення;
- також функція транспортування та поштучної видачі виробів;
- остання функція орієнтації та переорієнтації виробів.

Допоміжне устаткування робочого місця дозволяє забезпечити фіксацію заготовки деталі «Вал» під час переміщення до верстату, позиціонування у відповідне положення для захватного механізму промислового робота моделі «QJRB15-1». Необхідно врахувати щоб зона роботи допоміжного устаткування безумовно перетиналися із робочою зоною для промислового робота моделі «QJRB15-1».

Для удосконаленого робочого місця також передбачено спеціальний тактовий стіл. На робочу поверхню тактового стола встановлять спеціальні призми для

заготовок деталі «Вал». Так як габаритні розміри самої заготовок деталі «Вал» суттєво не відрізняються, то вибрані опорні елементи будуть однакові. Схема тактового столу СТ 350 та розміри його пластини подано на рисунку 4.6.

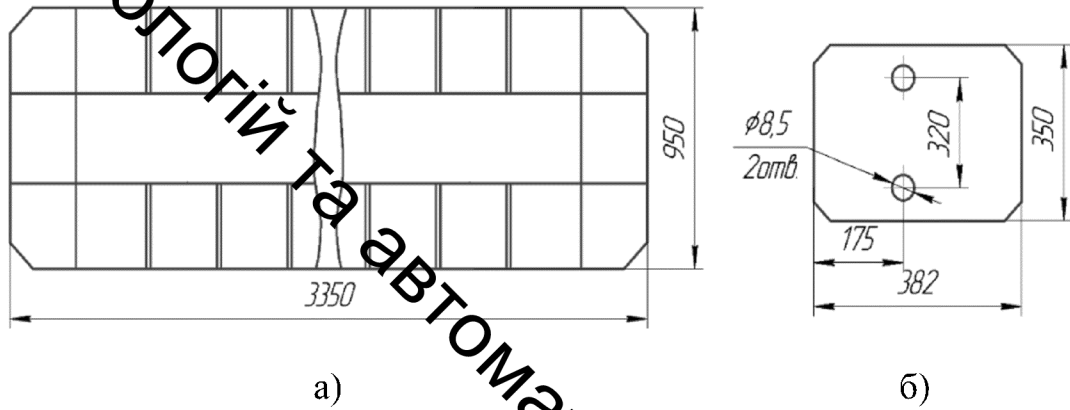


Рисунок 4.6 – Схема тактового столу СТ350 а) та розмірами елемента пластини б)

Для роботи промислового робота на робочому місці реалізуємо кільцеву компоновку (рисунок 4.7). Використання кільцевої компоновки дозволить завантажувати і розвантажувати заготовки на тактовий стіл та верстат. Перевага кільцевої компоновки: забезпечення скорочення допоміжного часу для закріплення і установки заготовок і деталей, що в свою чергу забезпечує зменшення штучно-калькуляційного часу, і це призводить до підвищення продуктивності.

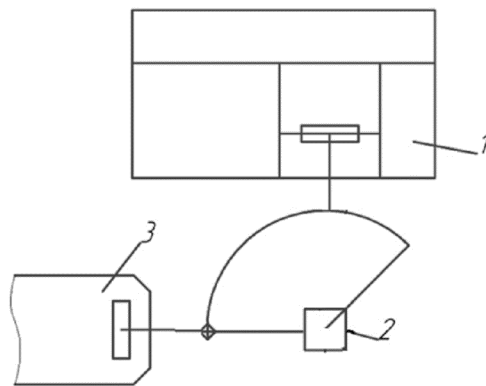


Рисунок 4.7 – Кільцева компоновка робочого місця з промисловим роботом моделі «QJRB15-1»

4.6 Розрахунок допустимих швидкостей переміщення деталі в захваті

Проведемо розрахунок швидкості лінійних переміщень. При цьому визначимо швидкість лінійних переміщень в діапазоні робочої зони руки нашого робота, використовуємо формулу 4.7:

$$V_x = \frac{2L_x \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, [\text{м/с}] \quad (4.7)$$

де L_x – виліт руки робота;

Δl – похибка позиціонування (5,87 мм);

M – маса заготовки деталі «Вал» (11,92 кг).

В результаті швидкість лінійних переміщень із заготовкою деталі «Вал» перед операцією:

$$V_r = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot \sqrt[4]{0,00587}}{\sqrt[3]{11,92}} = 0,24 (\text{м} / \text{с}).$$

а також під час відведення завантаженої руки від накопичувача:

$$V_r = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot \sqrt[4]{0,00587}}{\sqrt[3]{11,92}} = 0,02 (\text{м} / \text{с}).$$

Знайдемо швидкість переміщень по вертикалі. Для визначення швидкості цих переміщень застосуємо умову зрівноваження мас:

$$V_z = \frac{\alpha_z \sqrt{l_z} \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, [\text{м/с}] \quad (4.8)$$

де α_z – коефіцієнт враховує залежність від конструкції приводу робота, для пневмоприводу $\alpha_z=3$;

L_z – довжина шляху при вертикальному переміщенні деталі «Вал».

Швидкість вертикальних переміщень із заготовкою деталі «Вал»:

$$V_z = \frac{3 \cdot \sqrt{0,1} \cdot \sqrt[4]{0,00587}}{\sqrt[3]{11,92}} = 0,11 (\text{м} / \text{с}).$$

Знайдемо швидкість кутових переміщень. Кутова швидкість для повороту руки нашого промислового робота моделі «QJRB15-1» щодо вертикальної осі:

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_x)^4}}, [\text{рад/с}] \quad (4.9)$$

де δ – похибка кутового позиціювання:

$$\delta = \frac{\Delta l}{L_x} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600 = \frac{0,0001}{1} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600 = 20,64 (\text{с}).$$

φ – кут повороту руки, град.

Врахуємо також, що для повороту станини з рукою робота необхідно повернути на кут 90° :

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sqrt[4]{20,64}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1)^4}} = 1,5 (\text{рад/с}).$$

4.7 Побудова циклограми роботи промислового робота

Циклограма удосконаленого робочого місця з роботою промислового робота моделі «QJRB15-1» включає графічне відображення усіх послідовностей роботи під час мехобробки деталі «Вал» та з врахуванням окремих його елементів і підсистем (рисунок 4.8).

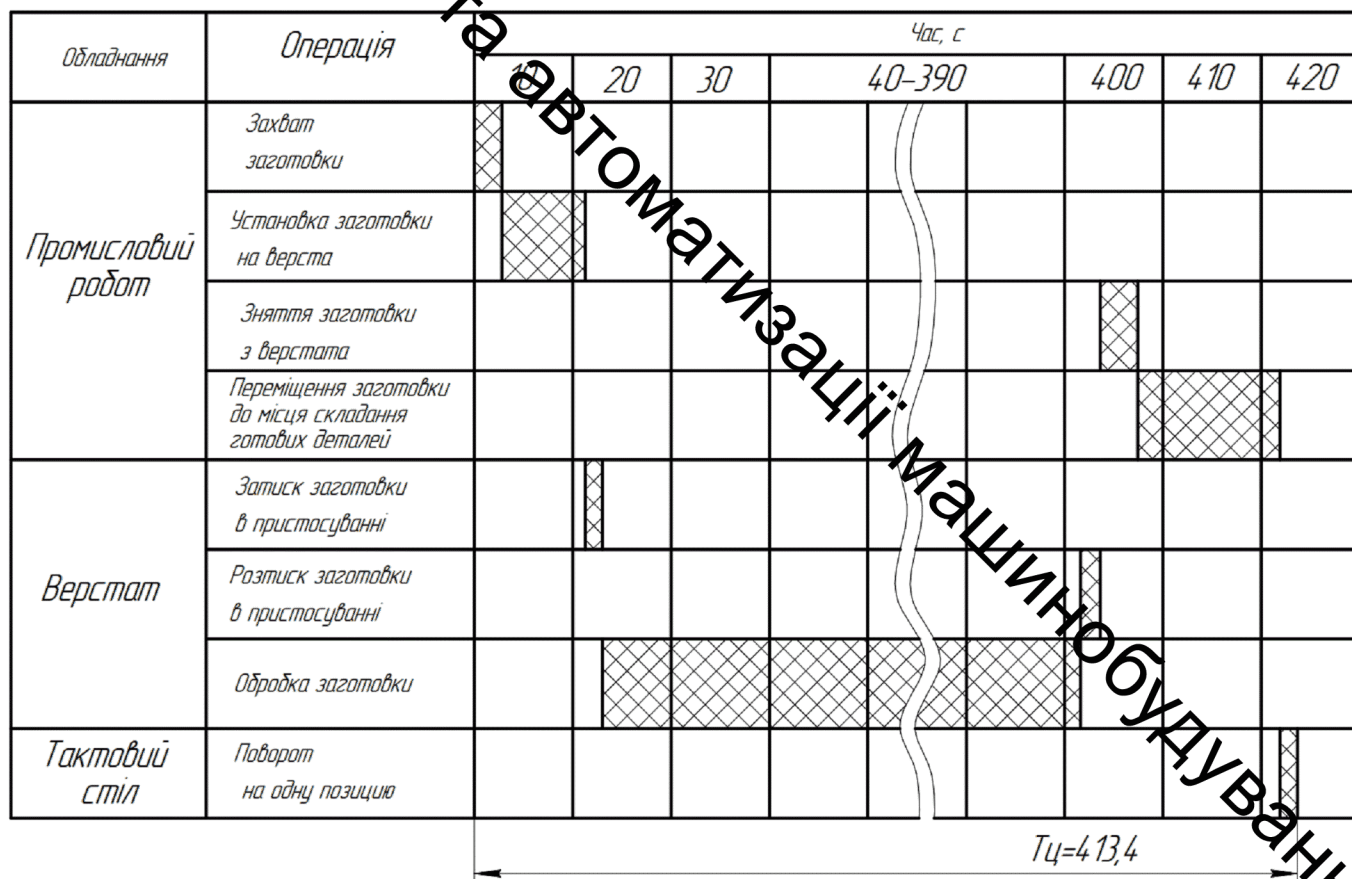


Рисунок 4.8 – Циклограма роботи промислового робота моделі «QJRB15-1»

Із циклограми роботи промислового робота визначено, що його використання дозволяє зменшити витрати на допоміжні операції до 62 с, що складає 13% штучно-калькуляційного часу на 010 операцію.

