

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Механіко-машинобудівний факультет  
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Хмелевського Ігора Ігоровича  
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ  
спеціальності 131 Прикладна механіка  
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг  
машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження методами моделювання у системі ESPRIT  
технологічного процесу механічної обробки деталі «Клапан»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від  
\_\_\_\_\_ за № \_\_\_\_\_

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Дербаба В.А.			
розділів:				
Аналітичний	Дербаба В.А.			
Технологічний	Дербаба В.А.			
Спеціальний	Дербаба В.А.			
Науково- дослідницький	Дербаба В.А.			
Рецензент	Бас К.М.			
Нормоконтролер	Дербаба В.А.			

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

\_\_\_\_\_ (підпис)

В.А. Дербаб

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Хмелевському Ігорю Ігоровичу

академічної групи 131М-22Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження методами моделювання у системі ESPRIT технологічного процесу механічної обробки деталі «Клапан»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ за № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз і характеристики матеріалу, умови експлуатації та оцінка технологічності деталі «Клапан»	06.02.2024-28.02.2024
Технологічний	Проектування та опрацювання детальної технології механічної обробки. Розробка комплекту документації	01.03.2024-31.03.2024
Спеціальний	Використовувані обладнання базування та контролю розмірів деталі на верстаті з ЧПК	01.04.2024-30.04.2024
Науково-дослідницький	Дослідження і розробка методики оптимізованої технології обробки деталі та режимних параметрів на верстаті з ЧПК	01.05.2024-20.05.2024

Завдання видано \_\_\_\_\_

Дербаб В.А.

Дата видачі 15 січня 2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 06.05.24

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

І.І. Хмелевський

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: \_\_\_ с, \_\_\_ рис, \_\_\_ табл., \_\_\_ додаток, \_\_\_ джерела.

Тема: «Дослідження методами моделювання у системі ESPRIT технологічного процесу механічної обробки деталі «Клапан».

Деталь, операція, формоутворення, обладнання з чпк, cad, cam.

Поєднання токарно-фрезерних робіт на верстатах з ЧПК набуло значного поширення в сучасному машинобудуванні. Тому визначення оптимальної технології та траєкторій руху керованих агрегатів має актуальне значення при металообробці. Також актуальною є проблема застосування оптимізованих режимних параметрів при механічній обробці деталі, в спеціалізованих САМ-системах, при складанні технології виготовлення виробу.

Об'єкт дослідження у кваліфікаційній роботі – процеси формоутворення поверхонь у деталі машинобудівного призначення.

Предмет дослідження – стратегії програмного формоутворення поверхонь на обладнанні з ЧПК.

Метою кваліфікаційної роботи є порівняння оптимальних рухів формоутворення при обробці деталі на обладнанні з програмним керуванням при різних траєкторіях інструменту.

Методика досліджень – комп'ютерне моделювання операцій формоутворення на основі САМ-програми.

Результат роботи – експериментальні дані щодо режимних параметрів обробки поверхонь за різними стратегіями формоутворення. Визначена оптимальна стратегія формоутворення за умови врахування закладених при моделюванні початкових даних.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи – визначення оптимальних режимних параметрів при точінні деталі вал на верстаті з ЧПК.

Практична цінність – рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталі на основі програмної оптимізації контрольно-вимірювальних процедур засобами інженерних систем.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ІТЦ Технополіс».

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 Аналітичний розділ</b> .....	8
<b>1.1 Аналіз конструкторської і технологічної характеристика деталі</b> .....	8
<b>1.2 Матеріал деталі та його властивості</b> .....	10
<b>1.3 Підсумок технологічного аналізу конструкції деталі</b> .....	11
<b>1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей</b> .....	11
<b>1.5 Аналіз конструкції деталі</b> .....	13
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	15
<b>2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки</b> .....	15
<b>2.2 Вибір методів обробки поверхонь</b> .....	16
<b>2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі</b> .....	17
<b>2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку</b> .....	18
<b>2.5 Обґрунтування вибраного обладнання</b> .....	19
<b>2.6 Вибір ріжучого інструменту та обґрунтування режимів обробки</b> .....	23
<b>2.7 Нормування витрат часу на обробку</b> .....	25
<b>3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	27
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	34
<b>4.1 Виявлення актуальності проблеми</b> .....	34
<b>4.2 Теоретичний аналіз</b> .....	35
<b>4.3 Розробка програмної частини</b> .....	38
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	45
<b>Перелік посилань</b> .....	47

## Реферат

Пояснювальна записка: 45 с, 17 рис, 11 табл., 5 додаток, 23 джерела.

Точіння та фрезерування деталей типу “Клапан” на верстатах з ЧПК набуло значного поширення в різних галузях машинобудування. Тому визначення оптимальної технології та траєкторії має актуальне значення.

Об’єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі – процеси створення оптимальних режимів різання при обробці з урахуванням розрахунку відхилення профілю повздовжнього перетину Клапану.

Предмет дослідження – стратегії створення розрахункової алгоритмічної моделі для корекції режимів різання з урахуванням розрахунку відхилення профілю повздовжнього перетину Клапану та програмна реалізація.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищити ефективність механічної обробки нежорстких Клапанів, як наслідок зменшення браку на виробництві.

Методика досліджень – програмна реалізація кожного алгоритмічного блоку розрахунків та контролю у програмі NI LabVIEW.

Результат роботи – проаналізовані дані з виготовлення нежорстких Клапанів, до яких відноситься “Шліцьовий Клапан”, показує, що велику роль у точності виготовлення відіграє сила різання  $P_y$ . У зв’язку з цим, як превентивний метод, створюється програма для контролю прогину, причиненою силою різанням  $P_y$ .

Наукова новизна кваліфікаційної роботи – розроблена алгоритмічна модель розрахунку прогину Клапану від сили різання, що дозволяє змінювати режими різання задля одержання потрібної точності діаметральних розмірів.

