

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра




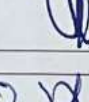
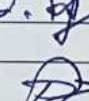
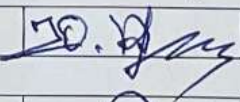

Здобувачу вищої освіти Даціву Остапу Сергійовичу
(ПІБ)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження технології механічного оброблення деталі
"Шпindel" з визначенням достовірності параметрів контрольної системи»

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Пацера С.Т.	94	відмінно	
розділів:				
Аналітичний	Пацера С.Т.	89	добре	
Технологічний	Пацера С.Т.	89	добре	
Спеціальний	Пацера С.Т.	95	відмінно	
Науково- дослідницький	Пацера С.Т.	95	добре	
Рецензент	Кравченко Ю.Г.	92	відмінно	
Нормоконтролер	Рубан В.М.	93	відмінно	

Дніпро - 2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

технологій машинобудування

та матеріалознавства

(повна назва)


(підпис)

В.А. Дербоба

(ініціали та прізвище)

« 15 »

02

2025 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Даців Остап Сергійович

(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ

(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження технології механічного оброблення деталі "Шпindelь"
з визначенням достовірності параметрів контрольної системи»

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічного оброблення деталі на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - достовірність контролю базових поверхонь деталі
«Шпindelь»

Мета - дослідження впливу точності формоутворення базових поверхонь та
допустимої граничної похибки вимірювального приладу на достовірність
контролю.

Початкові дані для проведення роботи - типові конструкторсько-технологічні
характеристики шпindelів: матеріал, габарити, шорсткість поверхонь, вимоги до
точності геометричних параметрів.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна – удосконалено алгоритмічну модель імітаційно-статистичного
моделювання процесів контролю нормованих геометричних параметрів із
застосуванням програмного забезпечення LabVIEW. Визначено залежності показників

достовірності контролю діаметрів базових поверхонь шпинделю від точності їх формоутворення технологічною системою та від допустимої граничної похибки вимірювального приладу.

Практична цінність – отримані залежності дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального вибору вимірювального засобу з урахуванням особливостей технологічної системи, що зменшує ризики виробника і споживача виробу.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Результатом аналітичного розділу є технологічний кресленик типової конструкції шпинделю. Конструкція деталі повинна відповідати вимогам технологічності.

4.2 Розроблений в технологічному розділі технологічний процес механічного оброблення деталі «Шпиндель» повинен бути інноваційним з позицій застосування верстатів з ЧПК, прогресивного різального інструменту, використання інформаційно-вимірювальних систем для процедур контролю геометричних параметрів виробу.

4.3 В науково-дослідному розділі повинні бути визначені математичні моделі до імітаційного та статистичного моделювання в програмі MS Excel. Кінцевий результат потрібно оформляти у вигляді графіків залежності критерію достовірності від гранично допустимої похибки вимірювання геометричних параметрів та від точності їх формоутворення технологічною системою.

4.4 В спеціальному розділі потрібно розробити в середовищі LabVIEW 7.1 програмний код віртуального приладу для автоматизації досліджень імітаційно-статистичним моделюванням.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.25 – 03.03.25
Технологічний розділ	04.03.25 – 09.04.25
Науково-дослідницький розділ	10.04.25 – 05.04.25
Спеціальний розділ	06.04.25 – 15.05.25

6 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Перелік посилань до публікацій здобувача у наукових виданнях. (Якщо є.)

Завдання видано

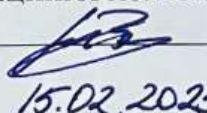

(підпис керівника)

С.Т. Пацера

(ініціали та прізвище)

Дата подання до екзаменаційної комісії 20 травня 2025 р.

Прийнято до виконання


15.02.2025

О.С. Даців

Реферат

— с, ___ рис, — табл. — додатків ___ джерел.

Тема: «Дослідження технології механічного оброблення деталі "Шпиндель" з визначенням достовірності параметрів контрольної системи»

Об'єкт досліджень - процес механічного оброблення деталі «Шпиндель» на верстаті з ЧПК.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження достовірності контролю геометричних параметрів оброблюваних поверхонь деталі «Шпиндель».

Наукова новизна роботи – залежності показників достовірності контролю від точності формоутворення технологічної системи та нормованої граничної похибки вимірювального приладу.

Перевагою розробленої технології високий рівень автоматизації.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технологічності деталі, вимог до точності розмірів, форми, взаємного розташування і шорсткості її поверхонь. Вибрана раціональна заготовка. Здійснено вибір металорізального верстату та сучасного різального інструменту. За допомогою програмного забезпечення LabVIEW 7.1 розроблено програмний код віртуального приладу для проведення комп'ютерних експериментів.

Ключові слова: деталь, технологія, токарна операція, верстат з ЧПК, контрольна система, віртуальний прилад.

ЗМІСТ

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	....7
1.1 Вступ.....	....7
1.2 Технічні вимоги до конструкції деталі Шпиндель.....	....7
1.3 Технологічність конструкції деталі Шпиндель.....	....9
Перелік посилань до розділу 1.....	...14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	...15
2.1 Визначення серійності виробництва.....	...15
2.2 Обґрунтування способу одержання заготовки.....	...15
2.3 Вибір методів оброблення поверхонь. Визначення маршруту оброблення деталі.....	...16
2.4 Обґрунтування вибору верстату.....	...19
2.5 Розрахунки та обґрунтування режимів обробки.....	...21
2.6 Вибір різальних інструментів.....	...22
2.7 Вибір вимірювальних інструментів.....	...25
2.8 Нормування технологічних переходів і операцій.....	...25
Перелік посилань до розділу 2.....	...27
3 РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ. Дослідження достовірності контролю базових поверхонь Шпинделя.....	....29
3.1 Обґрунтування теми дослідження.....	...29
3.2 Огляд науково-технічної літератури.....	...29
3.3 Аналіз вимог до точності поверхні шийки шпинделя.....	...32
3.4 Обґрунтування моделей і критеріїв для розрахунку достовірності контролю геометричних параметрів.....	...33
3.5 Результати дослідження.....	...40
3.6 Висновки до розділу 3.....	...41

Посилання до розділу 3.....	...41
4 РОЗДІЛ СПЕЦІАЛЬНИЙ. Віртуальний прилад для визначення достовірності процедур контролю.....	....45
4.1 Програмна реалізація алгоритмічної моделі дослідження у середовищі NI LabVIEW.....	...45
4.2 Результати та висновки до спеціального розділу.....	...52
Посилання до розділу 4.....	...52
ДОДАТОК А. Графічний матеріал до аналітичного розділу.....	....54
ДОДАТОК Б. Графічний матеріал до технологічного розділу. Налаштування до фінішного оброблення базових поверхонь шпинделя.....	....55
ДОДАТОК В. Технологічна документація.....	....56
ДОДАТОК Г. Графічний матеріал до технологічного розділу. Налаштування до фінішного оброблення базових поверхонь шпинделя.....	....60
ДОДАТОК Д. Графічний матеріал до спеціального розділу. Віртуальний прилад для визначення достовірності процедур контролю діаметру шпинделя.....	....61
Відомість документів випускної кваліфікаційної роботи.....	...62
Відгук керівника випускної кваліфікаційної роботи .....	...63

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вступ

Виготовлення деталей машин із матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями вимагає застосування прогресивних технологій механічної обробки, які забезпечують істотне підвищення якості, точності й продуктивності. Особливо це стосується обробки високоточних деталей устаткування, зокрема шпинделів. Шпиндельні вузли значною мірою визначають якість верстата. Однозначних рекомендацій щодо їхньої конструкції не існує, хоча є типові і перевірені часом варіанти конструкції. До точності і якості виготовлення шпинделів ставляться високі вимоги [1.1, 1.2].

Подальший розвиток автоматизації виробництва базується на застосуванні металорізальних верстатів, що оснащені системами числового програмного керування (ЧПК). Ефективність верстатів з ЧПК пояснюється їх високою продуктивністю, підвищенням продуктивності праці обслуговуючого персоналу, скороченням потреб у спеціальних верстатних пристроях, різальному і допоміжному інструменті, вивільненню значних виробничих площ [1.3].

Тому дослідження технології механічного оброблення деталі "Шпиндель" з визначенням достовірності вихідних змінних контрольної системи є актуальним завданням.

1.2 Технічні вимоги до конструкції деталі Шпиндель»

1.2.1 Точність обертання (сталість положення геометричної осі при обертанні).

Вимірюється:

- биттям на передньому кінці шпинделя в радіальному (δr) або осьовому (δa) напрямках, яке характеризує ексцентриситет робочих та посадочних поверхонь підшипників та шпинделя;
- похибкою обертання Δ (зміщенням миттєвої осі повороту шпинделя), яка є наслідком пружної взаємодії доріжок та тіл кочення,

тобто є показником технологічних похибок.

Згідно з державними стандартами биття шпинделя для верстату середньої точності не повинно перевищувати 5-8 мкм, для високоточних – 0,1...0,02 мкм

При токарній обробці δr шпинделя викликає похибку розмірів оброблюваної деталі, а похибка обертання Δ – похибку її форми.

1.2.2 Жорсткість.

Для забезпечення достатньої жорсткості діаметр шпинделя повинен відповідати умові [1.2]:

$$d \geq \sqrt[4]{(0,05 \dots 0,1) \cdot l^3} = \sqrt[4]{(0,05 \dots 0,1) \cdot l^3} = 46 \dots 55 \text{ мм.}$$

де $l = 450$ мм – відстань між опорами (приймаємо).

Останніми роками у світовій практиці з'явилась тенденція до створення коротких жорстких шпинделів. Наприклад, у токарних верстатів фірми „Мах Мюллер“ з діаметром обробки 400 мм жорсткість на фланці ШВ становить 2500 Н/мкм (порівняймо: у вітчизняних універсальних токарних верстатах з тим же діаметром обробки – 450 Н/мкм).

1.2.3 Вібростійкість. Оцінюється демпфуючою здатністю i (у першому наближенні) власними частотами коливань $f_{ВЛ}$, які повинні відрізнятися від частоти $f_{ЗБ}$ збуджуючих сил на 20...30%, що є необхідною умовою забезпечення експлуатації шпинделю у зоні, безпечній з погляду виникнення резонансу. Одним з показників вібростійкості є амплітуда хвилястості на обробленій поверхні. Необхідною умовою є забезпечення роботи верстата переважно у дорезонансній зоні, тобто $f_{ВЛ} \gg f_{ЗБ}$. Ситуація є проблемною у зв'язку із зростанням частоти збуджуючих сил внаслідок збільшення швидкостей різання i , відповідно, частоти обертання деталі. Власна частота знижується у 3-4 рази за рахунок впливу корпусу та способу його закріплення. За даними фірми FAG (Німеччина) для середньошвидкісних шпиндельних вузлів власні частоти коливань знаходяться на рівні 35000...37000 об/хв, а робочі – 3000...5000 об/хв. Для

більшості шпинделів верстатів загального машинобудування бажано, щоб власна частота $f_{вл}$ була не меншою за 500...600 Гц.

1.2.4 Рекомендовані матеріали для шпинделів.

Сталі різних марок мають однаковий модуль пружності, тобто на жорсткість шпинделя будуть впливати не фізико-механічні властивості матеріалу, а строго геометричні параметри та контактна жорсткість посадкових поверхонь. Вибір матеріалу шпинделя та режиму термооброблення визначається технічними міркуваннями та можливістю отримати поверхні заданої твердості, точності, шорсткості. Щонайперше на вибір впливають тип підшипників та майбутня точність верстата. Рекомендації наведені у таблиці 1.1:

Таблиця 1.1

Рекомендовані матеріали шпинделів і режими термічного оброблення

Марка сталі	Режими термооброблення	Точність верстату	Тип підшипників	Примітки
Сталь 40Х, 45	Поверхнєве гартування до HRC48-56	Нормальна	Кочення	Невеликі діаметри
Сталь 50Х, 40ХГР	Об'ємне гартування до HRC56-60	Підвищена	Кочення	Діаметри середнього розміру

1.3 Технологічність конструкції деталі Шпиндель»

Розроблений кресленик деталі наведено в додатку А.