Аналогічним чином можна удосконалити ще три робочих місця із токарними верстатами з ЧПК. Це в свою чергу дасть можливість зекономити більше 288 с на допоміжних операціях під час точіння на токарних верстатах з ЧПК.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

5.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи

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

Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ма критеріями [14]. Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Лозінський Д.О.	Козлов Л.Г.	Сердюк О.В.
1	2	3	4
1. Технічна здійсненність концепції	3	3	3
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	2	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	3	3

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	4	3
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	3	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	3
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	4
Сума балів	СБ ₁ =33	СБ ₂ =35	СБ ₃ =34
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{33 + 35 + 34}{3} = 34$		

$$\overline{CB} = \frac{\sum_{i=1}^3 CB_i}{3}. \quad (5.1)$$

Згідно результатів оцінювання можна охарактеризувати рівень комерційного потенціалу розробки «вище середнього» ($\overline{CB}=34$), а також розкрити такі аспекти:

- розробка може бути реалізована на таких підприємствах як ТОВ «ПлазмаТек», ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», ООО «Вінницький інструментальний завод»;

- загальна якість розробки має високі показники: коефіцієнт запасу міцності деталі «Вал» складає 1,95, точність обробки поверхонь забезпечує точність позиціонування та виконання функціональних обов'язків;

- за рахунок удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал» забезпечується підвищення продуктивності випуску продукції та економія енергетичних ресурсів, що дозволяє покращити співвідношення ціна-якість;

- ринками збуту продукції можуть бути підприємства України, що займаються виготовлення обладнання для сільсько-господарства за допомогою редуктора розкидача добрив;

- редуктор розкидача добрив є досить перспективний проєкт, а потенційними покупцями цього товару можуть бути дрібні та великі фермерські господарства;

- оскільки загальний ресурс роботи редуктора розкидача добрив з деталлю «Вал» є досить великим, тому будемо вважати, що його покупка підприємством буде разовою. Також оцінивши новизну, та техніко економічні показники можна припустити, що пристрій буде зберігати свою актуальність протягом 15 років.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (5.2)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн. У 2024 році величини окладів рекомендується брати до 15372 грн за місяць для працівників професійної, наукової та технічної діяльності;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21 \dots 23)$ дні, Приймаємо 22 робочих дні;

t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Таблиця 5.2 – Розрахунки основної заробітної плати розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
Керівник проектувальник	15372	698,72	10	6987,2
Інженер-конструктор 1-ї категорії	11556	525,27	10	5252,7
Технік 1-ї категорії	8172	371,45	8	2971,6
Всього				15211,5

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \text{ [грн.]}, \quad (5.3)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n – число робіт по видах та розрядах;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_{\text{мкс}} \cdot K_c}{T_p \cdot T_{\text{зм}}} \text{ [грн./год]}, \quad (5.4)$$

де M_m – розмір мінімальної місячної заробітної плати,
 $M_m = 8000,00$ грн./міс.;

$K_{\text{мкс}}$ – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду: 1,35 – 3 розр.; 1,7 – 5 розр.; 2 – 6 розр.;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати: приймаємо 1,8.

T_p – число робочих днів в місяці; Прийняте $T_p = 22$ дні;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год.

Тоді

$$C_3 = \frac{8000 \cdot 1,35 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 110,45 \text{ (грн/год)};$$

$$C_5 = \frac{8000 \cdot 1,7 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 139,09 \text{ (грн/год)};$$

$$C_6 = \frac{8000 \cdot 2 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 163,64 \text{ (грн/год)}.$$

Таблиця 5.3 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Полірувальна операція	0,03	6	163,64	4,9
Токарна з ЧПК	0,615	6	163,64	100,6
Шліцефрезерна операція	0,17	5	139,09	23,6
Шпонково-фрезерна операція	0,22	5	139,09	30,6
Обслуговування промислового робота	0,03	5	139,09	4,17
Слюсарна операція	0,5	3	110,45	55,2
Миюча операція	0,25	3	110,45	27,6
Всього				246,7

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10...12% від суми основної заробітної плати розробників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}}(Z_o + Z_p) \text{ [грн.]},$$

$$Z_{\text{дод}} = 0,11(15211,5 + 246,7) = 1700,4 \text{ (грн.)}.$$

Відрахування на соціальні заходи. До статті «Відрахування на соціальні заходи» належать відрахування внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування та для здійснення заходів щодо соціального захисту населення (ЄСВ — єдиний соціальний внесок). Розраховуються за формулою:

$$Z_u = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (5.6)$$

де $З_0$ – основна заробітна плата розробників, грн.;

$З_p$ – основна заробітна плата робітників, грн.;

$З_d$ – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$H_{zn}=22\%$ – норма нарахування на заробітну плату.

$$З_n = (17211,5 + 246,7 + 1700,4) \cdot \frac{22}{100} = 3775 \text{ (грн.)}$$

Сировина та матеріали. Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot Ц_v \text{ [грн.]}, \quad (5.7)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;

$Ц_i$ – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ приймаємо $1,1$;

B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;

$Ц_v$ – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг;

n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 5.4 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн.	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн./кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Прокат d=75 мм	45	11,92	5,0	7,2	554
Всього:					554

Розрахунок витрати на комплектуючі K_6 , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K_6 = \sum_1^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \text{ [грн.]}, \quad (5.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_j – ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ приймаємо 1,1;

n – кількість видів комплектуючих.

Всі необхідні данні для розрахунку витрат на комплектуючі вироби зведемо в таблицю 5.5

Таблиця 5.5 - Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Корпус редуктора	1	1000	1000
Вихідний вал	2	250	550
Інші дрібні комплектуючі редуктора	10	60	660
Всього			2310

Спецустаткування для наукових робіт. Проектування та удосконалення деталі конічно-циліндричного мотор-редуктора виконувалася на ноутбуці ASUS VivoBook X571GT-BQ073 Star Black. Балансова вартість спецустаткування розраховується за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_1^k C_i \cdot C_{\text{пр.}j} \cdot K_j \text{ [грн.]}, \quad (5.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{спр.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10, \dots, 1,12$) приймаємо 1,1;

k – кількість найменувань устаткування;

$$B_{спр.и} = 23999 \cdot 1 \cdot 1,1 = 26398,9 \text{ (грн)}.$$

Програмне забезпечення для наукових робіт

При виконанні МКР використовуються програми, які є у вільному доступі та на підприємстві.

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

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

$$A_{обл} = \frac{C_б}{T_с} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн]}, \quad (5.10)$$

де $C_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_с$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Оф. приміщення	90000	20	1	375
Вир. прим.	150000	20	1	625
Ноутбук	23999	5	1	400
Полірувальна операція	200000	15	1	1111,1
Токарна з ЧПК	400000	15	1	2222,2
Шліцефрезерна операція	300000	15	1	1666,7
Шпонково-фрезерна операція	200000	15		1111,1
Робот типу «QJRB15-1»	45000	15	1	250
Інше обладнання	10000	5	1	166,7
Всього				7927,8

Паливо та енергія для науково-виробничих цілей. Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} t_i \Pi_e K_{eni}}{\eta_i} \text{ [грн]}, \quad (5.11)$$

W_{yi} - встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i - тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

Π_e - вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії);

K_{eni} - коефіцієнт, що враховує використання потужності, приймаємо 0,75;

η_i - коефіцієнт корисної дії обладнання, приймаємо 0,8.

При цьому вартість електроенергії розраховується:

$$C_e = (C_{opt} + C_{розп} + C_{пост})(1 + \frac{ПДВ}{100\%}) \quad (5.12)$$

C_{opt} - середня оптова ціна електроенергії, яка визначається оператором ринку, грн за 1кВт·год [15, 16]

$C_{розп}$ - вартість розподілу електроенергії окремою енергорозподільчою компанією (без ПДВ) для ПАТ «Фінницяобленерго», грн за 1кВт·год [17];

$C_{пост}$ - вартість постачання електроенергії від енергорозподільчої компанії до конкретного споживача (без ПДВ), грн за 1кВт·год [18].

$$C_e = (5621,52 + 344,82 + 528,57) \cdot (1 + 0,2) / 10^3 = 7,79 \text{ грн}$$

Таблиця 5.7 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Ноутбук	0,3	160	350,6
Полірувальна операція	3	0,03	0,7
Токарна з ЧПК	6,3	0,615	28,3
Шліцефрезерна операція	6,3	0,17	7,8
Шпонково-фрезерна операція	3,5	0,22	5,6
Робот типу «QJRB15-1»	1	0,22	1,6
Інше обладнання	2	10	146,1
Всього			540,7

Службові відрядження Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% (приймаємо 22%) від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$B_{cv} = \frac{H_{cv}}{100\%} (3_o + 3_p) \text{ [грн.]}, \quad (5.13)$$

$$B_{cv} = 0,22(15211,5 + 246,7) = 3400,8 \text{ (грн)}.$$

Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації. До статті «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» належать витрати на проведення досліджень, що не можуть бути виконані штатними працівниками або наявним обладнанням організації, а виконуються на договірній основі іншими підприємствами, установами і організаціями незалежно від форм власності та позаштатними працівниками.