Практична цінність – зменшення браку нежорстких Клапанів на виробництві за рахунок створення програми з автоматичною корекцією швидкості різання, враховуючи прогин Клапану, що рекомендовано застосовувати для нежорстких Клапанів, які оброблюються без люнета. У кваліфікаційній роботі проведено аналіз, обґрунтовано вимоги до точності розмірів, форми, взаємного розташування і шорсткості її поверхонь.

Запропоновано метод одержання заготовки, розроблені детальні технологічні операції. Здійснено вибір металорізального верстату і мірильний пристрій.

У технологічному розділі запропонована технологія, яка має інноваційну структуру технологічної системи. За допомогою сучасної САМ-програми FeatureCAM виконано комп'ютерне моделювання обробки деталі “Шліцьовий Клапан” на сучасному токарно-фрезерному верстаті з ЧПК.

У науково-дослідному розділі проаналізовано головний чинник виникнення похибки при різанні Клапанів, що значною мірою залежить від сили різання  $P_y$ . За допомогою графічної мови програмування “G”, яка використовується в NI LabVIEW, запропоновано нове інноваційне рішення та створено базовий алгоритм, це програмне рішення для корекції режимів різання при точінні з урахуванням прогину деталі, яке має залежність від сили різання  $P_y$ .

Ключові слова: технологія, САМ, програма, операція, точіння, фрезерування, верстат з ЧПК, сила різання, NI LabVIEW, FeatureCAM, Клапан, шліці, моделювання.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ».

## ВСТУП

Продукція машинобудівної галузі складається з багатьох деталей і агрегатів. Виготовити їх на одному заводі неможливо, простіше і дешевше випускати окремі деталі на різних підприємствах, тому машинобудівні заводи мають переважно вузьку спеціалізацію (подетальну і предметну). Для випуску готової продукції підприємства встановлюють між собою коопераційні зв'язки (поставки деталей, комплектуючих матеріалів, сировини). Такими зв'язками може бути охоплено десятки, а іноді й сотні підприємств.

Технологічні процеси на підприємствах машинобудування подібні, незважаючи на різну продукцію, яку вони випускають. Кожен великий завод має чотири основні цехи: ливарний, механічний та складальний. У першому з металу відливають різні деталі, у другому – деталі штампують або кують із прокату чи злитків, у третьому – їх обробляють, а в четвертому – складають готові вироби.

Підприємства машинобудівної галузі мають відмінні від інших галузей особливості розміщення. Вони майже не залежать від природних умов і ресурсів, їх продукція має широке коло споживачів. Внаслідок цього машинобудування розвинуте в усіх регіонах країни, відмінності полягають у різному рівні розвитку та наборі галузей, їх значенні на різних територіях. В одних регіонах вони є галузями спеціалізації, в інших – задовольняють потреби тільки даного регіону.

Один із важливих принципів розміщення машинобудівних підприємств – орієнтація на сировину. Основна сировина для підприємств галузі – метал, а також конструкційні матеріали, які виробляють легка, хімічна, деревообробна промисловість. Машинобудівні підприємства споживають 1/3 прокату, майже 2/3 сталюого литва, 40 % чавуну, що виробляється в країні. Підприємства, які потребують великої кількості металу, відносять до металомістких. Металомісткі виробництва здебільшого розміщені в районах металургійної промисловості.

Більшість галузей машинобудівного комплексу належить до трудомістких, тобто таких, які потребують відносно небагато сировини, але значних затрат праці на виготовлення продукції. Орієнтація на трудові ресурси – другий принцип розміщення.

В усіх галузях машинобудування зростає значення науково-дослідних та дослідницько-конструкторських робіт. Наукомісткість – визначальна риса багатьох сучасних машинобудівних виробництв. Такі виробництва тяжіють до найбільших міст і агломерацій, де сконцентрована наукова база країни.

На розміщення підприємств, які випускають важкотранспортабельну продукцію, також значно впливає споживач, а принципом розміщення складальних підприємств, що мають розгалужені коопераційні зв'язки з іншими центрами, є вигідність економіко-географічного (особливо транспортного) положення.

На сучасному етапі розвитку економіки України, найважливішими завданнями промислового комплексу є більш повне задоволення потреб народного господарства в засобах виробництва, а населення – в товарах повсякденного попиту, подальша інтенсифікація виробництва, підвищення якості продукції на основі впровадження у виробництво останніх досягнень науково-технічного прогресу, високих технологій, безвідходних і низько енергоємних технологічних процесів.

Першочергове значення має швидке оновлення виробничого апарату шляхом впровадження техніки, найбільш прогресивних технологій і гнучких виробництв, які дозволяють оперативно перебудовуватися на випуск нової продукції і дадуть найбільший економічний ефект. У матеріалізації новітніх досягнень науки і техніки. Кабінет Міністрів України ключову роль відводить машинобудуванню, яке покликане випустити, системи та комплекси машин, обладнання та приладів вищого технологічного рівня, що забезпечують істотні зміни в технології та організації виробництва, значне підвищення продуктивності праці, зниження матеріаломісткості та енергоємності, поліпшення якості продукції, що випускається, збільшення фондівіддачі, В

даний час пріоритетний розвиток отримують верстатобудування, електротехнічна промисловість, мікроелектроніка, обчислювальна техніка та приладобудування – каталізатори науково-технічного прогресу. Машинобудування є серцевиною індустрії, тому в основних планових документах намічено випереджальний розвиток машинобудування і металообробки. На наступні роки намічено значне поліпшення структури парку металообробного обладнання в машинобудуванні за рахунок скорочення випуску універсальних верстатів і збільшення випуску високопродуктивних верстатів як агрегатних, так і спеціальних, автоматичних ліній, верстатів з числовим програмним управлінням, роботизованих комплексів, що дозволить забезпечити першочергове переоснащення новим обладнанням машинобудівні підприємства.