Деталь має дві високоточні поверхні по $k6_{+0,025}^{+0,003}$, шорсткість яких має бути не гірше $R_a 1,6$. Допуск становить $T_v = es - ei = 0,025 - 0,003 = 0,022 \text{ мм} = 22 \text{ мкм}$. Для досягнення такої шорсткості необхідно застосувати або шліфувальне обладнання і технологію, або тонке точіння на верстаті з ЧПК.

Деталь "Шпиндель" виконано із легованої хромистої конструкційної сталі 40Х ДСТУ 7809:2015 [1.4, 1.5]. Вказана сталь

застосовується для відповідальних деталей, від яких вимагається підвищена міцність. Норми хімічного складу сталі 40X у горячекатаному та кованому прокаті наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Норми масової частки хімічних елементів у сталі 40X, %

Вуглець <i>C</i>	Кремній <i>Si</i>	Марганець <i>Mn</i>	Хром <i>Cr</i>
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,8-1,1

Механічні властивості прокату повинні відповідати наступним нормам (табл. 1.2) [1.5]

Таблиця 1.3

Механічні властивості сталі 40X, % (не менше ніж)

Границя плинності σ_T , Н/мм ²	Тимчасовий опір σ_B , Н/мм ²	Відносне видовження δ_s , %	Відносне звуження ψ , %
785	980	9	45

Рекомендовані режими термічного оброблення сталі 40X наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Режими термічного оброблення сталі 40X

Температура гартування, °C	Температура відпускання, °C	Середовище охолодження
860	500	Вода чи олива

Для чисельної оцінки технологічності визначаємо коефіцієнт

уніфікації $K_{ун}$ конструктивних елементів за формулою:

$$K_{ун} = K_{уе}/K_{зе}, \quad (1.1)$$

де $K_{уе}$ – кількість уніфікованих елементів в конструкції деталі;

$K_{зе}$ – загальна кількість елементів в конструкції деталі.

Результати підрахунку коефіцієнта уніфікації конструктивних елементів наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Розрахунок коефіцієнта уніфікації конструктивних елементів

Найменування конструкторських елементів деталі	Кількість елементів даного найменування	Кількість уніфікованих елементів даного найменування
Шийки деталі гладкі	3	2
Шийки деталі шлицьовані	2	2
Фаски	7	7
Центрувальні отвори	2	2
Сумарно:	16	13

Тоді коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів становить

$$K_{ун} = \frac{13}{16} = 0,81.$$

Коефіцієнт використання матеріалу буде визначено далі в технологічному розділі.

Якісну оцінку технологічності конструкції охарактеризовано наступними показниками: добре (допустимо), погано (неприпустимо). Кожен показник оцінено знаком "+" або "-". Результат якісного аналізу технологічності конструкції деталі наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Результат якісного аналізу технологічності конструкції деталі "Шпindelь"

Показники якісної оцінки технологічності конструкції деталі	Оцінка позитивна	Оцінка негативна
Наявність уніфікованих елементів	+	
Можливість застосувати прокат для заготовки	+	
Вимоги до геометричної точності є раціональними	+	

Деталь має дві високоточні поверхні по $k6^{(+0,025}_{+0,003})$. Поверхні мають відповідати вимогам до точності за 6 квалітетом (допуск становить 22 мкм) та до шорсткості (Ra 1,6). Для досягнення такої шорсткості необхідно буде застосувати або шліфувальне обладнання і технологію, або тонке точіння.

В конструкції деталі мається дві шліцьові поверхні та можуть застосовуватися центрувальні отвори. Усі поверхні деталі доступні для механічного оброблення.

Конструкція деталі "Шпindelь" є технологічною.

На рис. 1.1 наведено кресленик деталі "Шпindelь" .

Перелік посилань до розділу 1

1.1. Новіков Ф. В. Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки : монографія / Ф. В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 384 с.

<http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/8791>

1.2. Верба І. І. Використання сучасних матеріалів як засіб підвищення працездатності технічних систем / І. І. Верба, О. В. Даниленко // Перспективні технології та прилади. - 2018. - Вип. 13. - С. 33-42. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2018_13_7

1.3. Дідик Р. П. Технологія гірничого машинобудування / Р.П. Дідик, В.О. Жовтобрюх, С.Т. Пацера. Підручник – Дніпро. НГУ, 2016. 424 с.

1.4. Національний стандарт України. Прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий. Сортамент. ДСТУ 4738:2007 (ГОСТ 2590-2006) - (EN 10060:2003, NEQ). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25378

1.5. Національний стандарт України. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. ДСТУ 7806:2015. <http://dkzdnep.com/wp-content/uploads/2019/06/DSTU-7806-2015.pdf>

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення серійності виробництва

В сучасних складних соціально-економічних умовах саме одиничне виробництво є актуальним для машинобудівного підприємства, бо замовник сплачує найчастіше одиничні екземпляри машини чи устаткування. Але застосування обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) зазвичай нівелює різницю між одиничним і серійним виробництвом.

2.2 Обґрунтування способу одержання заготовки

Деталь "Шпindel" виконана зі сталі 40Х ДСТУ 7809:2015. З огляду на конструкцію деталі, найбільш доцільним методом отримання заготовки для деталі "Шпindel" є прокат.

Сортамент прокату визначено згідно вимог Національних стандартів України [1.4, 1.5]. Позначення прокату наступне:

Круг 110 - В ДСТУ 4738:2007.

40Х ДСТУ 7809:2015

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) складе

$$\text{КВМ} = \frac{M_d}{M_z} = \frac{33}{55} = 0,6$$

де M_d - маса деталі (33 кг);

M_z - маса заготовки (55 кг).

Маси деталі і заготовки визначені за допомогою опції МЦХ (масо-центровочні характеристики) у 3D моделях деталі та заготовки.

Міжопераційні припуски на механічне оброблення визначені табличним методом. Одержані таким чином проміжні припуски наведені в табл. 2.1 - 2.2.

Таблиця 2.1

Проміжні припускина токарну обробку зовнішніх циліндричних поверхонь деталі "Шпindelь"

Діаметр, мм	Стадія оброблення	Довжина, мм	Припуск, мм
Більше ніж 80 до 120	Чорнова	Більше ніж 500 до 800	2,5
	Напівчистова		0,5
	Чистова		0,3

Таблиця 2.2

Проміжні припускина токарну обробку зовнішніх торцевих поверхонь деталі "Шпindelь"

Діаметр, мм	Довжина, мм	Стадія оброблення	Припуск на сторону, мм
Більше ніж 75 до 125	Від 500	Чорнова	2,0
		Чистова	1,7

2.3 Вибір методів оброблення поверхонь. Визначення маршруту оброблення деталі

Таблиця 2.3

Обрані методи оброблення поверхонь деталі "Шпindelь"

Поверхня деталі, розміри	Квалітет чи ступінь точності	Шорсткість поверхні Ra	Переходи оброблення
Зовнішні торцеві поверхні, 626-2	14	6,3	Поперечне точіння: чорнове, чистове
Зовнішні циліндричні поверхні, $\varnothing 90k6$	6	1,6	Точіння: чорнове, чистове, тонке
Зовнішні прямобічні шліцьові поверхні $D-10 \times 92 \times 98f7 \times 14f7$	7	3,2	Точіння: чорнове, чистове Фрезерування шліців
Зовнішня циліндрична поверхня, $\varnothing 70h9(-0,074)$	9	3,2	Точіння: чорнове, чистове

Поверхня деталі, розміри	Квалітет чи ступінь точності	Шорсткість поверхні <i>Ra</i>	Переходи оброблення
Внутрішні отвори із метричною нарізкою M12-8G	8	6,3	Свердління отворів. Оброблення нарізі

Методи обробки поверхонь вибрані з урахуванням вимог до точності розмірів і заданої шорсткості поверхонь. Також враховано, що для механічної обробки буде застосовано сучасний верстат з ЧПК, що дозволяє виконати тонке точіння з шорсткістю до *Ra*1,25. Це дозволяє не використовувати шліфувальний верстат та відповідну операцію.

Таблиця 2.4

Маршрут обробки деталі "Шпindelь"

Обладнання	Установи, операції, переходи технологічного процесу	Пристосування
Верстат багато-цільовий з ЧПК	<p>Операція багатоцільова з ЧПК</p> <p>Установ 1</p> <p>1. Підрізати правий торець деталі начорно та чисто, витримуючи розмір $631_{-0,87}$</p> <p>2. Центрувати правий торець, утворюючи стандартний отвір В5</p> <p>Установ 2</p> <p>3. Підрізати лівий торець деталі начорно та чисто, витримуючи розмір $626_{-0,44}$</p> <p>4. Центрувати лівий торець, утворюючи стандартний отвір В5</p> <p>Установ 3</p> <p>5. Точити начорно, чисто $\varnothing 90,34$ ($-0,087$) на довжині $59,7 \pm 0,1$ зі сторони</p>	Патрони трикулачкові

Обладнання	Установи, операції, переходи технологічного процесу	Пристосування
	<p>правого торцю та фаску $2 \times 45^\circ$</p> <p>6. Точити начорно, чисто $\varnothing 98f7 \begin{pmatrix} -0,036 \\ -0,071 \end{pmatrix}$ зі сторони правого торцю, витримуючи розмір $155 \pm 0,1$ та фаску $2 \times 45^\circ$</p> <p>Установ 4</p> <p>7. Точити начорно, чисто $\varnothing 70h9 \begin{pmatrix} - \\ 0,074 \end{pmatrix}$ зі сторони лівого торцю та фаску $2 \times 45^\circ$, витримуючи розмір $60 \pm 0,1$ та фаску $2 \times 45^\circ$</p> <p>8. Точити начорно, чисто $\varnothing 90,34 \begin{pmatrix} - \\ 0,087 \end{pmatrix}$ зі сторони лівого торцю та фаску $2 \times 45^\circ$, витримуючи розмір $59,7 \pm 0,1$</p> <p>9. Точити начорно, чисто $\varnothing 98f7 \begin{pmatrix} -0,036 \\ -0,071 \end{pmatrix}$ зі сторони лівого торцю, витримуючи розмір $376 \pm 0,2$ та фаску $2 \times 45^\circ$</p>	
Верстат багато-цільовий з ЧПК	<p>Шліцефрезерна операція</p> <p>Установ 1 Фрезерувати прямобічні шліці $D - 10 \times 92 \times 98f7 \times 14f7$, витримуючи розмір $237 \pm 0,4$ зі сторони лівого торцю</p> <p>Установ 2 Фрезерувати прямобічні шліці $D - 10 \times 92 \times 98f7 \times 14f7$, витримуючи розмір $76 \pm 0,3$ зі сторони лівого торцю</p>	Фреза спеціальна дискова
Піч термічного оброблення	<p>Термічне оброблення</p> <p>1. Гартувати при температурі 850°C з охолодженням у воді</p> <p>2. Відпускати до температури 500°C з охолодженням у воді</p>	

Обладнання	Установи, операції, переходи технологічного процесу	Пристосування
Верстат багато-цільовий з ЧПК	<p align="center">Операція фінішного оброблення Установ 1</p> <p>1. Точити тонко за програмою, витримуючи розміри $\varnothing 90k6^{(+0,025}_{+0,003)}$ та $60\pm 0,2$ зі сторони правого торцю</p> <p>2. Точити тонко за програмою, витримуючи розміри $\varnothing 90k6^{(+0,025}_{+0,003)}$ та $60\pm 0,2$ зі сторони лівого торцю</p>	Центр задній

2.4 Обґрунтування вибору верстату

Для токарно-фрезерної обробки вибрано багатоцільовий токарно-фрезерний верстат з ЧПК моделі *PUMA 2600 SMX* виробництва республіки Корея. [2.1]. Загальний вигляд верстату показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Токарно-фрезерний верстат *PUMA 2600 SMX* з ЧПК [2.1]

Позначення розшифровуються наступним чином:

M – верстат має фрезерну головку,

S – верстат має контршпіндель.

Основні технологічні параметри верстату:

- Максимальна довжина обробки 1540 мм.