Таких робіт не передбачено на час виготовлення зразка. Адже всі дослідження проведено на нашому підприємстві. Тому витрати на цю статтю дорівнюють 0.

Інші витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$I_6 = \frac{H_{is}}{100\%} (3_o + 3_p) \text{ [грн.]}, \quad (5.14)$$

$$I_6 = 0,5(15211,5 + 246,7) = 7729,1 \text{ (грн)}.$$

Накладні (загальновиробничі) витрати. До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

$$B_{нзв} = \frac{H_{нзв}}{100\%} (3_o + 3_p) \text{ [грн.]}, \quad (5.15)$$

$$H_{нзв} = 1,25(15211,5 + 246,7) = 19322,8 \text{ (грн)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи. Цей показник розраховуються як сума всіх попередніх статей витрат:

$$B_{заг} = 15211,5 + 246,7 + 1700,4 + 3775 + 554 + 2310 + 26398,9 + 0 + 7927,8 + 540,7 + 3400,8 + 0 + 7729,1 + 19322,8 = 89117,7 \text{ (грн)}$$

Загальні витрати ЗВ на завершення науково—дослідної (науково— технічної) роботи та оформлення її результатів, із врахуванням того розробка знаходиться на стадії розробки впровадження зразка:

$$ЗВ = 89117,7 / 0,9 = 99019,7 \text{ (грн)}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

Оскільки у нас удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Вал», то майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних: збільшення кількості споживачів редукторів для добрих із деталлю «Вал7», в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик – (350 шт за 2025 рік, 250 шт за 2026 рік, 200 штук за 2027 рік та 200 шт за 2028 рік); кількість споживачів, які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки – 3000 шт; вартість пристрою (машини, механізму) у році до впровадження результатів розробки – 2000 грн; зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від

впровадження результатів науковотехнічної розробки в аналізовані періоди часу 200 грн.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 січня 2025 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2025-го, 2026-го, 2027-го та 2028-го років.

З 2029 року ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

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

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n \Delta \Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \vartheta / 100) \text{ [грн]}, \quad (5.16)$$

де $\Delta \Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн.;

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

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

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

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

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

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

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

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора Π_i протягом першого року від реалізації нашої розробки (2025 р.) складе:

$$\begin{aligned}\Delta\Pi_1 &= (200 \cdot 3000 + 2000 \cdot 350) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 222074,5 \text{ (грн)}; \\ \Delta\Pi_2 &= (200 \cdot 3000 + 2000 \cdot (350 + 250)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 307487,7 \text{ (грн)}; \\ \Delta\Pi_3 &= (200 \cdot 3000 + 2000 \cdot (60 + 20)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 375818,3 \text{ (грн)}; \\ \Delta\Pi_4 &= (200 \cdot 3000 + 2000 \cdot (80 + 20)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18/100) = 444148,9 \text{ (грн.)}.\end{aligned}$$

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

$$ПП = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \text{ [грн]}, \quad (5.16)$$

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 роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

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

$$ПП = \frac{222074,4}{(1+0,1)^2} + \frac{307487,7}{(1+0,1)^3} + \frac{375818,3}{(1+0,1)^4} + \frac{444148,9}{(1+0,1)^5} = 947023,1 \text{ (грн)}.$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{inv} \cdot 3B \text{ [грн]}, \quad (5.17)$$

де k_{inv} – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технології, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{inv} = 2 \dots 5$, приймаємо 2.

$$PV = 2 \cdot 99019,7 = 198039,4 \text{ (грн)}.$$

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

$$E_{abc} = (ПП - PV) \text{ [грн]}, \quad (5.18)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.

Якщо $E_{abc} \leq 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Тоді

$$E_{abc} = (947023,1 - 198039,4) = 748983,7 \text{ (грн.)}.$$

Оскільки $E_{абс} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів роботи 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.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v . Для цього користуються формулою:

$$E_v = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (5.19)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

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

$$E_v = \sqrt[5]{1 + \frac{748983,7}{197039,4}} - 1 = 0,367 = 36,7\%.$$

Далі, розрахована величина E_v порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування $\tau_{мін}$, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.20)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,16...0,22)$;

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

Якщо величина $E_v > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

Спочатку спрогнозуємо величину $\tau_{\min}$. Припустимо, що за даних умов:

$$\tau_{\min} = 0,22 + 0,1 = 0,23 = 23\%.$$

Оскільки $E_v = 36,7\% > \tau_{\min} = 23\%$, то інвестора може бути зацікавлений у вкладенні грошей в дану наукову розробку.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_v} \text{ [років]}. \quad (5.21)$$

Якщо $T_{ок} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування.

$$T_{ок} = \frac{1}{0,367} = 2,72 \text{ (років)}.$$

Це свідчить про можливу доцільність фінансування даної наукової розробки. При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на розробку нового технічного рішення, на його виробництво та впровадження, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

Визначення капітальних витрат на розробку нового технічного рішення включало витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали і таке

рис. В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності. За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою. Термін окупності вкладених коштів у реалізацію наукового проекту становить $T_{ок}=2,72$ роки. Крім того відносна ефективність вкладень $E_v=36,7\%$ є більшою за мінімальну ставку дисконтування $\tau_{min}=23\%$, що може зацікавити у фінансуванні даної наукової розробки. Приведена вартість прибутків становить $ПП=947023,1$ грн.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) було підвищено продуктивність технологічної підготовки та механічної обробки заготовки деталі «Вал» шляхом використання додатків для автоматичного розрахунку та проектування ріжучого і контрольно-вимірювального інструментів, зменшення допоміжного часу на обробку після використання розроблених пристосувань та удосконаленого робочого місця.

Під час роботи над першим розділом МКР було проведено аналіз конструкції деталі «Вал» та її службове призначення. Не виявлено напрямків оптимізації конструкції деталі «Вал», а коефіцієнт запасу міцності становить 1,95. В результаті обрано тип виробництва – середньосерійний і формою організації роботи – групова. Проведено огляд попередніх розрахунків, обрано заготовку, попередньо сформульований маршрут механічної обробки та режими різання.

В другому розділі спроектовано та удосконалено конструкцію верстатного пристосування для обробки деталі типу «Вал». Досліджено силові характеристики затискного пристрою і підібрано максимально продуктивний режим різання який забезпечує необхідну затискну силу та максимальну ефективність роботи.

В третьому розділі запропоновано використовувати автоматизовані додатки для розрахунку ріжучого та контрольно-вимірювального інструменту. Розроблені додатки дозволили за 5-10 секунд розрахувати основні параметри шпонкової фрези для обробки пазу 16Р9 мм та калібр-скоби для перевірки $\varnothing 60k6$ мм.

Четвертому розділ МКР розділі запропоновано удосконалення робочого місця механічної обробки заготовки деталі типу «Вал» за рахунок використання промислового робота моделі «QJRB15-1». Підібрано також тактовий стіл СТ350 для автоматичної подачі заготовок. Це дозволило зменшити витрати на допоміжні операції до 62 с, що складає 13% штучно-калькуляційного часу на 010 операцію.

В останньому розділі МКР розраховано економічну доцільності виготовлення виробу в якому зазначено, що річний прибуток виробника складе більше 947,02 тисяч грн з терміном окупності за 2,72 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні – Київ: Вища школа, 1993. 414 с.
2. Павленко П.М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія.– К.: Книжкове видавництво ЧНУ, 2005. 280с.
3. Ю. А. Буренніков, Д. О. Лозінський Технологічні основи машинобудування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навчальний. Вінниця : ВНТУ, 2017. 106 с.
4. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. 392 с.
5. Л.Є. Пелевін, К.І. Почка, О.М. Гаркавенко, Д.О. Міщук, І.В. Русан Синтех робототехнічних систем в машинобудуванні: Підручник. К.: ТОВ; Інтерсервіс;, 2016. 256.
6. Д.О. Лозінський. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Роботизовані технологічні комплекси” / Лозінський Д.О. Вінниця: ВНТУ, 2013 43 с.
7. Ю.І. Муляр Методичні вказівки до виконання домашньої роботи з дисципліни “Програмування багатоінструментальної обробки на верстатах з ЧПК ” / Муляр Ю.І. Вінниця: ВНТУ, 2010. 89с.
8. Комп’ютерне проектування технологічного оснащення. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. Вінниця : ВНТУ, 2013. 125 с
9. Контрольно-вимірювальні пристрої технологічних машин : навч. посібник / За ред. проф. З. А. Стецька. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. 321 с
10. CAD/CAE аналіз елементів фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК [Електронний ресурс] / І. В. Буткалюк, А. М. Гуцалюк, Б. В. Василюк, О. В. Піонткевич // Матеріали ЛІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ,

Вінниця, 21-23 червня 2023 р. Електрон. текст. дані. 2023. URL: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2023/paper/view/17391>.