Об'єкт дослідження (розробки) у роботі – процеси створення оптимальних режимів різання при обробці з урахуванням розрахунку відхилення профілю повздовжнього перетину Клапану.

Предмет дослідження – стратегії створення розрахункової алгоритмічної моделі для корекції режимів різання з урахуванням розрахунку відхилення профілю повздовжнього перетину Клапану та програмна реалізація.

Метою роботи є підвищити ефективність механічної обробки нежорстких Клапанів, як наслідок зменшення браку на виробництві.

Методика досліджень – програмна реалізація кожного алгоритмічного блоку розрахунків та контролю у програмі NI LabVIEW.

Результат роботи – проаналізовані дані з виготовлення нежорстких Клапанів, до яких відноситься “Шліцьовий Клапан”, показує, що велику роль у точності виготовлення відіграє сила різання  $P_y$ . У зв'язку з цим, як превентивний метод, створюється програма для контролю прогину причиненою силою різанням  $P_y$ .

Наукова новизна випускної роботи – розроблена алгоритмічна модель розрахунку прогину Клапану від сили різання, що дозволяє змінювати режими різання задля одержання потрібної точності діаметральних розмірів.

Практична цінність – зменшення браку нежорстких Клапанів на виробництві за рахунок створення програми з автоматичною корекцією швидкості різання, враховуючи прогин Клапану, що рекомендовано застосовувати для нежорстких Клапанів, які оброблюються без лонета.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ».

## 1 Аналітичний розділ

### 1.1 Аналіз конструкторської і технологічної характеристика деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Жорсткість конструкції Клапану визначається геометричною формою (відношенням довжини Клапану до діаметру); збільшення жорсткості Клапану за рахунок зменшення довжини не завжди можливо.

Найбільш технологічним є Клапани зі зростаючими діаметральними розмірами (або такими, що зменшуються) ступенів зі стандартними розмірами. Ділянки Клапану, що мають один і той же номінальний діаметр, але різні посадки, повинні бути розділені канавками, чітко поділяючи оброблювані поверхні від необроблюваних, при цьому бажано, щоб оброблювані ділянки Клапану мали рівні або кратні довжини, а перепади ступенів Клапану були б невеликі.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Клапану є торцеві поверхні центрові отвори, від точності виконання яких залежить і точність виконання подальших операцій.

Основним технологічним завданням, розв'язуваним в процесі механічної обробки східчастих Клапанів, є забезпечення розташування осей всіх оброблюваних ступенів Клапану на одній геометричній лінії в цілях зменшення радіального биття.

Об'єктом виробництва в кваліфікаційній роботі є деталь "Клапан ведений проміжної опори", який використовується в автомобілі "КрАЗ".

"Шліцьовий Клапан" розміщується у задньому картері на двох підшипниках, встановлених на діаметрах 60IS6. Заготівка Клапану – гарячекатаний прокат. Матеріал Клапану – легована сталь марки 40X за ДСТУ 1050-74. Термообробка Клапану – поліпшення до твердості 241...286НВ. З одного боку Клапану нарізана різьба М39×2 зі шпонковим

пазом для стопоріння гайки кріплення фланця карданного Клапану. Фланець установлений на шліцах і призначений для передачі крутного моменту на задній міст автомобіля. У середній частині Клапану, на діаметрі 70r6 зі шпонковим пазом запресована шестерня приводу заднього моста. Габаритні розміри деталі такі: Ø90 мм, довжина 281 мм, маса 6,3 кг. Основною конструкторською базою деталі є вісь центрів, так як биття всіх основних поверхонь задано щодо осі центрів. Тому при розробці технологічного процесу за базу приймаємо вісь центрів, поєднуючи конструкторську і технологічну базу.

## **1.2 Матеріал деталі та його властивості**

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

отримання заготовки; кресленик містить всі необхідні відомості про матеріал деталі, термічну обробку, масу деталі; деталь не має яких-небудь важкодоступних поверхонь, всі поверхні доступні для обробки і ремонту; на багатьох операціях можливе застосування універсального обладнання, а також універсального інструменту, так як навіть з його допомогою можна досягти заданих конструктором параметрів; можливий вільний доступ інструменту до оброблюваних поверхонь; на кресленику проставлені всі необхідні вимоги для виготовлення Клапану. Все вище перераховане дозволяє зробити висновок, що деталь є досить технологічною.

#### **1.4 Визначення виробничої програми випуску деталей**

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

(найбільш точний критерій, але визначити його можна тільки за умови сталого виробництва за місячний календарний період). У курсовій роботі цей критерій не розраховується, і апіорі приймається серійний тип виробництва.

Основним показником, який характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, яка запускається періодично (серіями випускається виріб, який складається з певних деталей). Величина партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (2)$$

де  $a$  – періодичність запуску деталей у виробництво, днів. Можливі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

деталі співпадають з конструкторськими і вимірювальними базами. Конструкція деталі цілком жорстка (відношення довжини деталі до діаметру

$$L/D = 281/90 = 3,1,$$

це менше 12), що забезпечує безпечне встановлення, закріплення та базування деталі на всіх операціях механічної обробки.

Самий вищий клас точності розмірів деталі 6-й, отже за точністю деталей також технологічна.

Виготовлення деталі не вимагає доводочних операцій, отже за шорсткістю деталей технологічна. Оброблення поверхні з точки зору точності і

чистоти не уявляють значних технологічних труднощів. В основному деталь досить технологічна.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

тому обираю найближче значення діаметр 72 мм, а щоб мінімізувати похибку базування поверхня буде оброблятися на першому установі.

Довжина заготовки з прокату визначається із загальної довжини деталі. Загальна довжина деталі становить 281 мм, додаємо по 3,5 мм на кожну із сторін. Таким чином враховується похибки на відрізання заготовки, а також припуск на подальшу обробку торців.