- Максимальний оброблюваний діаметр 660 мм.
- Потужність двигуна головного руху 30 кВт.
- Максимальна швидкість обертання шпинделю 4000 об/хв.

Основні переваги верстату обраної моделі включають наявність контршпинделю та фрезерної головки. Ці функції значно розширюють можливості обробки, дозволяючи виконувати складні операції з використанням різних інструментів та одночасно обробляти декілька поверхонь.

Наявність контршпинделю дозволяє виконувати обробку з обох боків деталі без необхідності її перевстановлення, що підвищує продуктивність і точність.

Фрезерна головка дає змогу виконувати широкий спектр фрезерних операцій, розширюючи функціональність верстата. Наявність фрезерної головки дозволяє відмовитися від застосування додаткового фрезерного та свердлильного верстатів.

Програмне керування верстатом здійснюється Системою ЧПК Fanuc (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд системи ЧПК *Fanuc*

Fanuc, японська компанія, є ключовим виробником систем ЧПК та промислових роботів.

2.5 Розрахунки та обґрунтування режимів обробки

Режими обробки призначалися табличним методом та у деяких випадках перевірялися розрахунками. Прийняті режими різання відображені у технологічній документації, яка наведена в додатках.

Розрахунки режимів різання ґрунтуються на використанні емпіричних формул, наведених у довідниках [2.2]. Режими різання встановлені в такому порядку:

- 1) визначення глибини різання t в мм та кількість проходів i ;
- 2) вибір подачі s в мм/об;
- 3) визначення нормативної швидкості різання V (м/хв) і відповідного їй числа обертів n за хвилину, що допускаються заданим періодом стійкості різального інструменту;
- 4) визначення зусилля і потужності, що потрібні для різання;
- 5) перевірка можливості виконання роботи за вибраним режимом різання на заданому верстаті згідно з його експлуатаційними даними;
- 6) коригування вибраного режиму відповідно до паспортних даних верстату.

Вибрані режими оброблення наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Вибрані режими механічного оброблення

Діаметр поверхні, мм	Стадія обробки	Глибина різання, мм	Подача, мм	Швидкість різання, м/хв
Ø90k6	чорнова	1,5	0,50	200
	чистова	0,5	0,25	250
	тонка	0,15	0,15	300
Ø98f7	чорнова	1,0	0,50	200
	чистова	0,3	0,15	300
Ø70h9	чорнова	1,0	0,50	200
	чистова	0,3	0,15	300

2.6 Вибір різальних інструментів

Вибір різальних інструментів здійснено із каталогів [2.3] фірми *TaeguTec*, що є світовим лідером у постачанні широкої номенклатури металорізального інструменту.

Враховані рекомендації *TaeguTec*, що показані на рис. 2.5

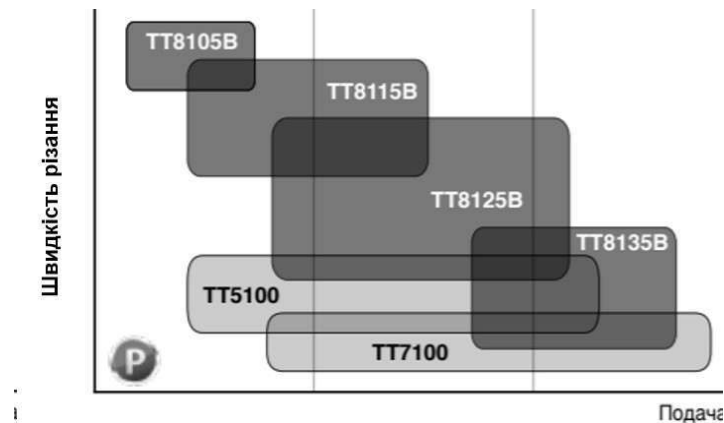
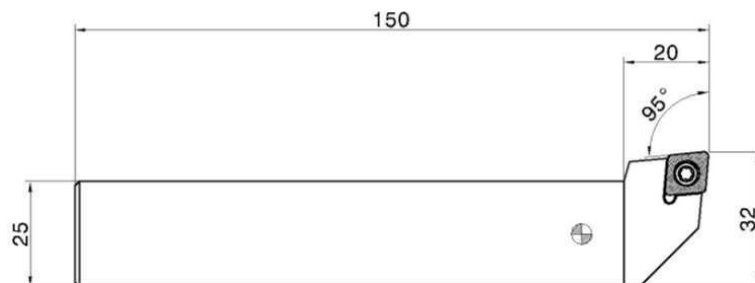


Рисунок 2.3 – Діаграма, що застосована для вибору марки твердого сплаву різальної пластини [2.3]

Для чорнового і напівчистового точіння сталі 40X застосовано твердий сплав TT8125B.

Для тонкого та фінішного оброблення вибрано пластину з кубічного нітриду бора.

На рис. 2.4 показані геометричні параметри застосованого правого різця *TaeguTec* для чорнового та чистового точіння сталі 40X.



TaeguTec
SCLCR 2525 M09

Рисунок 2.4 – Геометричні параметри вибраного різця [2.3]

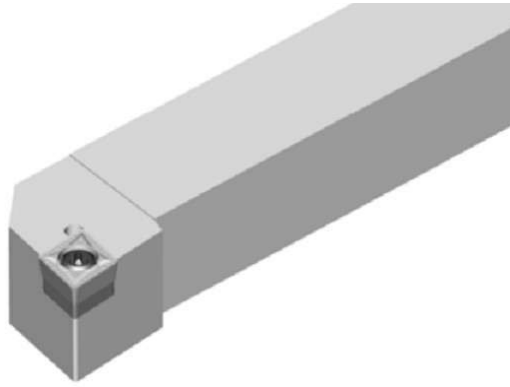


Рисунок 2.5 – 3D-модель різця *TaeguTec SCLCR 2525 M09* [2.3]

В табл. 2.6 наведено геометричні параметри вибраної різальної пластини *CCMT 09T304 FA* з твердого сплаву *TT 9080*, що призначена для чорнової та чистової обробки сталі *40X*.

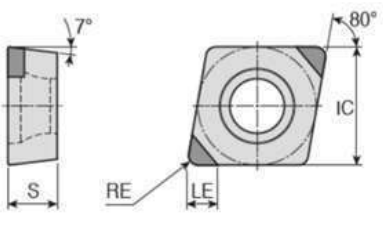

Таблиця 2.6

Геометричні параметри різальної пластини *CCMT 09T304 FA*

Довжина IC, мм	Товщина S, мм	Радіус при вершині RE, мм
9,52	3,97	0,4

В табл. 2.7 наведено геометричні параметри вибраної різальної пластини *CCGW 060208 LS2* із вставками кубічного нітриду бора, що призначена для тонкого (фінішного) точіння сталі *40X*.

Геометричні параметри різальної пластини CCGW 060208 LS2

			
Розмір LE вставки CBN, мм	Довжина IC, мм	Товщина S, мм	Радіус при вершині RE, мм
9,52	6,35	2,38	0,8

Для обробки нарізі M12-8G в сталі 40X застосовано мітчик TRH654 M12X1.75, виконаний з твердого сплаву TT8010 та призначений для обробки нарізі у глухих отворах.

На рис. 2.8 показані геометричні параметри застосованого мітчика *TaeguTec* TRH654 M12X1.75.

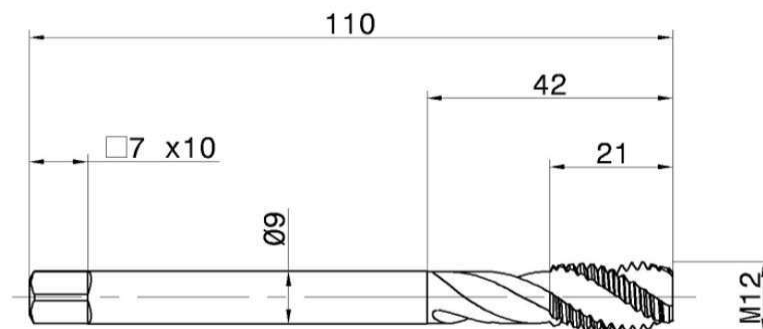


Рисунок 2.8 - Геометричні параметри мітчика *TaeguTec* TRH654 M12X1.75 [2.3]

2.7 Вибір вимірювальних інструментів

Для вимірювання лінійних розмірів застосовано штангенциркулі з цифровими дисплеями, що мають підвищену точність (табл.2.8) [2.4].

Цифрові штангенциркулі підвищеної точності

Позначення	Діапазон, мм	Гранична інструментальна похибка, мм
ШЦЦ-1-150	150	$\pm 0,02$
ШЦЦ-1-200	200	$\pm 0,03$
ШЦЦ-1-300	300	$\pm 0,04$



Рисунок 2.9 – Вигляд застосованого цифрового штангенциркуля типу ШЦЦ [2.4]

Завдяки цифровому дисплею на екрані приладу вимірювання виконуються швидше, зручніше та надійніше. Цифрові пристрої можна підключати до комп'ютера через інтерфейси RS-232, USB або Bluetooth. Результати вимірювань можливо обробити у спеціальній програмі, що дозволяє використовувати отримані дані і вести базу даних в подальшому.

2.8 Нормування технологічних переходів і операцій

Норма штучного часу $T_{шт}$ визначена за формулою [2.5]:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{обс} + T_{впч},$$

де T_o – основний (технологічний) час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{обс}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{впч}$ – час на фізичні потреби, хв.

Основний або технологічний час це період, протягом якого утворюється стружка. До нього входить час на врізання і перебіг (підхід та відхід) різального інструменту.

Основний час T_0 визначено за формулою

$$T_0 = (l + l_1 + l_2)/(s_0 \times n),$$

де l – довжина оброблення, мм;

l_1 – довжина врізання (прийнято 3 мм);

l_2 – довжина перебігу (прийнято 2 мм);

s_0 – подача, мм/об;

n – частота обертання, об/хв.

У допоміжний час включено:

- час $T_{д_пер}$ на переміщення інструменту і час на керування верстатом;
- час $T_{д_вст}$ на встановлення і зняття деталі, пристосування та інструменту
- час $T_{д_вим}$ на вимірювання.

Складові допоміжного часу визначені табличним методом за довідниками.

Сума основного часу T_0 та допоміжного часу $T_{д}$ є час оперативний $T_{оп}$.

Час $T_{обс}$ обслуговування прийнято рівним 3,5% від оперативного та поділяється на:

- час технічного обслуговування;
- час організаційного обслуговування.

Час технічного обслуговування витрачається на нагляд за робочим місцем у процесі роботи, включно на:

- підналаштування і регулювання верстата,
- заміну інструменту, що затупився,
- правлення інструменту,
- видалення стружки під час роботи.

Час організаційного обслуговування витрачається на доглядання за робочим місцем протягом зміни та поділяється на:

- на розкладання інструменту,
- на очищення та змащування верстата,
- на огляд і опробування верстата.

Час $T_{фпч}$ на фізичні потреби прийнято рівним 4% від оперативного.

Час штучний $T_{шт}$ визначено за формулою

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{обс} + T_{фпч} .$$

Час $T_{шт.к}$ штучно-калькуляційний визначено за формулою

$$T_{шт.к} = T_{п.з} / n + T_{шт} ,$$

де $T_{п.з}$ – час підготовчо-заклучний (прийнято 60 хв.), що витрачається робітником на підготування засобів виробництва до виконання заданої роботи та на дії, пов'язані з її закінченням.

n – кількість деталей в партії.

Результати технічного нормування наведені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Розрахунок складових норми часу на механічне оброблення виробу, хв

№ опер.	Назва операції	T_o	T_d	$T_{оп}$	$T_{обс}$	$T_{фпч}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{штк}$
015	Багатоцільова	20	15	35	1,23	1,4	37,63	8	45,63
025	Фінішна	2	4	6	0,21	0,24	6,45	8	14,45
	Усього	22	19	41	1,44	1,64	44,08	16	60,08

Результати технічного нормування наведені в табл. 2.9.

Графічний матеріал до технологічного розділу наведено у Додатку Б.
Технологічна документація вкладена у додатку В.