11. SolidWorks 2022 Step-By-Step Guide: Part, Assembly, Drawings, Sheet Metal, & Surfacing, 4th Edition / Amit Bhatt, Mark Wiley. India : CADFolks, 2022. 438 p.

12. Analysis of Machine Elements Using SolidWorks Simulation 2021 / Shahin S. Nudehi, John R. Steffen. USA : SDC Publications, 2021. 559 p.

13. Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation 2021 / Randy H. Shih. USA : SDC Publications, 2021. 551 p.

14. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. С. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Вінниця : ВНТУ, 2021. 42 с.

15. Погодинні ціни купівлі-продажу електроенергії. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/market/>

16. Тарифи на електроенергію для підприємств. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/>

17. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/promislovist/tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-nepobutovih-spozhyvachiv/tarifi-na-poslugi-z-rozpodiku-elektrichnoyi-energiyi>

18. Тарифи на постачання електричної енергії. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/promislovist/tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-nepobutovih-spozhyvachiv/tarifi-na-poslugi-postachalnikov-universalnih-poslug/tarifi-na-poslugi-postachalnikov-universalnih-poslug-shcho-prodovzhuyut-diyati-z-01042023>

19. Побережець В. Я., Ящук Д. А., Рижих О. В., Піонткевич О. В. Розробка прикладних програм мовою програмування C# для автоматизованого проєктування металорізного інструменту. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. 4 с. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20531>

20. Рижих О.В. Нейронні мережі для САПР / О.В. Рижих, О.В. Піонткевич// Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів, м. Вінниця, 31.05.2022. ВНТУ, 2022. – С. 2 Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/LI/vntu_2022_netpub.pdf

21. Піонткевич О. В. Проекція результатів вивчення CAD/CAE систем на виконання випускних робіт спеціальності «Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта – доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль, Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 242-246.

22. Яшук Д. А., Побережець В. Я., Рижих О. В., Піонткевич О. В. Інженерні дослідження деталей машин на базі САЕ технологій середовища SOLIDWORKS. Матеріали LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. 5 с. URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20580>

23. Піонткевич О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В., Савуляк В. В. Забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта - доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. Краматорськ-Вінниця-Тернопіль, Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 247-252.

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТКИ

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ТА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ Кафедра технологій та автоматизації машинобудування, ФМТ
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності

Оригінальність 90 Схожість 10

- Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):
- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
 - ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
 - ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку (підпис) Сердюк О.В.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи (підпис) Рижих О.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи (підпис) Піонткевич О.В.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

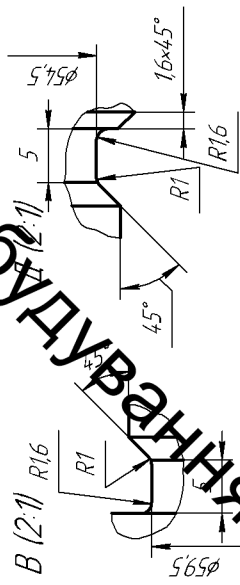
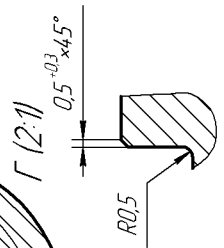
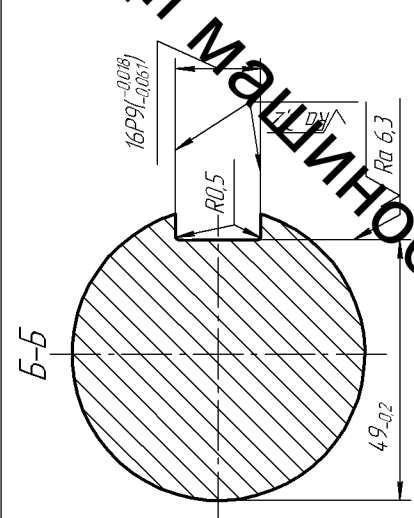
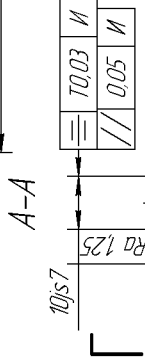
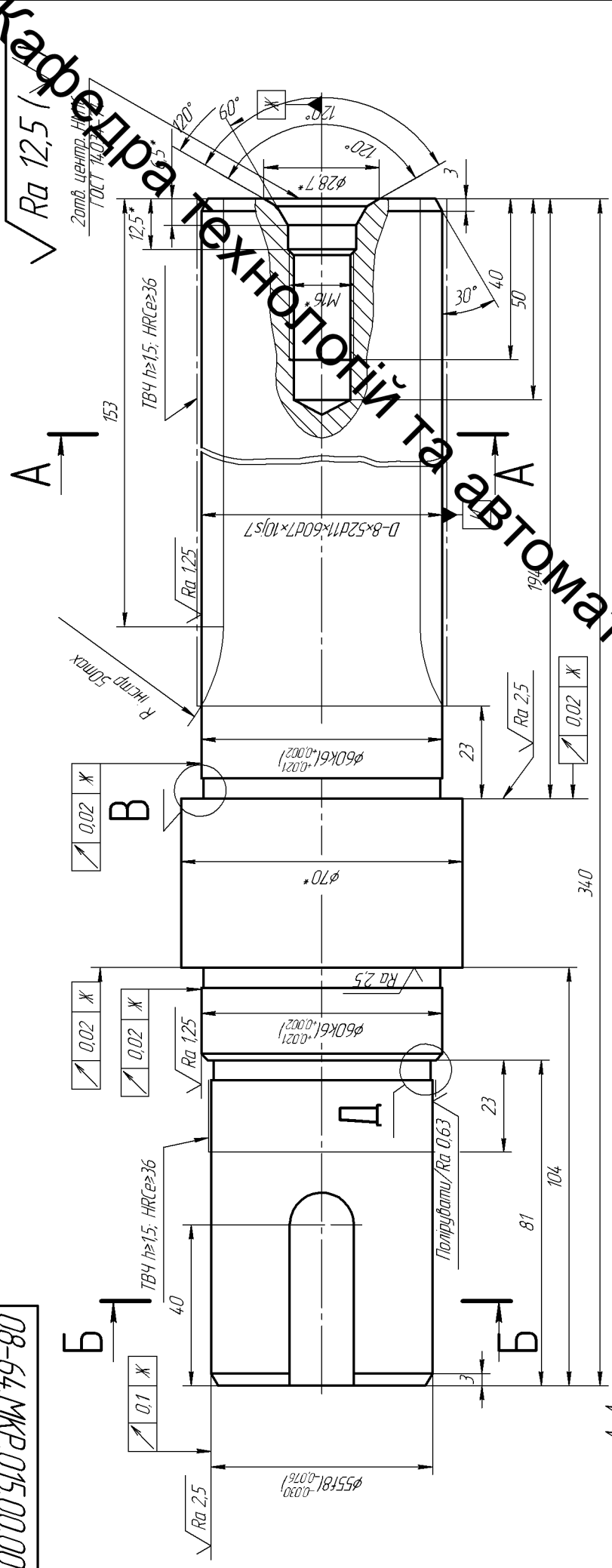
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ТА
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ»**

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Кафедра Технологій та Автоматизації машинобудування

08-64.МКР.015.00.001

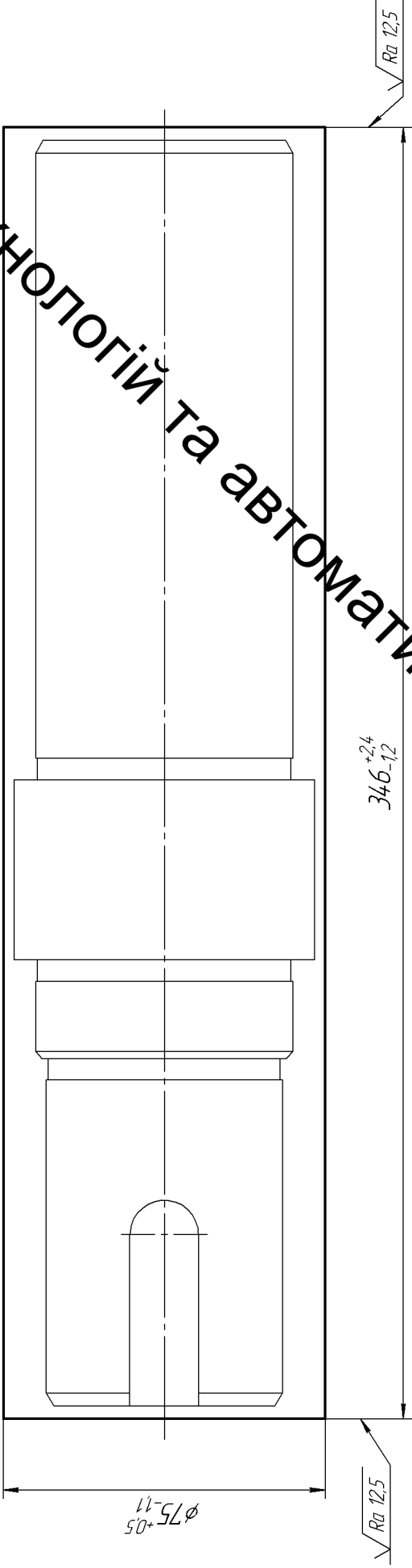


* Розмір для довідки.