Отже, обраний прокат з підвищеною точністю Б і діаметром 92 мм. Виходячи, що на деталі максимальний діаметр 90 мм, призначаються за

ДСТУ 2590–88 відхилення на розмір  $\varnothing 92^{+0,5}_{-1,3}$  мм.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Вид операційних, розмір, мм	ККлапанітет	Ra, мкм	Метод обробки поверхонь
Зовнішній $\varnothing 70^{+0,062}_{+0,043}$ , $\varnothing 60 \pm 0,0095$	6	0,8	Точіння чорнове Точіння чистове Тонке точіння
Зовнішні $\varnothing 70^{-0,10}_{-0,29}$ ,	11	12,5	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішні $\varnothing 90_{-0,87}$	14	12,5	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішній $105_{-0,35}$	7	12,5	Точіння чотрнове Тчіння чистове
Зовнішній $10_{-0,36}$ ,	14	6,3	Точіння чорнове

Вид операційних, розмір, мм	ККлапанітет	Ra, мкм	Метод обробки поверхонь
<b>26<sub>-0.52</sub>, 31<sub>-0.62</sub></b>			Точіння чистове
Зовнішній M39×2-6g	6	12,5	Точіння чорнове Точіння чистове Різблення
Паз <b>72<sup>+0,5</sup></b>	7	12,5	Фрезерування
2 паза <b>4<sup>+1,2</sup></b>	-	12,5	Фрезерування однократне
Шлици <b>67<sup>1,5</sup></b>		12,5	Фрезерування
Зовнішній $\varnothing$ <b>59, 3<sub>-0,03</sub><sup>-0,06</sup></b>	7	12,5	Точіння чорнове Точіння чистове

### 2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Для обробки шпонкових пазів передбачаємо дві операції, на яких

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

#### **2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку**

Припуски на механічну обробку значною мірою впливають на технологічну собівартість виготовлення деталі. Видалення надмірного припуску пов'язано зі збільшенням машинного часу при чорновій обробці, як у разі виконання додаткових обдирних проходів, так і за рахунок зниження режимів у випадку значної глибини різання. При цьому підвищується витрата різального інструменту й загальні витрати на експлуатацію робочого місця.

В даному розділі розглядається розрахунок міжопераційних припусків

для діаметрального розміру  $\varnothing 70^{+0,062}_{+0,043}$  мм. На даний розмір призначається 3 операції: токарна чорнова, токарна чистова та тонке точіння. Загалом на токарну чорнову операцію залишається 18,634 мм припуску тому розбивається на 5 проходів. Тоді в МОП чорнова операція буде показана величина припуску 3,7268 мм. Розрахунок припусків наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок припусків до зовнішньої поверхні  $\varnothing 70^{+0,062}_{+0,043}$

Стадії	Припус,	Розрахун-	Допуск,	Розмір, мм	Припуск, мм
--------	---------	-----------	---------	------------	-------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

контроль оброблених поверхонь виконується щупом RENISAW.

Операція 05 Програмна.

Установ 1.

Заготовка базується в 3-х кулачковому патроні з піджимом центру. На цій операції оброблюється з однієї сторони нарізанням різьби M39×2-6g, обробка шліців, фрезерування двох пазів з торцю, точіння включно з  $\varnothing 90$ .

Установ 2.

Заготовка базується в 3-х кулачковому патроні з піджимом центру. На цій операції оброблюється посадочне місце  $\varnothing 60 \pm 0,0095$  та торець з фаскою.

Операція 10 Програмна.

Не знімаючи деталь з верстату, після обробки, виконується контроль оброблених поверхонь.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Привод осі С <sub>1</sub>			
Мін. програмований інкремент		°	0,0001
Макс. крутний момент S3-40% / Момент тормоза		Нм	1 792 / 3 000
Макс. обороти шпинделя		об/хв	30
Інструментальний шпиндель S <sub>3</sub>			
Основний шпиндель (Kessler)	Затискний конус інструменту		HSK-T 63 (HSK-T 100, Capto C6, Capto C8)
	Потужність шпинделя S1 / S6-40%	кВт	25 / 30
	Крутний момент шпинделя S1 / S6-40%	Нм	119 / 143
	Макс. обороти шпинделя	об/хв	12 000
Універсальний шпиндель (Diplomatic)	Затискний конус інструменту		HSK-T 100, Capto C8
	Потужність шпинделя S1 / S6-40%	кВт	37 / 47

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Z <sub>1</sub> , S1 / S3-40%	кН	14,5 / 20,5
Точність повторної установки згідно ČSN ISO 230-2		
X <sub>1</sub> , пряме відмірювання	мм	0,006
Y <sub>1</sub> , пряме відмірювання	мм	0,006
Z <sub>1</sub> , пряме відмірювання	мм	0,008
C <sub>1</sub> , лівий шпindelь	°	0,005
Магазин інструмента		
Макс. ø інструмента в кожному осередку / через 1	мм	90 / 175 (HSK-T 63, Capto C6)
Макс. ø інструмента в кожному осередку / через 1	мм	130 / 200 (HSK-T 100, Capto C8)
Макс. довжина інструмента	мм	500
Макс. вага інструмента	кг	12
Время зміна інструмента (інструмент - інструмент)	с	3
Кількість інструментів HSK-T 63, Capto C6	шт.	66 (120, 180 - опція)