Перелік посилань до розділу 2

2.1. Технічні характеристики токарно-фрезерного верстату

PUMA 2600 SMX з ЧПК. [https://www.overmach.it/product-files/PUMA%20SMX%20series%20\(2100,2600,3100\).pdf](https://www.overmach.it/product-files/PUMA%20SMX%20series%20(2100,2600,3100).pdf)

2.2. Дідик Р.П. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів : точіння, свердління, зенкерування, розгортання : навч. посібник/ Р.П. Дідик, В.В. Зіль, С.Т. Пацера; М-во освіти і науки України, Держ. вищий навч. закл. “Нац. гірн. ун-т”.- Д.: НГУ, 2013.- 195с.

2.3. Електронний каталог металорізального інструменту виробництва TaeguTec (Південна Корея).

<https://taegutec.com.ua/uk/zavantazhiti/instrument-2024/>

2.4 Каталог цифрових штангенциркулів компанії МікроТех (Україна)

<https://microtech.kiev.ua/meritel-sit/shtangentsirkuli/shtangentsirkuli-shtsts-i>

2.5 Нормування технологічного процесу.

<https://studfile.net/preview/5200214/page:6/>

3. РОЗДІЛ 3 – НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ. Дослідження достовірності контролю базових поверхонь «Шпинделя»

3.1 Обґрунтування теми дослідження

Вимоги до якості продукції, що випускається, а також вимоги до точності вимірювання розмірів деталей постійно зростають в умовах сучасного виробництва в таких галузях, як транспортне машинобудування, авіація, аерокосмічна промисловість, медична промисловість. Відповідно до цих тенденцій, в останні роки спостерігається бурхливий розвиток технічних можливостей контрольно-вимірювальних систем. Однак ця тенденція призводить до неухильного зростання вартості вимірювальних приладів. Завдання обґрунтування раціонального вибору точності вимірювального приладу продовжує залишатися актуальною. Але в опублікованих останніми роками дослідженнях є важлива прогалина, яка полягає у відсутності такого методичного забезпечення розрахунку валідності контрольних процедур щодо геометричних параметрів продукції машинобудування, яка б базувалася на сучасних комп'ютерних інформаційних технологіях.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано імітаційно-статистичне моделювання та розрахунок чисельного критерію валідності процедур контролю.

Структурно розділ містить аналіз джерел інформації, опис методичного підходу до визначення вихідних даних у дослідженні, вибір критерію розрахунку валідності контролю геометричних параметрів, опис програмної реалізації у програмному забезпеченні Microsoft Excel, результати статистично-імітаційного моделювання процедур контролю діаметра шпинделя.

3.2 Огляд науково-технічної літератури

Аналіз літературних джерел по темі даного розділу виявив наступні тенденції. Швидкий і масовий розвиток технологій є викликом для вищої освіти продовжувати адаптуватися та впроваджувати інновації для підтримки

академічної якості [1]. Успішне впровадження інформаційних технологій у закладах вищої освіти призвело до вирішення значної кількості проблем, які стали наслідком використання адекватних концептуальних моделей інноваційної діяльності [2]. Прикладами таких концептуальних моделей є метод множинного статистичного моделювання (Монте-Карло) і метод оцінки відхилень поверхні виробу координатним методом (тобто шляхом вимірювання координат значної кількості точок вимірювання з подальшим обчисленням потрібного параметра геометричної точності).

Наприклад, в роботі [3] було зазначено, що нещодавно було запропоновано Додаток 1 до ГУМ (GUM S1), що базується заснована на функції щільності ймовірності (PDFs) з використанням методу Монте-Карло (MCM). Для вирішення проблеми апіорного вибору числа досліджень Монте-Карло рекомендується використовувати адаптивний метод Монте-Карло (AMCM), описаний в GUM S1, для контролю якості числових результатів, наданих MCM.

Прогрес у вимірюванні призвів до висування жорстких вимог до точності та ефективності оцінки округлості кола мінімальної зони (MZC) для профілю з масивними точками [4]. Результати дослідження, опубліковані в статті [5], показали, що алгоритм швидкої оцінки гібридної округлості (HCGPSO) виявився точним і підвищив ефективність в середньому на 64%.

Аналіз методу Монте-Карло (MC) залишається одним з найцінніших наукових обчислювальних методів завдяки своїй простоті і широкій застосовності. MC-моделювання є імовірнісним методом апроксимації для виявлення невизначеності в оцінці ризику завдяки своїй простоті і широкій застосовності [6].

У публікації [7] було доведено, що при розробці інформаційних технологій на великих складних технічних об'єктах необхідно, з одного боку, мінімізувати ризики, а з іншого - встановлювати прийнятне порогове значення для конкретного параметра.

У публікації [8] вперше розглянута складова модель шорсткості поверхні

з урахуванням впливу випадкової складової на геометричні параметри різального інструменту.

Розроблено математичні моделі та статистичне імітаційне моделювання, методи прийнятно-здавального контролю геометрії компонентів та розрахунку параметрів їх забору. На основі розроблених математичних моделей складено методичні рекомендації щодо комп'ютерного моделювання з використанням методу процесів Монте-Карло при прийнятному обстеженні. Реалізація здійснюється на базі програми Microsoft Excel. Методичні вказівки використовуються в навчальній діяльності. Вони можуть бути використані в процесі складання бізнес-планів для прийняття рішень при проведенні передвиробничої підготовки, яка характеризується стохастичним характером, в тому числі і для цілей підприємств машинобудування [9].

В останні роки постійний розвиток комп'ютерних технологій сприяв широкому використанню програми NI LabVIEW™, яку слід розглядати як ієрархію «віртуальних інструментів» [10].

Наприклад, в роботі [11] була виконана розробка апаратних і програмних засобів для випробувальної системи для асинхронних двигунів з використанням LabVIEW [12]. У статті [13] представлені результати розробки та функціонування багатошарової розподіленої змішаної віртуальної мережевої лабораторії (Virtual NetLab) на базі LabVIEW. Стаття [14] зосереджена на демонстрації використання сучасного інструменту LabVIEW™, який може допомогти трансформувати позитивно процес викладання та навчання.

У книзі [15] показано, як Fuzzy Logic Type 1 і Type 2 на основі LabVIEW FPGA™ допомагає студентам, які вивчають інтегровані системи управління, проектувати і програмувати ці контролери більш ефективно і розуміти переваги використання нечіткої логіки при цьому. У роботі [16] даються покрокові рекомендації по автоматизації вимірювань і створення власних систем автоматизації на базі LabVIEW.

Стаття [17] включає бібліотеку LabVIEW з інструментами, призначеними

для теоретичних та експериментальних досліджень у галузі робототехніки. У бібліотеці зібрано понад 350 віртуальних інструментів для підтримки кінематики. Графічне середовище програмування LabVIEW [18] вже стало середовищем програмування загального призначення. Ефективне середовище виконання коду також є перевагою LabVIEW. У статті [19] представлена Академія LabVIEW на прикладі її впровадження в Познанському технологічному університеті.

Щоб гарантувати, що мобільний робот економить енергію, за допомогою машинного навчання було гарантовано, що він чекає близько до точки, звідки надходило більше замовлень. Розроблені методики були розроблені з використанням середовища NI LabVIEW [20].

Так, в результаті аналізу джерел інформації були обрані наступні методи комп'ютерного моделювання процедур контролю геометричних параметрів продукції [21]:

- Імітаційний метод моделювання процедури контролю геометричного параметра на відповідність полю допуску.
- Метод Монте-Карло для моделювання випадкових похибок вимірювального приладу.
- Середовище NI LabVIEW для програмної реалізації віртуального приладу для автоматизації комп'ютерних експериментів.

3.3 Аналіз вимог до точності поверхні шийки шпинделю

Вихідними даними для проведених комп'ютерних експериментів були:

- вимоги до точності циліндричної поверхні шпинделю, яка є базою для підшипників кочення (рис. 3.1);
- типові вимоги нормативних документів щодо максимальної похибки використаного вимірювального приладу

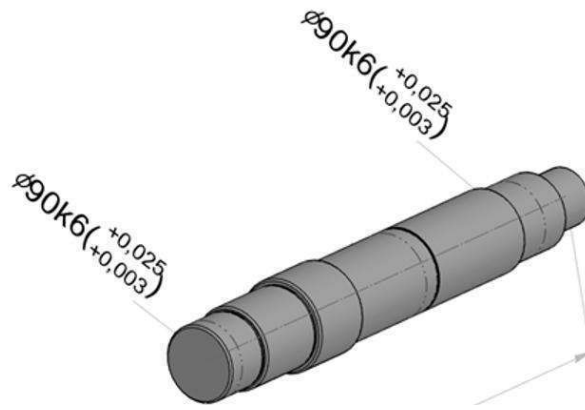


Рис. 3.1. Вимоги до точності базових циліндричних поверхонь деталі «Шпindelь»

3.4 Обґрунтування моделей і критеріїв для розрахунку достовірності контролю геометричних параметрів

Моделлю називається представлення об'єкта, системи чи поняття в деякій абстрактній формі, що є зручною для наукового дослідження. В загальному випадку модель має структуру, зображену на рис. 3.2.

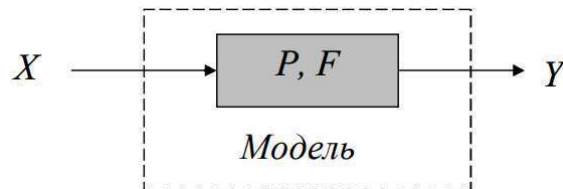


Рис. 3.2 – Загальна структура моделі [3.1]¹

Тут X – множина вхідних змінних системи, Y – множина вихідних змінних системи, P – множина параметрів, F – алгоритм або формальне представлення залежності змінних Y від змінних X .

Стосовно розроблюваної моделі контрольної системи віднесено до:

- вхідних змінних – поле допуску контрольованого розміру виробу, гранична похибка контрольної системи;

¹ Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с. https://web.kpi.kharkov.ua/auts/wp-content/uploads/sites/67/2017/02/MOCS_Kachanov_posobie.pdf

- параметрів технологічної підсистеми – параметри розподілу випадкових відхилень розмірів (вид розподілу, математичне очікування, середньо-квадратичне відхилення) та випадкових похибок
- алгоритму –
- вихідних змінних –

Змодельований результат контролю оцінювався за умовним критерієм, який отримав назву показника достовірності (тобто валідності). Якщо в результаті моделювання лінійний розмір деталі виявляється таким, що відповідає вимогам до поверхні (рис. 1), то придатність виробу оцінюється балом «1».

І, навпаки, коли розмір виходить за межі поля допуску, то балом «0». Для програмування процедури контролю була використана логічна формула

$$IF(AND(e_{tri} \geq ei; e_{tri} \leq es); 1; 0), \quad (3.1)$$

- де es і ei – верхнє і нижнє нормалізоване відхилення зони допуску, відповідно до ISO 286–1:2010,
- e_{tri} – відхилення розміру, отримане методом моделювання Монте Карло за умови з нульової похибки контрольної підсистеми.

Було проведено наступне моделювання процедури контролю методом Монте Карло, але вже з урахуванням випадкової похибки контрольної підсистеми. Для цього використано математичну модель за формулою (2).

$$IF(AND(e_{\Delta i} \geq ei; e_{\Delta i} \leq es); 1; 0), \quad (3.2)$$

- де $e_{\Delta i}$ – відхилення розміру, отримане за умови з нульової похибки контрольної підсистеми.