- 1. Недказарі граничні розміри валів Н14; отворів Н14 та інші по $\pm \frac{1}{2}$.
- 2. Твердість НВ 260-280.
- 3. Твердість НВ 260-280.
- 4. Недказані допуски на форму і розміщення поверхонь за ГОСТ 25069-81.

08-64.МКР.015.00.001				Вал			
Зм.	Арж.	№ док.	Дата	Литера	Маса	Масштаб	
Розроб.	Рижих	11.12	11.12	Н	6,92	1:1	
Перевір.	Піонткевич	12.12	12.12	Арж.	Арж.	1	
Г. контр.							
Н. контр.	Сердюк	12.12	12.12	Сталь 40X ДСТУ 7806:2015			
Затверд.	Козлов	16.12	16.12	ВНТУ, ст. 20. 17М-23 _М			

08-64.МКР.015.00.002



1. Клас точності прокату В.
2. Кривизна прокату не більше 0,2 мм.
3. Паралельність торців 0,2 мм.
4. Невказані радіуси 3 мм.

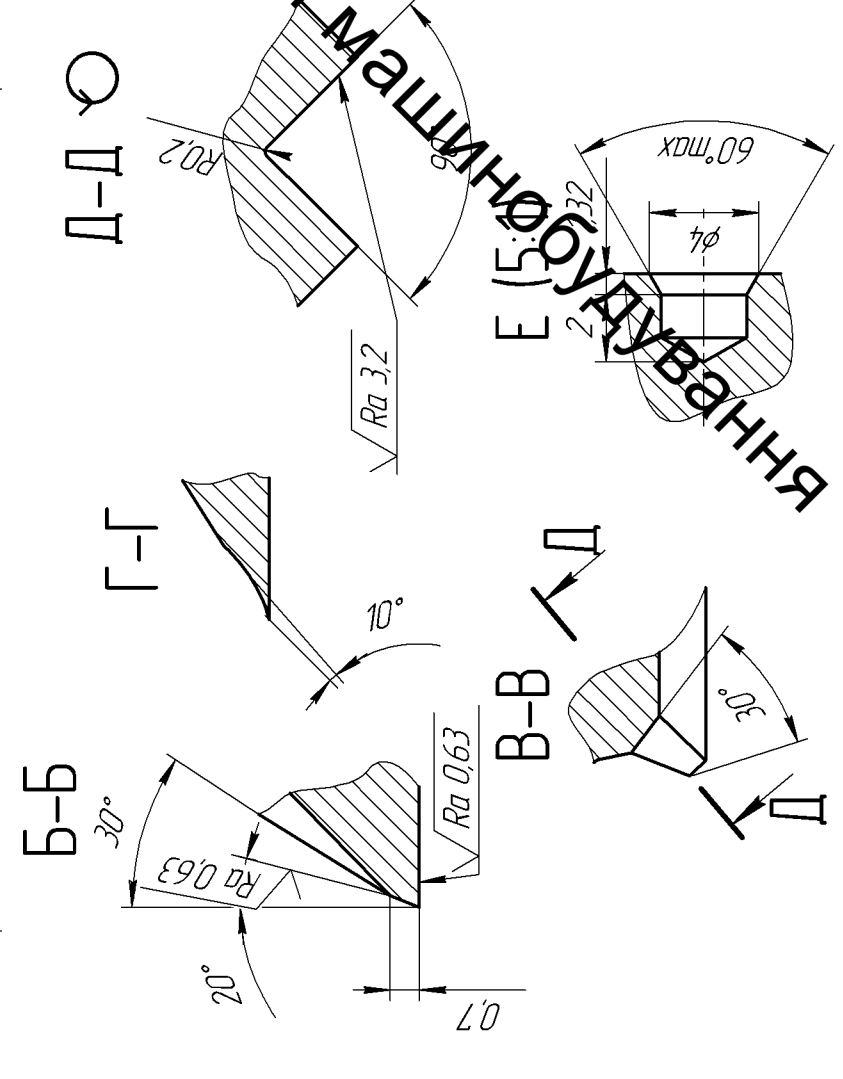
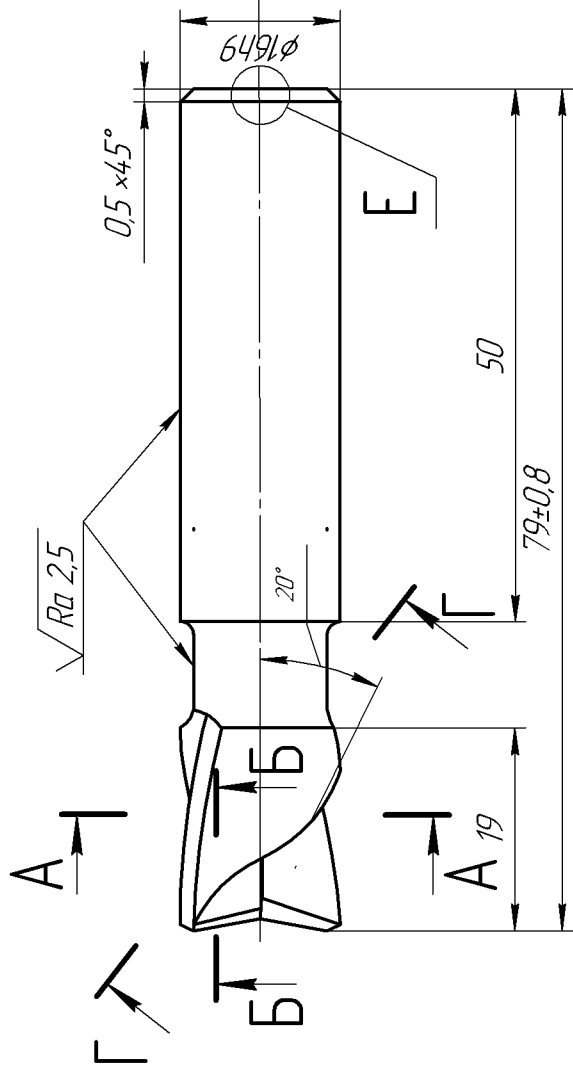
08-64.МКР.015.00.002				Вал (заготовка)			
Зм.	Арж.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Разроб.	Рижих	Піонткевич		11.12	Н	11,92	1:1
Перевір.	Піонткевич			12.12	Арж.	Арж.	1
Т. контр.					ВНТУ, ст. 20. 17М-23 _м		
Н. контр.	Сердюк			12.12	ВНТУ, ст. 20. 17М-23 _м		
Затверд.	Козлов			16.12	ВНТУ, ст. 20. 17М-23 _м		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка		
				Документація				
A1			08-64.МКР.015.01000.СК.	Складальне креслення	1			
				Складальні одиниці				
		1	08-64.МКР.015.02000.СК.	Пневмоциліндр	1			
				Деталі				
		2	08-64.МКР.015.01001	Вагиль	1			
		3	08-64.МКР.015.01002.	Вісь $\phi 10f6$	1			
		4	08-64.МКР.015.01003.	Вісь $\phi 12f6$	1			
		5	08-64.МКР.015.01004.	Вилка	1			
		6	08-64.МКР.015.01005.	Плита	1			
		7	08-64.МКР.015.01006.	Тяга	1			
		8	08-64.МКР.015.01007.	Упор	1			
				Стандартні вироби				
				Болт				
		9		M8-6gx35 ГОСТ 7805-70	3			
				Гайка ГОСТ 5927-70				
		10		M10x15-6H	1			
				08-64.МКР.015.01.000.				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав	Рижих			11.12				
Перев.	Піонткевич			12.12				
Н.контр.	Сердюк			12.12				
Затв.	Козлов			16.12				
Пристрій для фрезерування шпоночного пазу $b=16P9$					Літ.	Аркуш	Аркушів	
					Н		1	2
					ВНТУ, ст. гр. 1ПМ-23 _м			

[illegible]