Опис характеристики	Вимір	Значення
Кількість інструментів HSK-T 100, Capto C8	шт.	44 (80, 120 - опція)
Точність повторної установки згідно ČSN ISO 230-2		
X <sub>2</sub> , пряме відмірювання	мм	0,006
Z <sub>2</sub> , пряме відмірювання (опція)	мм	0,008
Люнет без висування (*)		
Тип люнета		К 6 (135-460) К 6.1 (215-510)
Обмеження оборотного ø	мм	460 / 510
Люнети с висуванням (*)		
Тип люнета		SR 5 (45-310) SR 5.1 (85-350) К 5.1 (100-410)
Обмеження оборотного ø	мм	630
Максимальна кількість люнетів на станке	шт.	3
Спеціальний магазин інструмента для глибокого свердління		
Кількість позицій	шт.	1 – 3
Макс. довжина інструмента включно с зажимом	мм	1 500
Макс. ø інструмента	мм	125
Задня бабка		
Конус		Мо 6
Хід пінолі / діаметр пінолі	мм	180 / 190
Діапазон притискного зусилля	кН	2,5 – 25
Розміри верстату		
Довжина верстата, включаючи транспортер стружки / без транспортера стружки / для транспорту	мм	6 630 / 7 900 / 6 630
Вага верстата	кг	24 000 - 29 500
Кількість одночасно керованих осей при обробці		5
Система управління		SINUMERIK 840 D sl.

## 2.6 Вибір ріжучого інструменту та обґрунтування режимів обробки

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Вид обробки	$L$ , мм	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$n_3$ , об/хв.	$V$ , м/хв.	$T_{\text{маш}}$ , хв.
Чорнове точіння	281	3,7	0,2	630	247	3,58
Чистове точіння	281	1,2	0,2	500	150	4,18
Фрезерування пазу	72	7	0,05	400	18	2,37
Фрезерування двох пазів	4	4	0,1	300	18	1,21
Нарізь	67	7,7	1,5	120	25	3,12

Загальний час на обробку деталі на операції 05 складає:

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (3)$$

$$T_o=3,58+4,18+2,37+1,21+3,12=14,46\text{хв.}$$

## 2.7 Нормування витрат часу на обробку

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

де  $T_y$  – час на установку, зняття і поворот в пристосуванні заготовки, дорівнює 1,91 хв, тобто 1,55 хв. (установка і зняття деталі), 0,12 хв. (очищення від стружки щіткою), 0,24 хв. (закріплення деталі). Данні взяті з довідника;

$T_c$  – час на прохід, який дорівнює 0,74 хв, тобто 0,14 хв. (установка інструменту і 0,6 хв. (зняття пробної стружки);

$T_{\text{вимір}}$  – час на вимірювання, який дорівнює 0,47хв. Тоді

$$a_{\text{обс}} = (T_o + T_b)5\% = (14,46 + 3,12)5\% = 0,88 \text{ хв};$$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Таблиця 2.7 – норми витрат часу на обробку

	Структурні складові норми часу	Час, хв
$T_o$	Час на виконання операції	14,46
$T_B$	Допоміжне час на установку і зняття деталі	1,91
	Закріплення деталі	0,24
	Допоміжний час на очистку від стружки заготовки	0,14
	Час на прохід	0,74
	Час на вимірювання	0,47
$T_{пз}$	Підготовчо-заключний час	37
$a_{обс}$	Час на обслуговування робочого місця, 5% від $(T_o + T_B)$	0,88
$a_{олп}$	Час на відпочинок і особисті потреби, 4% від $(T_o + T_B)$	0,7
$T_{шт}$	Штучний час	17,85
$T_{шк-к}$	Штучно-калькуляційний час	19,7

### 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Розробимо принципову схему вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК.

Після механічної обробки на верстаті завжди потрібно контролювати розміри відповідно до технічного завдання. Вручну контролювати розміри завжди призводить як до людського фактору похибки виміру так і велику кількість витраченого часу. Тому для більшої автоматизації весь контроль розмірів буде проводитися на верстаті з ЧПК.

Контактний датчик міжнародної компанії Renishaw, яка поглиблено

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

ризик пов'язані з людським фактором при вимірюванні. Система радіозонда Renishaw RMP600 може сприяти наступним заходам для вдосконаленого управління виробництвом, що призводить до збільшення продуктивності

рисунок 5. Поділяються на певні етапи, такі як:

- фундаментальний аналіз процесу;
- налаштування процесу;
- контроль процесу;
- моніторинг після процесу.

До першого відносять використовується разом із програмним забезпеченням Renishaw, AxiSet™ Check-Up, що забезпечує швидкі, точні та надійні дані про ефективність завдяки комплексним, але й простим звітам. В

цілому дає можливість швидко орієнтуватися в самій роботі та як наслідок усуває помилки машини, зменшує кількість незапланованих зупинок.

До “налаштування процесу” відносять можливість зміни щупу на різні довжини без суттєвого зниження ефективності датчика, що таким чином зменшує час на налаштування. Все це виключає дорогі пристосування та помилки ручного налаштування, підвищує швидкість впровадження нових процесів та реагування на нові потреби споживачів. Та найголовніше, покращується якість та зменшується брак.

Субмікронна продуктивність RMP600 3D дозволяє зондування складної геометрії. Адаптивна обробка може бути легко інтегрована, якщо вона використовується разом із Renishaw’s Productivity + <sup>TM</sup>. Включає покращення можливостей процесу та відстеження, компенсує екологічні та машинні умови, скорочує невиробничий час та брак, а отже збільшує продуктивність та прибуток включає третю частину.

Моніторинг після процесу передбачає перевірку відповідності компонента до вилучення з машини. RMP600, який використовується разом із програмним забезпеченням OMV для перевірки машин Renishaw, забезпечує надійну перевірку за моделлю САПР, що означає меншу перевірку поза машиною, отже менше налаштування та переробки. Дає можливість скоротити час і витрати на перевірку поза машиною, швидше простежувати звітування про відповідність деталей специфікації та в цілому підвищує впевненості у виробничому процесі.