Результати імітаційно-статистично моделювання у програмі Microsoft Excel наведені в табл. 3.1-3.9

Таблиця 3.1

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.
 Параметри: підвищена точність технологічної підсистеми $\sigma = 2,75$ мкм, гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 12$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tri}	Δ_i [μm]	$e_{\Delta i}$ [μm]	$\beta_{\Delta i}$	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	15,0	1	1,0	16,0	1	1	0	0	0
45	9,2	1	-8,6	0,6	0	1	0	0	1
75	11,4	1	-3,1	8,3	1	1	0	0	0
94	15,5	1	11,4	26,9	0	0	0	0	1
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		100	$\Sigma\beta_{\Delta i}$ [%]		85,6	85,6	0	0	14,4

Таблиця 3.2

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.
 Параметри: нормальна точність технологічної підсистеми $\sigma = 3,7$ мкм, гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 12$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tr}	Δ_i [μm]	$e_{\Delta i}$ [μm]	$\beta_{\Delta i}$	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	9,6	1	-4,6	5,0	1	1	0	0	0
224	25,6	0	-11,5	14,1	1	0	1	0	0
982	3,0	0	-9,4	-6,4	0	0	0	1	0
998	14,3	1	2,7	17,0	1	0	0	0	1
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		10 0	$\Sigma\beta_{\Delta i}$ [%]		82,6	82,3	0,3	0,3	17,1

Таблиця 3.3

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання
процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.

Параметри: знижена точність технологічної підсистеми $\sigma = 5,5$ мкм,
гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 12$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tri}	Δ_i [μm]	e_{Δ_i} [μm]	β_{Δ_i}	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
3	8,8	1	11,5	20,3	1	1	0	0	0
62	2,0	0	1,6	3,6	1	0	1	0	0
83	1,8	0	1,1	2,9	0	0	0	1	0
985	8,3	1	-9,3	-1,0	0	0	0	0	1
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		29,3	$\Sigma\beta_{\Delta_i}$ [%]		37, 6	18,4	19,2	51,5	10,9

Таблиця 3.4

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання
процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.

Параметри: підвищена точність технологічної підсистеми $\sigma = 2,75$ мкм,
гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 6$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tri}	Δ_i [μm]	e_{Δ_i} [μm]	β_{Δ_i}	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	12,1	1	-3,2	8,9	1	1	0	0	0
310	23,2	1	2,0	25,2	0	0	0	0	1
373	8,1	1	-5,8	2,3	0	0	0	0	1
999	13,8	1	3,8	17,6	1	1	0	0	0
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		100	$\Sigma\beta_{\Delta_i}$ [%]		99,7	99,7	0	0	0,3

Таблиця 3.5

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.
 Параметри: нормальна точність технологічної підсистеми $\sigma = 3,7$ мкм,
 гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 6$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tri}	Δi [μm]	$e_{\Delta i}$ [μm]	$\beta_{\Delta i}$	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	9,3	1	4,6	13,9	1	1	0	0	0
95	10,7	1	3,5	11,2	1	1	0	0	0
518	2,6	0	-2,4	0,2	0	0	0	1	0
994	8,4	1	-5,4	3,0	0	0	0	0	1
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		95,9	$\Sigma\beta_{\Delta i}$ [%]		90,3	88,9	1,4	2,7	7

Таблиця 3.6.

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.
 Параметри: знижена точність технологічної підсистеми $\sigma = 5,5$ мкм,
 гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 6$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tri}	Δi [μm]	$e_{\Delta i}$ [μm]	$\beta_{\Delta i}$	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IU)
1	16,5	1	-4,9	11,6	1	1	0	0	0
24	2,6	0	1,8	4,4	1	0	1	0	0
180	30,9	0	5,0	35,9	0	0	0	1	0
941	20,7	1	5,6	26,3	0	0	0	0	1
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		95,9	$\Sigma\beta_{\Delta i}$ [%]		90,3	88,9	1,4	2,7	7,0

Таблиця 3.7

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання
процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.
Параметри: підвищена точність технологічної підсистеми $\sigma = 2,75$ мкм,
гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 2$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tr}	Δ_i [μm]	$e_{\Delta i}$ [μm]	β_{Δ}	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	14,6	1	1,0	15,6	1	1	0	0	0
251	16,0	1	-0,2	15,8	1	1	0	0	0
500	13,9	1	0,6	14,5	1	1	0	0	0
999	18,3	1	0,5	18,8	1	1	0	0	0
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		100	$\Sigma\beta_{\Delta i}$ [%]		100	100	0	0	0

Таблиця 3.8

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання
процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.
Параметри: нормальна точність технологічної підсистеми $\sigma = 3,7$ мкм,
гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 2$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tr}	Δ_i [μm]	$e_{\Delta i}$ [μm]	β_{Δ}	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	11,9	1	1,0	12,9	1	1	0	0	0
386	3,8	1	-1,9	1,9	0	0	0	0	1
513	10,1	1	-0,8	9,3	1	1	0	0	0
966	2,0	0	-1,6	0,4	0	0	0	1	0
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		99,8	$\Sigma\beta_{\Delta i}$ [%]		99,7	99,7	0	0,2	0,1

Таблиця 3.9

Витяг з електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання процедур контролю лінійних розмірів $\varnothing 90k6$.

Параметри: знижена точність технологічної підсистеми $\sigma = 5,5$ мкм, гранична похибка контрольної підсистеми $\Delta = 2$ мкм

№	e_{tri} [μm]	β_{tr}	Δ_i [μm]	e_{Δ_i} [μm]	β_{Δ}	Сортування виробів за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Коректно прийняті, (CA)	Некоректно прийняті, (IA)	Коректно забраковані, (CR)	Некоректно забраковані, (IR)
1	6,5	1	1,0	7,5	1	1	0	0	0
201	25,5	0	-1,9	23,6	1	0	1	0	0
338	1,6	0	0,8	2,4	0	0	0	1	0
791	24,7	1	1,6	26,3	0	0	0	0	1
$\Sigma\beta_{tri}$ [%]		96,2	$\Sigma\beta_{\Delta_i}$ [%]		94,9	94,4	0,5	3,3	1,8

Результати контролю сортуються за чотирма категоріями: правильно прийняті продукти (CA), неправильно прийняті (IA), правильно відбраковані (CU), неправильно відбраковані (IU).

Застосовані термінологія та позначення категорій перелічені в табл. 3.10

Таблиця 3.10

Термін та його аббревіатура українською мовою	Термін та його аббревіатура англійською мовою
Правильно прийнято, ПП	Correctly accepted, (CA)
Неправильно прийнято, НП	Incorrectly accepted, (IA)
Правильно відбраковано, ПВ	Correctly rejected, (CR)
Неправильно відбраковано, НВ	Incorrectly rejected, (IR)

Відповідні математичні моделі імітації процедури сортування наступні:

$$IF(AND(\beta_{tri} = 1; e_{\Delta_i} = 1); 1; 0) \quad (3.3)$$

$$IF(AND(\beta_{tri} = 0; e_{\Delta_i} = 1); 1; 0) \quad (3.4)$$

$$IF(AND(\beta_{tri} = 0; e_{\Delta_i} = 0); 1; 0) \quad (3.5)$$

$$IF(AND(\beta_{tri} = 1; e\Delta_i = 0); 1; 0) \quad (3.6)$$

У даному розділі в якості числового критерію достовірності контролю пропонується застосовувати відношення суми правильно відбракованих і правильно прийнятих продуктів до загального обсягу статистичної вибірки за формулою

$$NCRC = (\Sigma CA + \Sigma CR) / (\Sigma CA + \Sigma IA + \Sigma CR + \Sigma IR), \quad (3.7)$$

де $NCRC$ – позначення числового критерію достовірності контролю (Numerical Criterion for the Reliability Control).

3.5 Результати дослідження

Результати дослідження наведені на рис.3.3.

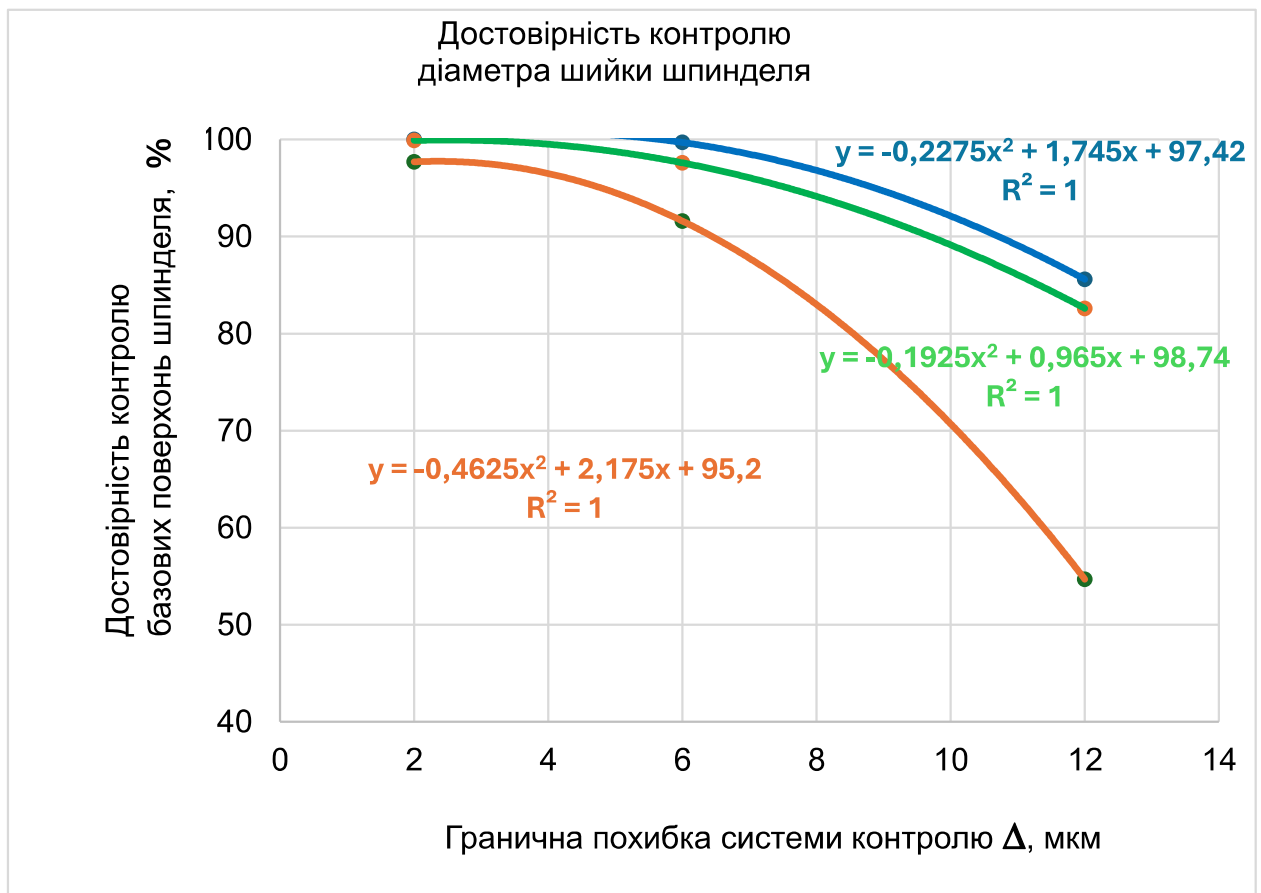


Рис. 3.3. Залежності достовірності контролю від граничної похибки вимірювання для трьох класів точності технологічних систем: підвищеної (синій колір), нормальної (зелений колір) та зниженої (червоний колір)

3.6 Висновки до розділу 3

1. До детальної розробки і впровадження у виробництво необхідно рекомендувати технологічну систему нормальної точності, яка буде забезпечувати нормальний закон розподілу випадкових відхилень діаметру базових поверхонь і в межах відношення поля допуску до середньо-квадратичного відхилення, що ≈ 6 . У цьому разі потрібно застосувати контрольну систему, що матиме граничну похибку вимірювання 4 мкм. За цих умов достовірність контролю дорівнюватиме 99,973%.

2. Технологічну систему підвищеної точності рекомендувати не можна, бо її впровадження як відомо, потребує суттєвого збільшення витрат. Достовірність контролю при цьому (як видно з рис. 3.3) зростає несуттєво.

3. Технологічну систему зниженої точності рекомендувати не можна, бо достовірність контролю при цьому (як видно з рис. 3.3) різко знижується.