08-64.МКР.015.03.000

Кафедра технологій та автоматизації

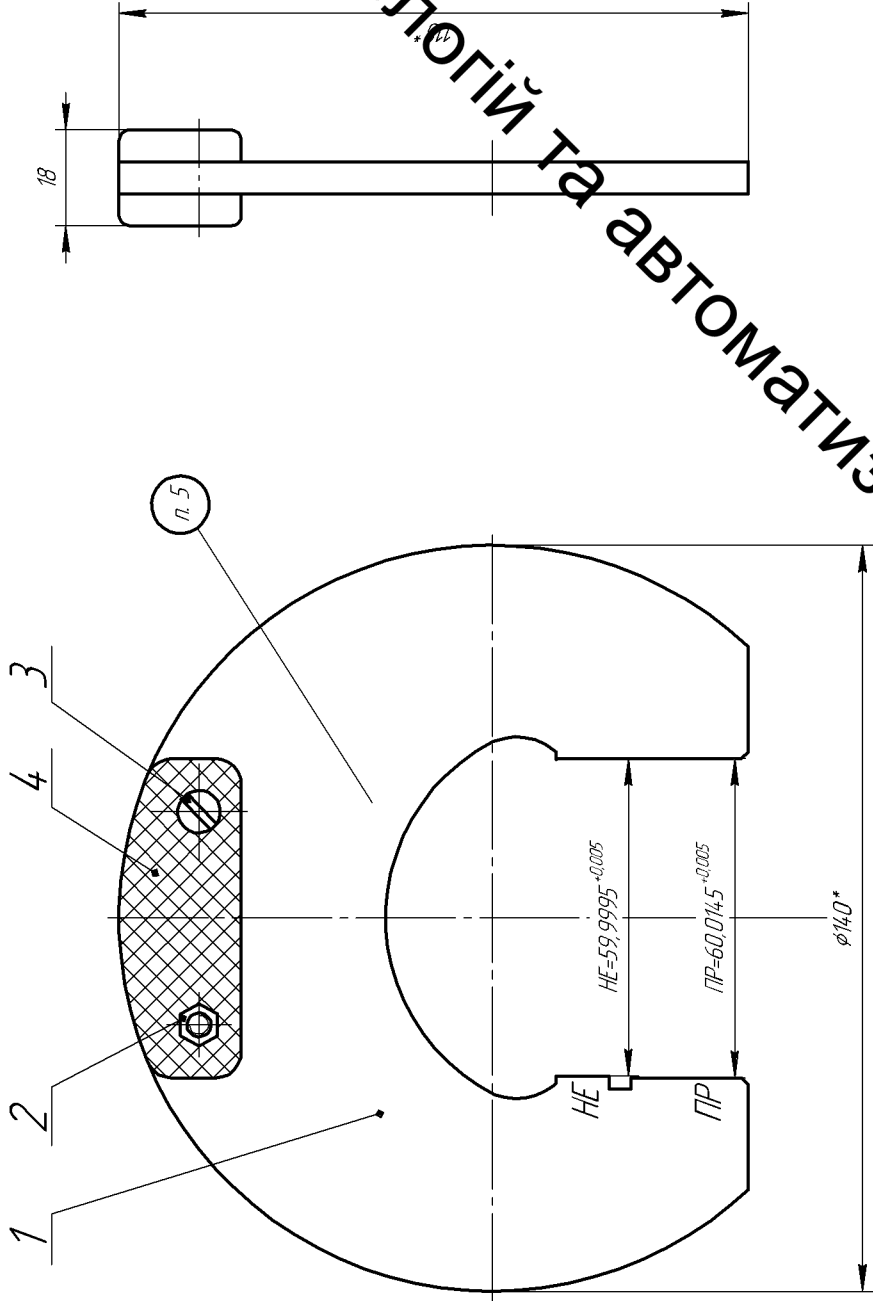


1. Твердість ріжучої частини – 63.65 HRC
2. Нахил ріжучої частини – 35...45 HRC
3. Допустиме зменшення діаметру фрези по напрямленню до хвостовика не більше 0,02 мм на довжині робочої частини
4. Радіальне діття ріжучих кромок зрів відносно вісі поверхні хвостовика не більше 0,02мм
5. Торцьове діття ріжучих кромок відносно вісі поверхні хвостовика – не більше 0,03мм

08-64.МКР.015.03.000				Шпонокова фреза $\phi 16$			
Зм.	Арж.	№ док.	Підпис	Літера	Маса	Масштаб	
Розроб.	Ріжуч.	11.12		Н	0,11	2:1	
Перевір.	Підтверд.	12.12		Арж.	Арж.	1	
Н.контр.	Сердок	12.12		Сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73			
Затверд.	Козлов	16.12		ВНТУ, ст. гр. ПМ-23,м			

08-64.МКР.015.04.000 СК

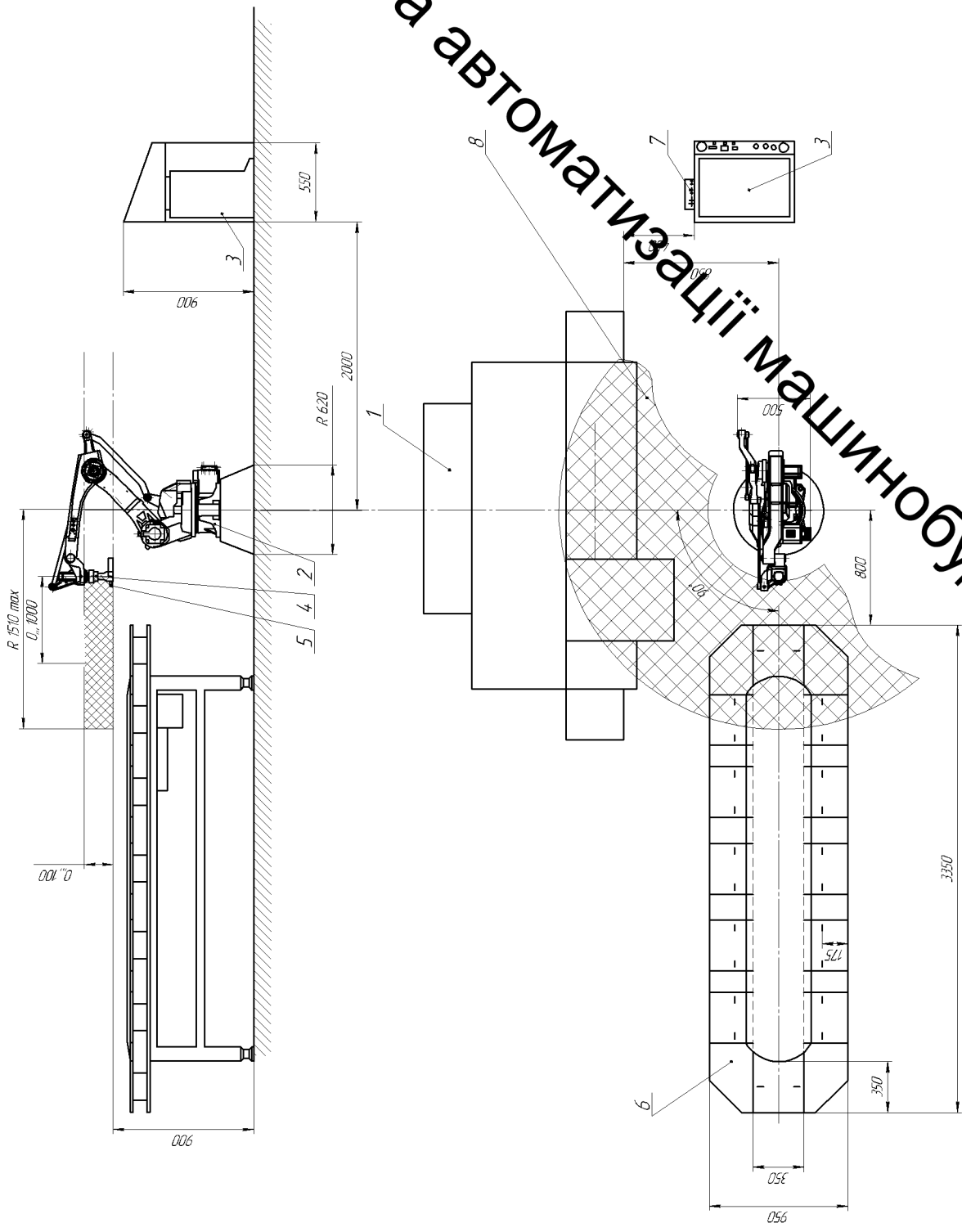
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування



- Разміри для довідок.
1. Твердість вимірювальних поверхонь 58...64 HRC.
 2. Покриття неробочих поверхонь – хім. окс. прм. по ГОСТ 9791-68
 3. Тенічна характеристика – по ГОСТ 2015-69
 4. Маркування по ГОСТ 2015-69 з позначенням калібр-скоди
 5. Небказани граничні відхилення розмірів – H14, h14, ± $\frac{IT}{2}$

08-64.МКР.015.04.000 СК				Калібр-скода φ60к6			
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Разроб.	Рижих	Піонткевич		11.12	Н	0,485	1:1
Перевір.	Піонткевич			12.12	Аркциш	Аркциш	1
Т.контр.							
Н.контр.	Сердюк			12.12	ВНТУ, ст. гр. ПМ-23 _м		
Затверд.	Козлов			16.12	Формат А3		

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування



- 1 Верстат моделі 16Б16ФЗ
- 2 Промисловий робот моделі QJRB15-1
- 3 Пристрій керування
- 4 Виконавчий орган
- 5 Захисний пристрій
- 6 Тактильний стіл CT 350
- 7 Пульс
- 8 Робоча зона промислового робота

Технічні характеристики промислового робота

- Дантяжопідйомність - 15 кг;
- Число ступенів рухоливості - 4;
- Число осей - 1;
- Число електричних пристроїв на одній осі - 1;
- Привід осей: електричний, пневматичний;
- Система керування - інтелектуальна;
- Частота програмованого переміщення - 6;
- Частота програмованого переміщення - 400 мм/хв;
- Максимальна швидкість - 150 мм/хв;
- Найвища швидкість / кількість швидкостей, °/с;
- $\alpha = 195$;
- $\beta = 195$;
- $\gamma = 229$;
- Заданий розмір 580х600х960;
- Маса ПР - 160 кг

Характеристика робочого місця

- 1 Циклова продуктивність, 0ц
- 2 Коефіцієнт відноснаго завантаження, Кз 0,93
- 3 Режим роботи ПР