Основні технічні характеристики та призначення щупа Renishaw RMP600 зведені в таблицю 3.1.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Таблиця 3.1 Основний опис призначення компанії КМД 800

Значення	Опис
Основне призначення	Вимірювання розмірів деталей і настройка на технологічні операції на багатоцільових верстатах і обробних центрах, включаючи порталні.
Спосіб передачі сигналу	Радіопередача за методом частотних стрибків (FHSS) в діапазоні частот від 2400 МГц до 2483,5 МГц
Сумісні інтерфейси	RMI і RMI-Q
Робочий діапазон	До 15 м
Рекомендовані щупи	З вуглецевого волокна з високим значенням модуля Юнга, довжиною від 50 мм до 200 мм
Вага без хвостовика (з батарейками)	1010 г

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Зусилля щупа при перебігу	площина XY (Типове мінімальне значення) – 2,80 Н, 286 гс (див. прим. 3) в напрямку + Z (Типове мінімальне значення) – 9,80 Н, 999 гс (див. прим. 4)
Мінімальна швидкість вимірювання	3 мм / хв з автоскиданням
Клас захисту	IPX8 (EN / IEC 60529)
Робоча температура	від +5 ° C до +50 ° C

Примітка 1. Перевірка експлуатаційних характеристик виконується при стандартній швидкості 240 мм / хв. Залежно від вимог конкретного завдання може вибиратися більш висока швидкість.

Примітка 2. Зусилля спрацювання – це зусилля, чиниться щупом на вимірюваний об'єкт в момент спрацювання датчика. У деяких випадках

величина цього зусилля є критичним фактором. Максимальне зусилля досягається після моменту спрацьовування, тобто при перебіганні. Значення зусилля залежить від відповідних змінних факторів, включаючи швидкість вимірювання та величину уповільнення переміщення на верстаті. Датчики з технологією RENGAGE™ працюють при надмалих зусиллях спрацьовування.

Примітка 3. Зусилля при перебігаючи щупа в площині XY виникає на відстані 80 мкм від точки спрацьовування і збільшується на 0,35 Н / мм (36 гс / мм) до тих пір, поки не відбудеться зупинка верстата (в напрямку з великим зусиллям спрацьовування і при використанні щупа з вуглецевого волокна).

Примітка 4. Зусилля при перебігаючи щупа в напрямку + Z виникає на

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

розроблений з метою зведення до мінімуму робочого ходу і підвищення точності датчика, розпізнаються по гладкій обробці поверхні графіту.

Щуп підвищеної міцності з вуглецевого волокна показаний на рисунку 7 та зведені розміри в таблиці 3.2 нижче, забезпечує оптимальні робочі характеристики тензодатчика RMP600.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Вага, г	4,1
---------	-----

## **4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ**

Розробимо алгоритмічну модель розрахунку відхилення профілю повздовжнього перетину Клапану та її програмна реалізація у NI LabVIEW.

### **4.1 Виявлення актуальності проблеми**

Серед завдань забезпечення ефективності роботи токарних верстатів з ЧПК одним із важливих завдань є забезпечення точності обробки. При цьому забезпечення точності обробки деталей типу «Клапан» знаходиться в ряду найважливіших. На етапі проектування технологічного процесу цього виду деталей, вимоги по точності форми виступають в якості основного обмеження

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

зазначені факти негативно впливають на ефективність процесу токарної обробки, спонукаючи технолога або верстатника до пошуку прийнятних умов обробки методом проб і помилок. Використання для забезпечення точності токарної обробки на верстатах з ЧПК адаптивних систем або пристроїв вимірювання радіальної складової сили різання є проблематичним через складність вбудовування їх в верстатну систему.

Перспективним напрямком у вирішенні комплексу питань щодо забезпечення точності токарної обробки нежорстких деталей є вдосконалення моделей розрахунку складових сили різання і побудова на їх основі чітко структурованих алгоритмів розрахунку стріли прогину нежорстких деталей. За допомогою цих даних в подальшому розраховувати швидкості різання та подачі для кожної поверхні таким чином, щоб ці похибки залишалися в допуску деталі на розміри.

Таким чином розробка адекватних математичних моделей і автоматизований розрахунок параметрів процесу різання, що забезпечують точність обробки нежорстких Клапанів, дозволить використовувати приховані резерви підвищення продуктивності металообробки на верстатах з ЧПК і є актуальним завданням.

## **4.2 Теоретичний аналіз**

Розрахунок токарного оброблення і обґрунтована можливість регулювання точності токарної обробки не жорстких Клапанів за рахунок зміни величини подачі з урахуванням оперативної інформації про фізико-механічних і технологічних властивостях контактної пари. Точність обробки на токарних верстатах і способи її підвищення, на сьогоднішній момент є одним з найбільш актуальних питань в технології машинобудування і теорії різання. Верстатне обладнання, оснащене системами ЧПУ на базі персональних комп'ютерів, має високу дискретністю переміщень, функціями коригування траєкторій руху різця, обліку зносу ріжучої кромки і т. д. Однак,

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

$$y_c = \frac{P_y}{12 \cdot E \cdot I} \cdot \left( \frac{x_p^2 \cdot (L_{\text{заг.}} - x_p)^3 \cdot (3 \cdot L_{\text{заг.}} - x_p)}{L_{\text{заг.}}} \right) \quad (8)$$

де  $L_{\text{заг.}}$  – довжина деталі, яка виступає з патрона, мм;

$x_p$  – відстань від правого торця до місця прикладання сили, мм;

$E$  – модуль нормальної пружності, кг / мм<sup>2</sup>;

$I$  – момент інерції перерізу заготовки в місці прогину в мм<sup>4</sup>.