Посилання до розділу 3

1. Ramdhani, M.A., Priatna, T., Maylawati, D.S., Sugilar, H., Mahmud, M. and Gerhana, Y.A. Diffusion of Innovations for Optimizing the Information Technology Implementation in Higher Education, 2021 9th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), Bengkulu, Indonesia, pp. 1-8. (2021).
[doi: 10.1109/CITSM52892.2021.9588892](https://doi.org/10.1109/CITSM52892.2021.9588892)
2. Huda, M.Q., Sa'adah, N.U. Measurement model of information technology implementation effectiveness. 2014 International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), South Tangerang, Indonesia, pp. 21-24. (2014).
[doi: 10.1109/CITSM.2014.7042168](https://doi.org/10.1109/CITSM.2014.7042168)
3. Wen, Xl., Zhao, Yb., Wang, Dx., Pan, J. Adaptive Monte Carlo and GUM methods for the evaluation of measurement uncertainty of cylindricity error.

Precision Engineering, Volume 37, Issue 4, 856-864 (2013).

<https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2013.05.002>

4. Liu, F., Cao, Ya., Li, T., Ren, L., Zhi, Ju., Yang, Ji., Jiang, X. An Iterative Minimum Zone Algorithm for assessing cylindricity deviation. Measurement. Volume 213, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112738>
5. Bai, X., Wang, W., Li, W., Liu, Z., Yu, S., Bai, Yu., Chen, G. A fast hybrid roundness evaluation algorithm based on computational geometry and particle swarm optimization for profiles with massive points. Measurement Volume 223, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113798>
6. Khalid, M. Monte Carlo analysis for probabilistic risk assessment. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition), Academic Press, 517-522 (2023). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00109-3>
7. Poliarus, O., Lebedynskyi, A., Chepusenko, Ye. Method, model, and information technology for determining the value of measurement information in the interests of safety of technical objects. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University, 99, 138-145 (2022). [DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0.138](https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0.138)
8. Bohdanov, O., Protsiv, V., Derbaba, V., Patsera, S.: Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (1), 41-45. (2020). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041>
9. Derbaba, V. Zil, V. Patsera, S. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes. Scientific Bulletin of National Mining University. 5(143), 45-50. (2014). <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/49-05/1445-2014-5-derbaba/0/>
10. Kodosky, J.: LabVIEW. National Instruments, USA. Proceedings of the ACM on Programming Languages. Volume 4. Issue HOPL. Article No.: 78. pp 1–54. (2020) <https://doi.org/10.1145/3386328>

11. Song, RY. Research on Testing System of Asynchronous Motor Based on LabVIEW. In: Tong, X., Liano, W. Proceedings of the 2016 2nd international conference on materials engineering and information technology applications. (107). Pp. 401-404. Atlantis Press, Paris (2017).
<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000429966800083>
 12. Ursutiu, D., Samoila, C., Jinga, V. Creative developments in LabVIEW student training (Creativity Laboratory - LabVIEW Academy). In: Proceedings of 2017 4th experiment@international conference (exp.at'17). pp.309-312. (2017). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000412842600078>
 13. Zhao, CX.: Study of remote experiment management based on LabVIEW. In: Sun, Q., Xu, X. Proceedings of the 2016 international conference on education, management and computing technology (ICEMCT-16), 59, 19-23. Yangzhou (2016) <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000389384000005>
 14. Patil, R.: Learning Made Easy By LabVIEW™ Software Tool. In: Natarajan, R. (eds) Proceedings of the International Conference on Transformations in Engineering Education, 111-121. Springer, New Delhi (2014)
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-1931-6_16
 15. Ponce-Cruz, P., Molina, A., Brian MacCleery, B.: Fuzzy Logic Type 1 and Type 2 Based on LabVIEW™ FPGA. Springer Cham (2016)
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-26656-5>
 16. Dubey, K., Narang, N., Negi, P., Ojha, V. LabVIEW based Automation Guide for Microwave Measurements. Springer, Singapore (2018)
<https://doi.org/10.1007/978-981-10-6280-3>
- Olaru, A., S. Olaru, S. and Mihai, N. "Proper Virtual LabVIEW™ Instrumentation Library for the Assisted Research in Robotics," 2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM), Tehran, Iran, 2018, pp. 215-222. [doi: 10.1109/ICRoM.2018.8657550](https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657550)

17. Velychko, O. Kulish, Yu. (2023). Automation of measurements on the state standard of the unit of phase shift angle between two voltages. *Measuring Equipment and Metrology*. Volume 84(1). pp.18-24.
<https://doi.org/10.23939/istcmtm2023.01.018>
18. Pawlowski, P, Dabrowski, A, Samulnik, G. (2018). LabVIEW Academy. *Przegląd Elektrotechniczny*, 94(8), pp.71-74. DOI10.15199/48.2018.08.19
<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000444904900019>
19. Kulaç, N., Engin, M. (2023). Developing a Machine Learning Algorithm for Service Robots in Industrial Applications. *Machines* 2023, 11(4), 421.
<https://doi.org/10.3390/machines11040421>
20. Voichyshen, O., Patsera, S., Derbaba, V., Bohdanov, O. (2024). Virtual Device for Assessing the Geometric Parameters' Reliability Control for Mechanical Products Depending on the Tool Accuracy.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-61797-3_35

4. РОЗДІЛ 4 – СПЕЦІАЛЬНИЙ. Віртуальний прилад для визначення достовірності процедур контролю

Призначенням створеного віртуального приладу є визначення достовірності процедур контролю, пов'язаних з точністю геометричних параметрів виробів механічного машинобудування.

4.1 Програмна реалізація алгоритмічної моделі дослідження у середовищі NI LabVIEW

Програмне середовище NI LabVIEW відмінно зарекомендувало себе в багатьох науково-технічних проектах і є визнаним міжнародним стандартом для систем збору даних і моделювання технологічних процесів. Цей програмний пакет легко інтегрується в складні технічні програмно-апаратні комплекси. Водночас LabVIEW надає широкі можливості для використання в освітньому процесі поряд з його професійним спрямуванням.

Саме ця властивість програмного середовища дозволяє наочно продемонструвати той факт, що випадкова похибка вимірювального пристрою при контролі геометричного параметра деталі є причиною помилкового визнання деталі придатною, хоча фактичний розмір знаходиться за межами допуску. Аналогічно відбувається помилкове визнання певної кількості деталей непридатними, хоча фактичні розміри знаходяться в зоні допуску. На рисунках 4.1 – 4.9 наведено декілька створених програмних кодів (з коментарями) для блоків алгоритмічної моделі дослідження.

На рисунку 4.1 зліва початкові дані, введені користувачем віртуального приладу, оцифровані у форматі Numeric Constant (числова константа), або у форматі елемента керування.

Праворуч наведено програмний код технологічного блоку, який призначений для моделювання випадкових відхилень діаметра шийки вала за умови нульової похибки вимірювання. У якості математичної моделі до технологічного блоку T1 обрано вбудований генератор випадкових чисел в інтервалі 0 ... 1 з подальшою модифікацією до інтервалу випадкових відхилень у інтервалі від нижньої межі до верхньої межі розсіювання.

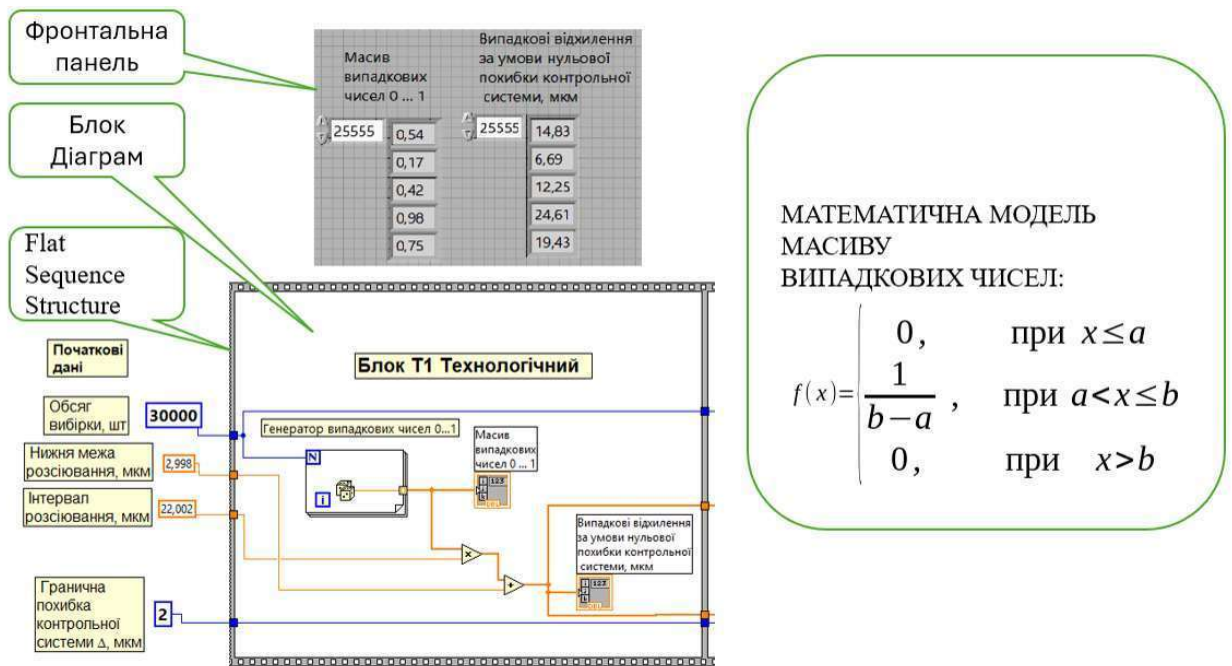
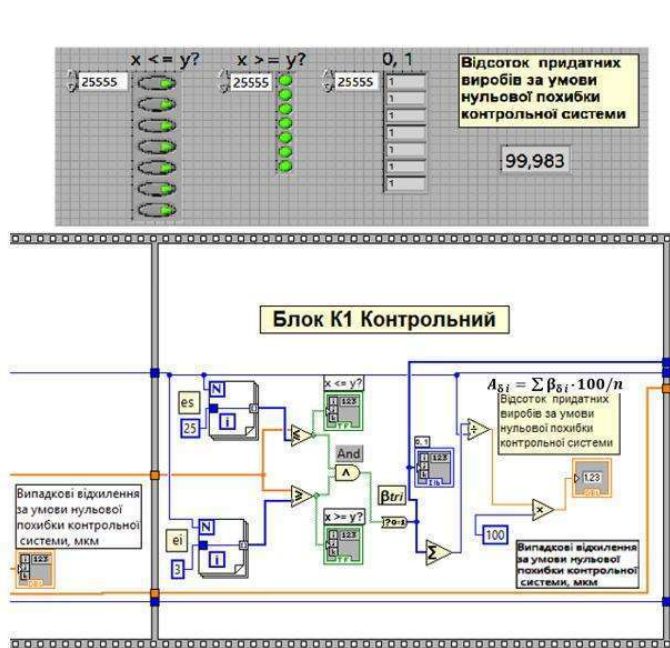


Рис. 4.1– Програмний код технологічного блоку Т1

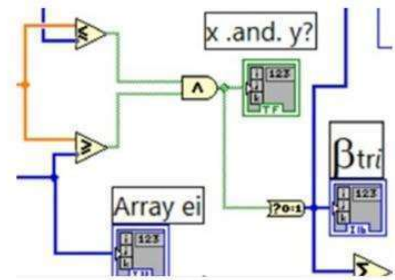
Блок Т1, як і всі подальші блоки моделі, розміщено всередині структур (Flat Sequence Structure). Таке структурування алгоритмічної моделі досліджування дозволило складну технічну систему моделювати сукупністю взаємопов'язаних елементів (підсистем), які створювалися на базі відповідних ключових математичних моделей. Методичною основою даної розробки слугували роботи [1-8].

Тобто, по суті, сформульовано головний методичний прийом для створення оцифрованої алгоритмічної моделі віртуального приладу. Призначенням цього приладу є визначення достовірності процедур контролю, пов'язаних з точністю геометричних параметрів виробів механічного машинобудування.

На рисунку 4.2 наведено програмний код для моделювання процедури контролю та визначення відсотку A_{tri} придатних виробів, оцінених за математичною моделлю $A_{tri} = \sum \beta_{tri} \cdot 100/n$ (за умови нульової похибки вимірювання).