легкий

ДОДАТОК В

ПРОГРАМНИЙ КОД РОЗРОБЛЕНИХ ДОДАТКІВ

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ
ТА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Програмний код додатку для проектування шпонкової фрези

```
using System.Diagnostics;
using System.Text;

namespace Шпонкова_фреза
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        int l, L, Lk, Lk2, ln, Ln2, lh;
        double Pz, Mpr, Mzg, Mkr, w, sigma, k;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();

            List<Freza> countries = new List<Freza>
            {
                new Freza{Id=1,Name="1,0", d1=4, lk=4, Lk2=36, ln=7, Ln2=39, R="0,1"},
                new Freza{Id=2,Name="2,5", d1=4, lk=5, Lk2=37, ln=8, Ln2=40, R="0,1"},
                new Freza{Id=3,Name="3,0", d1=4, lk=5, Lk2=37, ln=8, Ln2=40, R="0,1"},
                new Freza{Id=4,Name="3,5", d1=4, lk=6, Lk2=38, ln=10, Ln2=42,
R="0,1"},
                new Freza{Id=5,Name="4,0", d1=4, lk=7, Lk2=39, ln=11, Ln2=43,
R="0,1"},
                new Freza{Id=6,Name="5,0", d1=5, lk=8, Lk2=42, ln=13, Ln2=47,
R="0,2"},
                new Freza{Id=7,Name="6,0", d1=6, lk=8, Lk2=52, ln=13, Ln2=57,
R="0,2"},
                new Freza{Id=8,Name="7,0", d1=8, lk=10, Lk2=54, ln=16, Ln2=60,
R="0,2"},
                new Freza{Id=9,Name="8,0", d1=8, lk=11, Lk2=55, ln=19, Ln2=63,
R="0,2"},
                new Freza{Id=10,Name="9,0", d1=10, lk=11, Lk2=61, ln=19, Ln2=69,
R="0,3"},
                new Freza{Id=11,Name="10,0", d1=10, lk=13, Lk2=63, ln=22, Ln2=72,
R="0,3"},
                new Freza{Id=12,Name="11,0", d1=12, lk=13, Lk2=70, ln=22, Ln2=79,
R="0,3"},
                new Freza{Id=13,Name="12,0", d1=12, lk=16, Lk2=73, ln=26, Ln2=85,
R="0,3"},
                new Freza{Id=14,Name="14,0", d1=12, lk=16, Lk2=73, ln=26, Ln2=83,
R="0,3"},
                new Freza{Id=15,Name="16,0", d1=16, lk=19, Lk2=79, ln=32, Ln2=92,
R="0,3"},
                new Freza{Id=16,Name="18,0", d1=16, lk=19, Lk2=79, ln=32, Ln2=92,
R="0,3"},
                new Freza{Id=17,Name="20,0", d1=20, lk=22, Lk2=88, ln=38, Ln2=104,
R="0,5"},
                new Freza{Id=18,Name="22,0", d1=20, lk=22, Lk2=88, ln=38, Ln2=104,
R="0,5"},
                new Freza{Id=19,Name="24,0", d1=25, lk=26, Lk2=102, ln=45, Ln2=121,
R="0,5"},
                new Freza{Id=20,Name="25,0", d1=25, lk=26, Lk2=102, ln=45, Ln2=121,
R="0,5"},
                new Freza{Id=21,Name="28,0", d1=25, lk=26, Lk2=102, ln=45, Ln2=121,
R="0,5"},
                new Freza{Id=22,Name="32,0", d1=32, lk=32, Lk2=112, ln=53, Ln2=133,
R="0,5"},
                new Freza{Id=23,Name="36,0", d1=20, lk=32, Lk2=112, ln=53, Ln2=133,
R="0,8"},
                new Freza{Id=24,Name="40,0", d1=40, lk=38, Lk2=130, ln=63, Ln2=155,
R="0,8"},
            }
        }
    }
}
```

```

new Freza{Id=25,Name="45,0", d1=40, lk=38, Lk2=130, ln=63, Ln2=155,
R="0,8"},
new Freza{Id=26,Name="50,0", d1=50, lk=45, Lk2=147, ln=75, Ln2=117,
R="0,8"},
new Freza{Id=27,Name="56,0", d1=50, lk=45, Lk2=147, ln=75, Ln2=117,
R="1,4"},
new Freza{Id=28,Name="63,0", d1=50, lk=53, Lk2=155, ln=90, Ln2=192,
R="1,4"},
new Freza{Id=29,Name="70,0", d1=63, lk=53, Lk2=165, ln=90, Ln2=202,
R="1,4"}
};

comboBox1.DataSource = countries;
comboBox1.DisplayMember = "Name";
comboBox1.ValueMember = "Id";
radioButton1.Checked = true;
button1.Enabled = false;
button2.Enabled = false;
button3.Enabled = false;
}

class Freza
{
    public int Id { get; set; }
    public string Name { get; set; }
    public int d1 { get; set; }
    public int lk { get; set; }
    public int Lk2 { get; set; }
    public int ln { get; set; }
    public int Ln2 { get; set; }
    public string R { get; set; }
}

private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Freza country = (Freza)comboBox1.SelectedItem;

    if (radioButton1.Checked)
    {
        lk = country.lk;
        Lk2 = country.Lk2;
        ln = country.ln;
        Ln2 = country.Ln2;
        radioButton1.Text = "Коротка серія (довжина ріжучої частини l=" +
lk.ToString() + " мм, загальна довжина L=" + Lk2.ToString() + " мм.";
        radioButton2.Text = "Нормальна серія (довжина ріжучої частини l="
+ ln.ToString() + " мм, загальна довжина L=" + Ln2.ToString() + " мм.";
    };

    if (radioButton2.Checked)
    {
        lk = country.lk;
        Lk2 = country.Lk2;
        ln = country.ln;
        Ln2 = country.Ln2;
        radioButton1.Text = "Коротка серія (довжина ріжучої частини l=" +
lk.ToString() + " мм, загальна довжина L=" + Lk2.ToString() + " мм.";
        radioButton2.Text = "Нормальна серія (довжина ріжучої частини l="
+ ln.ToString() + " мм, загальна довжина L=" + Ln2.ToString() + " мм.";
    }
}

private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox1.Text.Length == 0)

```

```

        button1.Enabled = false;
    else
        button1.Enabled = true;
    }

    private void textBox1_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
    {
        if ((e.KeyChar >= '0') && (e.KeyChar <= '9'))
            return;
        if (Char.IsControl(e.KeyChar))
        {
            if (e.KeyChar == (char)Keys.Enter)
            {
                button1.Focus();
            }
            return;
        }
        e.Handled = true;
    }

    private void radioButton1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        textBox1.Focus();
    }

    private void radioButton2_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        textBox1.Focus();
    }

    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Freza country = (Freza)comboBox1.SelectedItem;
        if (radioButton1.Checked)
        {
            l = country.lk;
            L = country.Lk2;
        };
        if (radioButton2.Checked)
        {
            l = country.ln;
            L = country.Ln2;
        }
        Mzg = double.Parse(textBox1.Text) * L;
        Mkr = double.Parse(textBox1.Text) * country.d1 / 2;
        Mpr = Math.Round(Math.Sqrt((Mzg * Mzg) + (Mkr * Mkr)), 2,
MidpointRounding.AwayFromZero);
        w = Math.Round(0.1 * Math.Pow(country.d1, 3), 2,
MidpointRounding.AwayFromZero);
        sigma = Math.Round(Mpr / w, 2, MidpointRounding.AwayFromZero);
        k = Math.Round(750 / sigma, 2, MidpointRounding.AwayFromZero);

        if (sigma > 750)
        {
            MessageBox.Show("Фреза зламається, перевірте обрані параметри!");
            button2.Enabled = false;
        }
        else
        {
            MessageBox.Show("Умова пiцностi фрези фiконується! Запас мiцностi
k=" + Convert.ToString(k));
            button2.Enabled = true;
        }
    }
}

```

```

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    FileStream SaveFile = new FileStream(@"test.doc",
        FileMode.OpenOrCreate, FileAccess.ReadWrite, FileShare.ReadWrite);

    Freza country = (Freza)comboBox1.SelectedItem;

    if (radioButton1.Checked)
    {
        l = country.lk;
        L = country.Lk2;
    };
    if (radioButton2.Checked)
    {
        l = country.ln;
        L = country.Ln2;
    }
    lh = L - l;

    var writer = new StreamWriter(SaveFile, Encoding.Unicode);
    writer.WriteLine("Результат проектних розрахунків для шпонкової фрези
із швидкорізальної сталі");
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("1. Діаметр шпонкової фрези: {0} мм.", country.Name);
    writer.WriteLine("2. Діаметр хвостової частини: {0} мм.", country.d1);
    writer.WriteLine("3. Приймаємо довжину ріжучої частини l={0} мм,
назначаємо довжину хвостової частини lh={1} мм та загальну довжину фрези L={2} мм
по ГОСТ 9140-2015.", l, lh, L);
    writer.WriteLine("4. Кількість пір'їв фрези: z=2.");
    writer.WriteLine("5. Загальний кут по ГОСТ 9140-2015 \u03B1=20
град.");
    writer.WriteLine("6. Передній кут приймається за нормативами \u03B2=5
град.");
    writer.WriteLine("7. Кут нахилу гвинтових зубців для шпоночних фрез
w=20 град.");
    writer.WriteLine("8. Крім цього на задній поверхні зубів шпонкової
фрези допускається циліндрична стрічка шириною f не більше 0,05мм.");
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("Результати перевірки фрези на міцність");
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("1. Крутний момент від дії сили різання Mкр={0} Нм.",
Mkr);
    writer.WriteLine("2. Згинальний момент від дії сили різання Mзг={0}
Нм.", Mzg);
    writer.WriteLine("3. Приведений момент від дії сили різання Mпр={0}
Нм.", Mpr);
    writer.WriteLine("4. Осьовий момент інерції фрези Iw={0} кубічні мм.",
w);
    writer.WriteLine("5. Напруження в небезпечному перерізі \u03C3={0}
МПа.", sigma);
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("В результаті розрахунку отримає висновко
\u03C3<[\u03C3], тому розрахунок фрези правильний!");
    writer.WriteLine();

    byte[] b = null;
    using (FileStream f = new FileStream(@"D:\Freza_1.jpg",
        FileMode.Open))
    {
        b = new byte[f.Length];
        f.Read(b, 0, b.Length);
        f.Flush();
        f.Close();
    }
    SaveFile.Write(b, 0, b.Length);
}