Обробка деталей на токарних верстатах повинна виконуватися в умовах максимальної фіксації. Прогин  $U_c$  не повинен перевищувати допустимої

величини прогину  $[Y]$ , яка в свою чергу залежить від встановленого рівня відносної геометричної точності:

$$U_c < [Y]$$

Таким чином визначившись з розрахунком і контролю умов можливе створення алгоритму (рис. 8) за яким буде відбуватися контроль та корекція вхідних даних для досягнення заданої точності. Враховуючи висше згадане розуміємо що сила різання  $P_y$  дає одну із головних похибок при точінні Клапанів і контроль сили  $P_y$  дасть можливість контролю похибки за рахунок корекції подачі  $S$  або за рахунок швидкості різання  $V$  корегуючи оберти

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

### 4.3 Розробка програмної частини

На даному етапі потрібно обрати програмне середовище яке буде задовольняти такі потреби як: простота програмування, взаємосумісність, інтерактивність. Розглядаючи програму LabVIEW яка використовується інженерами для моделювання віртуальних приборів, а саме середовище розробки і платформа для виконання програм, створена на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments (США). В основному програма використовується в системах збору та обробки даних, а також для управління технічними об'єктами і технологічними процесами тому повністю задовольняє дані потреби.

Починаємо з першого блоку і створюємо в вікні Block Diagram схему розрахунку сили  $P_y$ . В розрахунку сили використовується швидкість різання  $V$  для якої діаметр і кількість обертів являється вхідними даними. Тому для формули 9 робимо окремо підпрограму рис. 9 яку називають віртуальним прибором (VI).

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \quad (9)$$

де  $D$  – діаметр заготовки по оброблюваній поверхні (при токарній обробці), мм;

$n$  – частота обертання заготовки або інструменту, об / хв;

1000 – коефіцієнт переведення міліметрів в метри;

$\pi$  – константа.

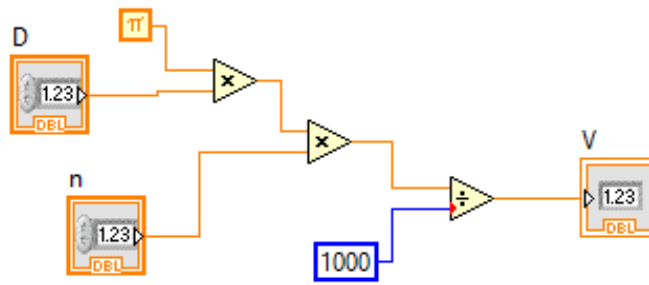


Рисунок 9 – Підпрограма для розрахунку  $V$  у вікні Block Diagram

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

*a*



*b*



Рисунок 10 – Схема розрахунку сили  $P_y$  у вікні Block Diagram: *a* – блок-схема розрахунку сили  $P_y$ ; *b* – використання підпрограми для розрахунку  $V$

Переходячи до другого блоку аналізуємо що для розрахунку прогину потрібне значення моменту інерції перерізу заготовки в місці прогину  $J$  яке знаходиться за формулою 10. Тому одразу робимо VI для розрахунку моменту інерції рис. 11 та окремо робимо для розрахунку прогину. Підставляємо VI для моменту інерції та поміщаємо в кадр “Flat Sequence” рис. 12.

$$I_z = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (10)$$

де  $D$  – діаметр перерізу заготовки, мм.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

розрахунку прогину;  $b$  – програмний блок з урахуванням прогину

В третьому блоці буде відбуватися логічна маніпуляція подачею. Тому доцільно описати що буде відбуватися з подачею і при яких умовах. По перше, обираємо крок збільшення або зменшення подачі він буде прийнятий як 0,01мм/об.

Далі визначаємося з умовою яка буде корегувати подачу. Головна мета це витримати розмір який не буде виходити за межі допуску це може бути також вимога до геометрії виробу, наприклад циліндричності або радіальному биттю і т. д. Ці дані завжди нам відомі виходячи з кресленика. Порівнювати будемо з щойно отриманим розрахунковим значення прогину. Програмно є можливість по різному записати дотримання цих умов. Один з яких, якщо умова  $u_c > u$  є дійсною то подача зменшується на один крок, а якщо умова не дійсна то подача залишається без змін.

Проаналізувавши умову розуміємо, що в даній схемі корекції є схильність тільки на зменшення подачі. В такому випадку, якщо припустимо буде розрахунковий прогин менший в два а то й в три рази то подача залишиться незмінною, але й час на виготовлення деталі відповідно збільшиться. Тому добавимо ще одну умову. Якщо умова  $u_c < u$  40 % дійсна, то подача збільшується на 0,01 мм/об, якщо не дійсна то подача залишається незмінною.

Отже визначившись з умовами переходимо до логічної частини програми. В LabVIEW є звичайне порівняння умови після чого ми отримуємо булеве значення 0 або 1. Тепер щоб вибрати відповідну дію виходячи з результату скористаємося оператором “Select” і розставимо все в відповідності до умов поведінки зробивши окремо VI для розрахунку та підставивши в кадр “Flat Sequence” рис. 13.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

На цьому можна завершити розробку програмної частини. Подальші маніпуляції можуть нести такі зміни як врахування всіх чинників на похибку, оптимізацію по часу виготовлення і т. д. Але дана програма виконується тільки 3 дії зменшує, збільшує або залишає подачу незмінною після чого вимикається. Тобто не маючий циклічності не зможе повторно відреагувати на щойно змінені вхідні дані. Тому робимо окремо кадр в якому будуть постійні та змінні данні. До змінних даних включимо силу різання  $P_y$  яку ми отримали з датчика та подачу  $S$ . Помістимо це все в цикл “While Loop” в якому розмістимо VI для розрахунку прогину під’їдавши всі вхідні дані з попередніх кадрів та фактичну силу різання  $P_y$ .