**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ –
Логічна формула:**
 $IF(AND(e_{tri} >= ei; e_{tri} <= es); 1; 0)$



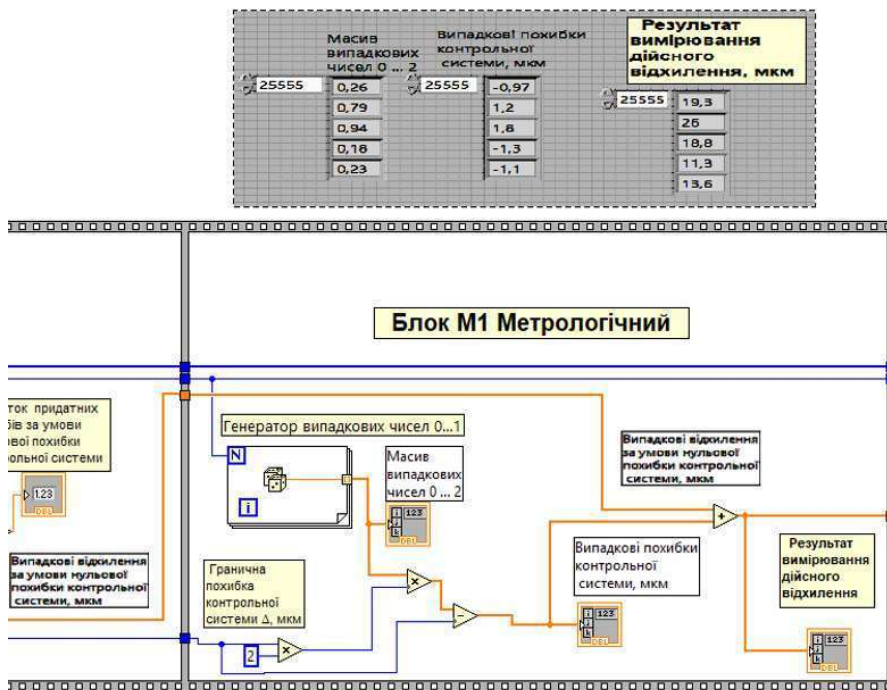
Функції, що обчислюють логічне «AND» для входів. Обидва входи повинні бути булевими або числовими значеннями. Спочатку, якщо обидва входи мають значення TRUE, функція повертає TRUE; в іншому випадку повертається значення FALSE. Потім перетворює булеве значення FALSE або TRUE в ціле число

β_{tri}

зі значенням 0 або 1 відповідно.

Рис. 4.2 – Програмний код контрольного блоку К1

Використано функції, що обчислюють логічне «AND» для входів. Обидва входи повинні бути булевими або числовими значеннями. Спочатку, якщо обидва входи мають значення TRUE, функція повертає TRUE; в іншому випадку повертається значення FALSE. Потім перетворює булеве значення FALSE або TRUE в ціле число β_{tri} (бал придатності виробу, за умови нульової похибки контрольної системи) зі значенням 0 або 1 відповідно. Логічними (булевими) змінними в булевій алгебрі називають величини, які незалежно від їхньої конкретної суті можуть набувати лише двох значень. Ці значення позначені нулем (0) й одиницею (1). Якщо змінна x має одиничне значення, то записується $x = 1$, а якщо нульове, то $x = 0$. Булевою, або перемикальною, функцією $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ називають функцію, яка, як і її n аргументів, може набувати лише двох значень: 0 або 1. В обчислювальній техніці булеві функції застосовуються для опису алгоритмів до засобів цієї техніки – дискретних пристроїв.



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАСИВУ ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a \\ \frac{1}{b-a}, & \text{при } a < x \leq b \\ 0, & \text{при } x > b \end{cases}$$

$a = -2$ $b = 2$

Розподіл рівномірний

Рис. 4.3 – Програмний код метрологічного блоку М1

На рисунку 4.3 показано програмний код метрологічного блоку М1, що розміщений всередині структури Flat Sequence Structure і забезпечує створення методом Монте-Карло масиву випадкових чисел в інтервалі від 0 до 1, з подальшим перетворенням цього масиву в масив випадкових похибок вимірювання в інтервалі $-2\text{мкм} \dots +2\text{мкм}$. Результат вимірювання одержано за математичною моделлю підсумовування випадкових відхилень (за умови нульової похибки вимірювання) та відповідних випадкових похибок δ_i контрольної системи.

На рисунку 4.4 наведено програмний код для моделювання процедури контролю та визначення відсотку $A_{\Delta i}$ придатних виробів, оцінених за математичною моделлю $A_{\Delta i} = \sum \beta_{\Delta i} \cdot 100/n$ (за умови врахування похибки вимірювання).

Використано функції, що обчислюють логічне «AND» для входів. Обидва входи повинні бути булевими або числовими значеннями. Спочатку, якщо обидва входи мають значення TRUE, функція повертає TRUE; в іншому випадку повертається значення FALSE. Потім перетворює булеве значення FALSE або TRUE в ціле число

β_{Δ_i}

(бал придатності виробу, за умови врахування похибки контрольної системи) зі значенням 0 або 1 відповідно.