```



```
        writer.Close();  
        SaveFile.Close();  
        button3.Enabled = true;  
    }  
  
    private void button3_Click(object sender, EventArgs e)  
    {  
        var p = new Process();  
        p.StartInfo = new ProcessStartInfo(@"test.doc")  
        {  
            UseShellExecute = true  
        };  
        p.Start();  
    }  
}
```

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

Програмний код додатку для проектування калібр-скоби

```
using System.Diagnostics;
using System.IO;
using System.Text;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;
using OfficeOpenXml;

namespace Калібр_скоба
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        int kvalitet, rozm;
        double dopusk, skobaX, skobaY, skobaH, dmax, dmin, prmax, prmin, prgr,
nemax, nemin;
        string es, ei;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();

            comboBox1.Items.AddRange(new string[] { "01", "0", "1", "2", "3", "4",
"5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12", "13", "14", "15", "16", "17", "18" });
            comboBox1.Enabled = false;
            textBox2.Enabled = false;
            textBox3.Enabled = false;
            button1.Enabled = false;
            button2.Enabled = false;
            button3.Enabled = false;
        }

        public static double Get(int size, int quality)
        {
            // Шлях до Excel-файлу
            string filePath = @"Book.xlsx";

            // Перевірка наявності файлу
            if (!File.Exists(filePath))
            {
                Console.WriteLine("Файл не знайдено!");
                return 0;
            }

            // Налаштування для ліцензії EPPlus
            ExcelPackage.LicenseContext = LicenseContext.NonCommercial;

            // Відкриття Excel-файлу
            using (var package = new ExcelPackage(new FileInfo(filePath)))
            {
                // Отримання першого аркуша (або іншого за потреби)
                var worksheet = package.Workbook.Worksheets[0]; // Індекс 0 -
перший аркуш

                // Визначення кількості рядків і стовпців
                int rows = worksheet.Dimension.Rows;
                int columns = worksheet.Dimension.Columns;
                int[] d = new int[30];

                for (int row = 3; row <= rows; row++)
                {
                    var dan = worksheet.Cells[row, 1].Text;
                    d[row] = Convert.ToInt32(dan);
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        if (size <= d[row])
        {
            rows = row;
            break;
        }
    }
    Array.Clear(d, 0, d.Length);
    for (int col = 2; col <= columns; col++)
    {
        var dan = worksheet.Cells[2, col].Text;
        d[col] = Convert.ToInt32(dan);
        if (quality == d[col])
        {
            columns = col;
            var a = worksheet.Cells[rows, col].Text;
            return Convert.ToDouble(a);
        }
    }
    return 0;
}

}

public static (double Z, double Y, double H) Get2(int size, int quality)
{
    // Шлях до Excel-файлу
    string filePath = @"Book2.xlsx";

    // Перевірка наявності файлу
    if (!File.Exists(filePath))
    {
        Console.WriteLine("Файл не знайдено!");
        return (0, 0, 0);
    }

    // Налаштування для ліцензії EPPlus
    ExcelPackage.LicenseContext = LicenseContext.NonCommercial;

    // Відкриття Excel-файлу
    using (var package = new ExcelPackage(new FileInfo(filePath)))
    {
        // Отримання першого аркуша (або іншого за потреби)
        var worksheet = package.Workbook.Worksheets[0]; // Індекс 0 -
        перший аркуш

        // Визначення кількості рядків і стовпців
        int rows = worksheet.Dimension.Rows;
        int columns = worksheet.Dimension.Columns;
        int[] d = new int[50];

        for (int row = 3; row <= rows; row++)
        {
            var dan = worksheet.Cells[row, 1].Text;
            d[row] = Convert.ToInt32(dan);

            if (size == d[row])
            {
                rows = row;
                break;
            }
        }
        Array.Clear(d, 0, d.Length);
        for (int col = 2; col <= columns; col++)
        {

```

```

var dan = worksheet.Cells[2, col].Text;

d[col] = Convert.ToInt32(dan);
if (quality <= d[col])
{
    columns = col;
    var a = worksheet.Cells[rows++, col].Text;
    var b = worksheet.Cells[rows++, col].Text;
    var c = worksheet.Cells[rows, col].Text;
    return (Convert.ToDouble(a), Convert.ToDouble(b),
Convert.ToDouble(c));
}
}
return (a, 0, 0);
}

private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox1.Text.Length == 0)

        textBox2.Enabled = false;

    else

        textBox2.Enabled = true;
    rozmir = Convert.ToInt32(textBox1.Text);
}

private void textBox1_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if ((e.KeyChar >= '0') && (e.KeyChar <= '9'))
        return;
    if (Char.IsControl(e.KeyChar))
    {
        if (e.KeyChar == (char)Keys.Enter)
        {
            comboBox1.Focus();
        }
        return;
    }
    e.Handled = true;
}

private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (comboBox1.Items[0] == "Виберіть")
        button1.Enabled = false;
    else
        button1.Enabled = true;

    kvalitet = Convert.ToInt32(comboBox1.Text);
}

private void textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox2.Text.Length == 0)

        textBox3.Enabled = false;
}

```

```

else

    textBox3.Enabled = true;
    es = Convert.ToString(textBox2.Text);
}

private void textBox3_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox1.Text.Length == 0)
        comboBox1.Enabled = false;
    else
        comboBox2.Enabled = true;
    ei = Convert.ToString(textBox3.Text);
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    dmax = rozmir + (Convert.ToInt32(es)*0.001);
    dmin = rozmir + (Convert.ToInt32(ei)*0.001);

    int a = Convert.ToInt32(rozmir);
    int b = Convert.ToInt32(kvalitet);
    dopusk = (Get(a, b))*0.001;

    int c = Convert.ToInt32(kvalitet);
    int d = Convert.ToInt32(rozmir);
    var res = Get2(c, d);
    skobaZ = res.Z;
    skobaY = res.Y;
    skobaH = res.H;

    prmax = dmax - (skobaZ) * 0.001 + (skobaH / 2) * 0.001;
    prmin = Math.Round(dmax - (skobaZ) * 0.001 - (skobaH / 2) * 0.001, 4);
    prgr = dmax + (skobaY) * 0.001;
    nemax = Math.Round(dmin + (skobaH / 2) * 0.001, 4);
    nemin = Math.Round(dmin - (skobaH / 2) * 0.001, 4);

    button2.Enabled = true;
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    FileStream SaveFile = new FileStream(@"test.doc",
    FileMode.OpenOrCreate, FileAccess.ReadWrite, FileShare.ReadWrite);
    var writer = new StreamWriter(SaveFile, Encoding.Unicode);
    writer.WriteLine("Результат проектних розрахунків для калібр-скоби");
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("Граничні відхилення для валів діаметром {0} мм за
ГОСТ 25347-82:", rozmir);
    writer.WriteLine("es = {0} мм;", Convert.ToDouble(es) * 0.001);
    writer.WriteLine("ei = {0} мм;", Convert.ToDouble(ei) * 0.001);
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("Розраховані граничні розміри та допуски для діаметра
{0} мм:", rozmir);
    writer.WriteLine("dmax = {0} мм;", dmax);
    writer.WriteLine("dmin = {0} мм;", dmin);
    writer.WriteLine("Td = {0} мм;", dopusk);
    writer.WriteLine();
    writer.WriteLine("Граничні відхилення та допуск для виготовлення
калібр-скоби за ГОСТ 24853-81:");
    writer.WriteLine("H1 = {0} мм;", (skobaH) * 0.001);
    writer.WriteLine("Y1 = {0} мм;", (skobaY) * 0.001);
}

```

```

writer.WriteLine("Z1 = {0} мм;", (skobaZ) * 0.001);
writer.WriteLine();
writer.WriteLine("Параметри прохідної частини калібр-скоби та границі  
зміщення:");
writer.WriteLine("ПРmax = {0} мм;", prmax);
writer.WriteLine("ПРmin = {0} мм;", prmin);
writer.WriteLine("ПРзн = {0} мм;", prgr);
writer.WriteLine();
writer.WriteLine("Параметри непрохідної частини калібр-скоби:");
writer.WriteLine("HEmax = {0} мм;", nemax);
writer.WriteLine("HEmin = {0} мм;", nemin);
writer.WriteLine();
byte[] b = null;

using (FileStream f = new FileStream(@"D:\Pole.jpg", FileMode.Open))
{
    b = new byte[f.Length];
    f.Read(b, 0, b.Length);
    f.Flush();
    f.Close();
}

SaveFile.Write(b, 0, b.Length);

writer.Close();
SaveFile.Close();

button3.Enabled = true;
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var p = new Process();
    p.StartInfo = new ProcessStartInfo(@"test.doc")
    {
        UseShellExecute = true
    };
    p.Start();
}
}
}

```