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

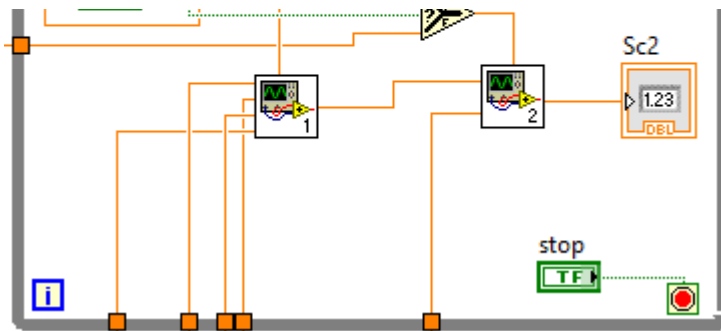


Рисунок 15 – Схема циклічного розрахунку та корекції у вікні Block Diagram

Перевіряємо роботу програми. Переходимо до вікна “Front Panel” заповнюємо всі поля вхідних даних та запускаємо програму рис. 16.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



Рис 17 – Вікно “Front Panel” програма в роботі

Бачимо, що при сили різання 0 та подачі 0 діє нова скоректована подача яка піднялася рівно на 0,01 мм/об. Робимо висновок що програма працює логічно та коректно.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В сучасній ринковій економіці є певне співвідношення між масовим та одиничним виробництвом, але найчастіше зустрічається серійне та дрібносерійне виробництво деталей типу “Клапан”. На кожному підприємстві завжди виникає потреба в одиничному виробництві і в цілому розглянуто сучасну тенденцію розвитку машинобудівної галузі. Проаналізовано конструкцію деталі “Шліцьовий Клапан” її призначення, властивості матеріалу, вимоги до поверхонь та визначено річну програму виробництва.

У кваліфікаційній роботі розроблено прогресивну технологію обробки деталі “Шліцьовий Клапан” в умовах серійного виробництва. Розглянуто інноваційні технології зі створення режимів різання, методи утворення поверхонь та симуляція обробки в програмах CAD/CAM систем. Комбіновані операції формоутворень поверхонь деталі досліджені на сучасних верстатах з ЧПК, як нові прогресивні технології.

Докладно описано конструкторські та технологічні особливості. Зроблена оцінка технологічності конструкції деталі. Проаналізовано обраний метод отримання заготовки. На підставі розрахунку запропоновані технологічні маршрути обробки деталі. Зроблені розрахунки режимів різання, з використанням норм часу. У проекті виконано підбір прогресивного ріжучого інструменту, спеціального пристрою, а також обґрунтовано вибір ріжучого інструменту, вимірювального пристрою та верстату.

Запропонована технологія має інноваційну структуру технологічної системи бо використання одного сучасного токарно-фрезерного верстата з ЧПК замінює роботу трьох верстатів універсальних: токарного, фрезерного та шліфувального. Все це спричинено досить високою жорсткістю та точністю сучасних верстатів з ЧПК, які прямо впливають на точність та шорсткість виготовленої деталі. Це дозволяє досягти заданої точності та шорсткості поверхні деталі при тонкому точінні замість використання шліфувального верстату. Окрім того, допоміжна фрезерна головка дає

можливість обробки поверхонь пазів та шліців, що виключає використання фрезерного верстату. Технологічна система з ЧПК зменшує ризики пов'язані з людським фактором та зменшує в цілому брак на виробництві.

В науково-дослідному розділі проведений аналіз головних чинників впливу на виникнення похибки при виготовленні типових нежорстких деталей типу “Клапан” на сучасних верстатах з ЧПК. При повному аналізі, визначившись з головним чинником похибки на циліндричність яка залежить від сили різання  $P_y$ . Було запропоновано нове інноваційне рішення та створено базовий алгоритм автоматичної корекції режимів різання методом контролю прогину, на кожній ділянці відрізка по всій довжині деталі, витримуючи технічні вимоги. Вся алгоритмічна модель була програмно реалізована за допомогою графічної мови програмування “G” у програмі NI LabVIEW. Дане програмне рішення являється превентивним засобом для зменшення браку на виробництві.

Висновки.

1) У науково-дослідницькому розділі кваліфікаційної роботи створено прототип програми, яка здатна врахувати вразливість технологічної системи СПІД при точінні “нежорстких Клапанів”.

2) Створена програма для автоматичної корекції режимів різання з урахуванням прогину Клапану під дією сили різання на верстатах з ЧПК.

3) Результат тестування показав коректне змінення значення подачі  $S$ , відповідно до прогину Клапану від сили різання  $P_y$ . Це означає, що програма працює відповідно до наперед визначеного сценарію.

## Перелік посилань

1. Дербаба В.А. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes/  
В.А. Дербаба, В.В. Зіль, С.Т. Пацера // Scientific Bulletin of National Mining University. Scientific and technical journal. – Дніпропетровськ. – 2014. – № 5(143). – С. 45–50 (Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних SciVerseSCOPUS).
2. Алгоритм імітаційно-статистичного моделювання двохпараметричного допускового контролю циліндричної поверхні та його програмна реалізація у NI LabVIEW / С.Т. Пацера, В.І. Корсун, В.А. Дербаба, П.О. Ружин // Системи обробки інформації. (Index Copernicus, General Impact Factor, Scientific Indexed Service, Google Scholar) – Харків : Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2016. – №6(143). – С. 116 – 119.
3. Алгоритмічна модель розрахунку відхилення профілю повздовжнього перетину Клапану та її програмна реалізація у NI LabVIEW НТУ «Дніпровська політехніка» Щербина Є. Ю.
4. Bohdanov, O., Protsiv, V., Derbaba, V. & Patsera, S. (2020) Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. «NAUKOVYI VISNYK Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu», 1, 41-45. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041> (Scopus).
5. Model-based chatter stability prediction and detection for the turning of a flexible workpiece “Mechanical Systems and Signal Processing”: Volume 100, 1 February 2018, Pages 814-826.
6. Chatter avoidance in cutting highly flexible workpieces “CIRP Annals”: Volume 66, Issue 1, 2017, Pages 377-380.