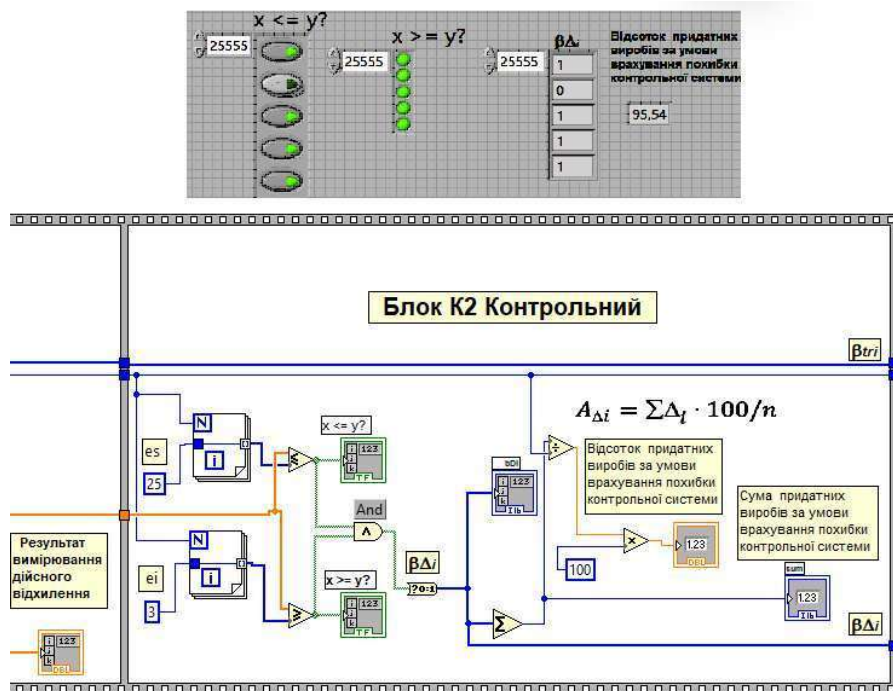


Рис. 4.4 – Програмний код контрольного блоку К2

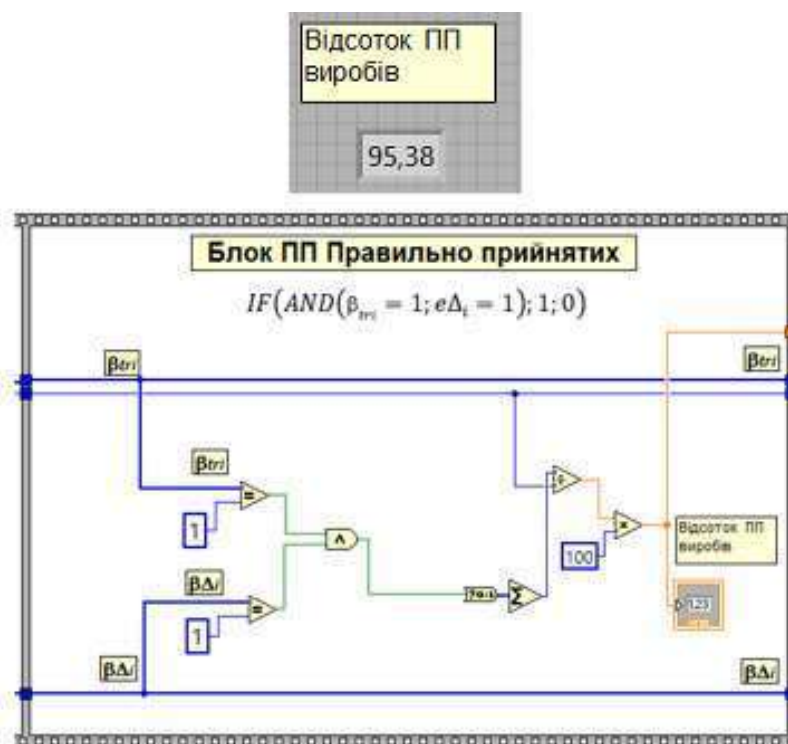


Рис. 4.5 – Програмний код блоку ПП – Правильно прийнятих виробів

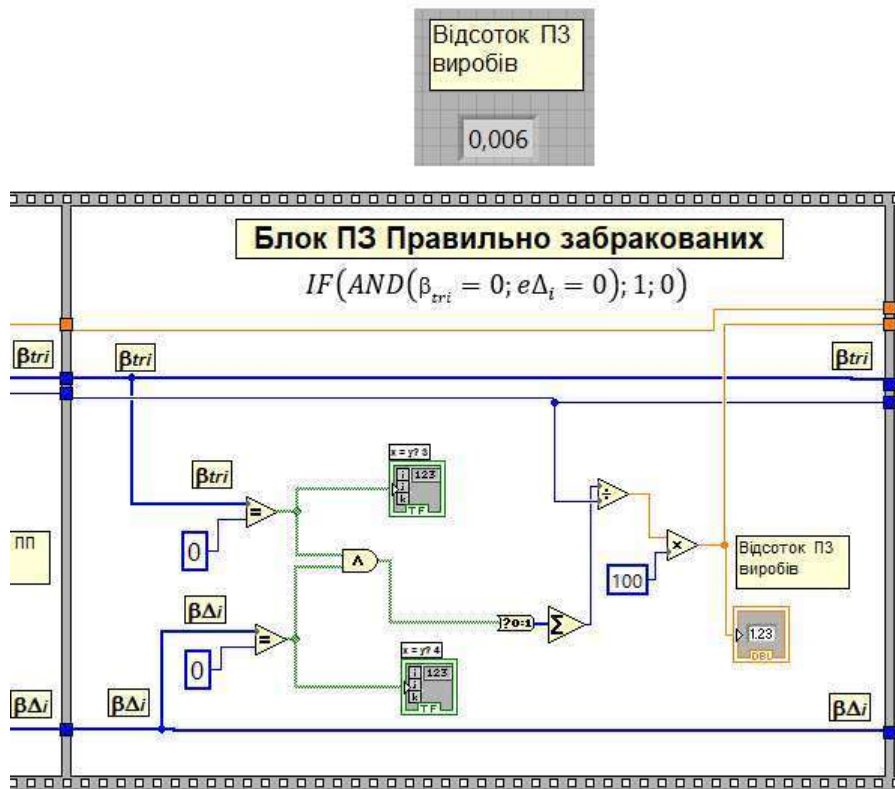


Рис. 4.6 – Програмний код блоку ПЗ – Правильно забракованих виробів

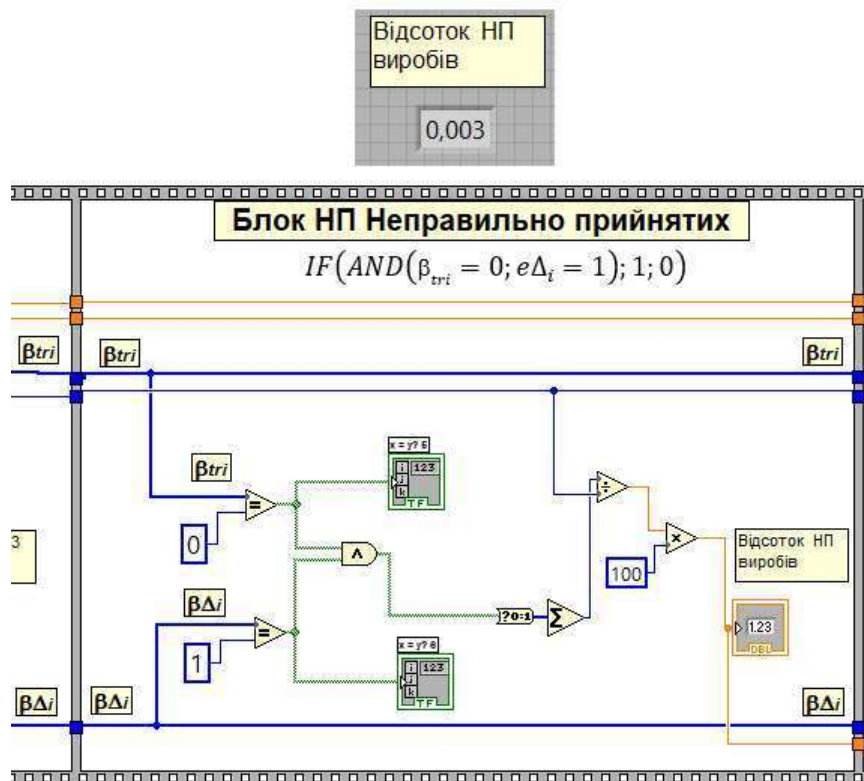


Рис. 4.7 – Програмний код блоку НП Неправильно прийнятих виробів

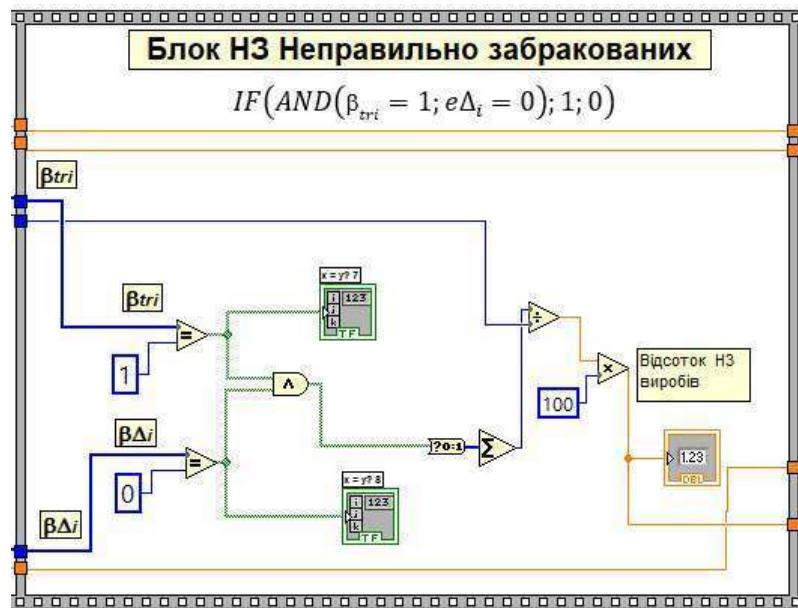


Рис. 4.8 – Програмний код блоку **НЗ Неправильно забракованих виробів**

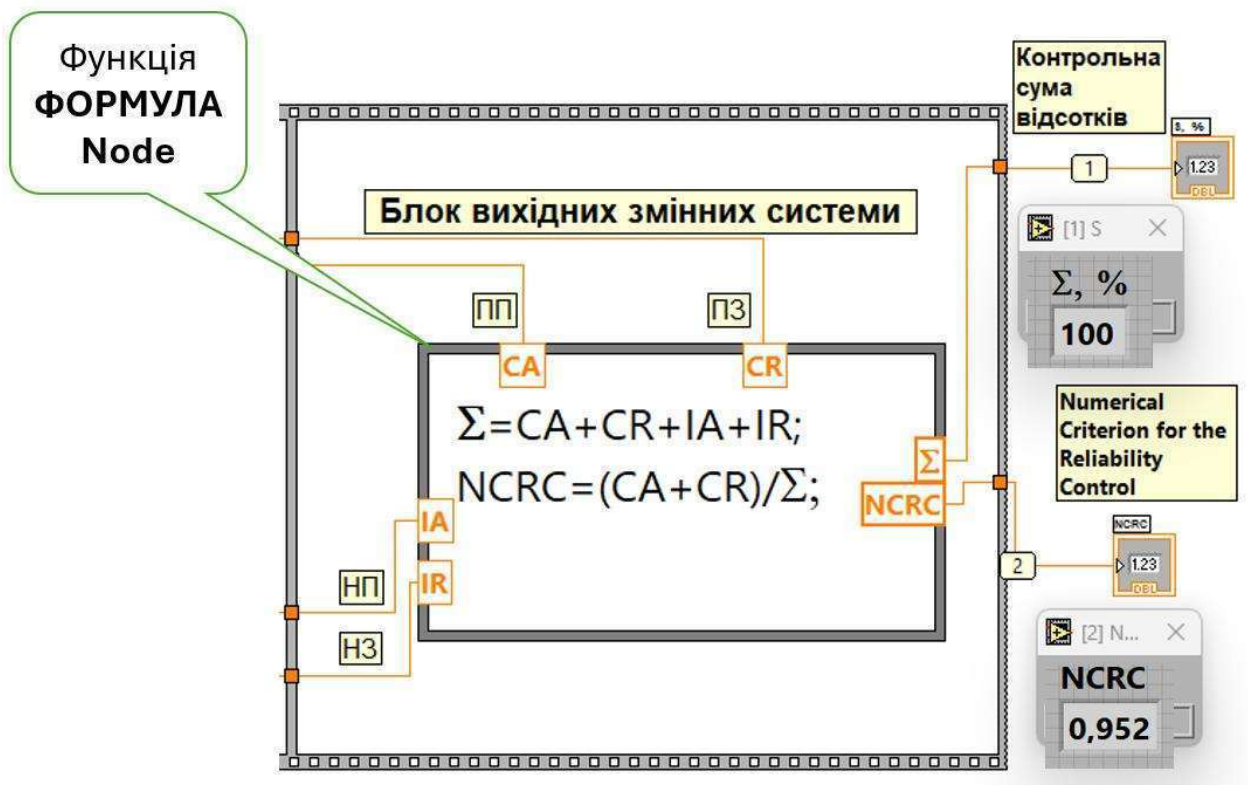


Рис. 4.9– Програмний код блоку **Вихідних змінних системи**

4.2 Результати та висновки до спеціального розділу

1. Використано інноваційне методичне забезпечення для розрахунку обґрунтованості процедур контролю геометричних параметрів виробів машинобудування, яке базується на сучасних комп'ютерних інформаційних технологіях.

2. Підтверджено вибір числового критерію достовірності контролю геометричних параметрів виробів машинобудування, а саме відношення суми правильно прийнятих і правильно забракованих виробів до загального обсягу статистичної вибірки.

3. Для підрахунку кількості правильно прийнятих, неправильно прийнятих, правильно забракованих і неправильно забракованих деталей застосовано метод моделювання процедур контролю, поєднаний з методом Монте-Карло.

6. Визначальними факторами, що впливають на значення критерію надійності процедур контролю, були значення нормованої граничної похибки вимірювання та числове значення допуску на розмір виробу.

7. Створений віртуальний пристрій для оцінювання достовірності контролю геометричних параметрів машинобудівних виробів в залежності від точності інструменту успішно впроваджено в навчальний процес.

Посилання до розділу 4

1. Voichyshen, O., Patsera, S., Derbaba, V., Bohdanov, O. (2024). Virtual Device for Assessing the Geometric Parameters' Reliability Control for Mechanical Products Depending on the Tool Accuracy.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-61797-3_35

2. Василенко, Ю.А., Копча-Горячкіна Г.Е. Методичний посібник до курсу “Основи дискретної математики”. Частина II. (2005). Закарпатський державний університет Факультет інформатики Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій

<https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/16381/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82-%D0%94%D0%9C-%D1%87-2.pdf>

3. Khalid, M. Monte Carlo analysis for probabilistic risk assessment. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition), Academic Press, 517-522 (2023). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00109-3>
4. Derbaba, V. Zil, V. Patsera, S. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes. Scientific Bulletin of National Mining University. 5(143), 45-50. (2014). <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/49-05/1445-2014-5-derbaba/0/>
5. Kodosky, J.: LabVIEW. National Instruments, USA. Proceedings of the ACM on Programming Languages. Volume 4. Issue HOPL. Article No.: 78. pp 1–54. (2020) [https:// doi.org/10.1145/3386328](https://doi.org/10.1145/3386328)
6. Song, RY. Research on Testing System of Asynchronous Motor Based on LabVIEW. In: Tong, X., Liano, W. Proceedings of the 2016 2nd international conference on materials engineering and information technology applications. (107). Pp. 401-404. Atlantis Press, Paris (2017). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000429966800083>
7. Ursutiu, D., Samoila, C., Jinga, V. Creative developments in LabVIEW student training (Creativity Laboratory - LabVIEW Academy). In: Proceedings of 2017 4th experiment@international conference (exp.at'17). pp.309-312. (2017). [https:// www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000412842600078](https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000412842600078)
8. Zhao, CX.: Study of remote experiment management based on LabVIEW. In: Sun, Q., Xu, X. Proceedings of the 2016 international conference on education, management and computing technology (ICEMCT-16), 59, 19-23. Yangzhou (2016) <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000389384000005>

Додаток Б. Графічний матеріал до технологічного розділу

Налаштування до операції 010: Багатоцільова з ЧПК

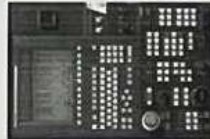
Перехід 10. Точити чисто базову шийку деталі зі сторони лівого торцю до $\varnothing 90,34 \pm 0,087$, витримуючи розмір $59,7 \pm 0,1$

Перехід 10. Точити чисто базову шийку деталі зі сторони лівого торцю до $\varnothing 90,34 \pm 0,087$, витримуючи розмір $59,7 \pm 0,1$

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

- 2.1 Визначення серійності виробництва..... 10
- 2.2 Обґрунтування способу оскрашування заготовки..... 10
- 2.3 Вибір методів оброблення поверхонь. Визначення маршруту оброблення деталі..... 11
- 2.4 Обґрунтування вибору верстату..... 14
- 2.5 Розрахунки та обґрунтування режимів обробки..... 16
- 2.6 Вибір різальних інструментів..... 17
- 2.7 Вибір вимірвальних інструментів..... 20
- 2.7 Нормування технологічних переходів і операцій..... 20

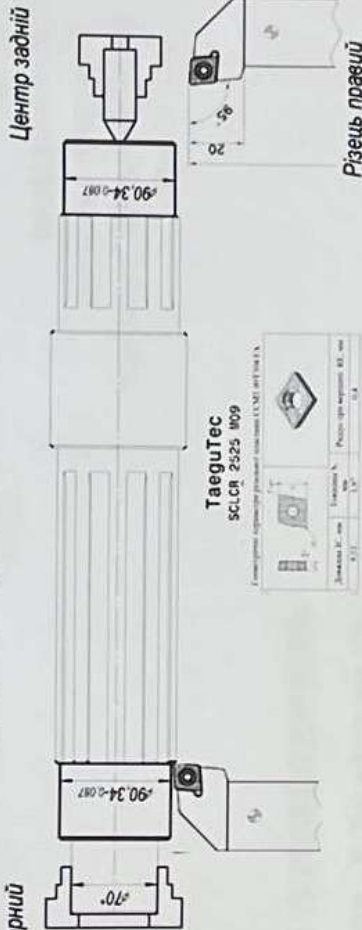
Верстат токарно-фрезерний з ЧПК
PUMA 2600 SMX DOOSAN
 (Південна Корея)



Загальний вигляд системи ЧПК Puma

- M - верстат має фрезерну головку.
- S - верстат має контршпіндель.
- Максимальна довжина обробки 1540 мм.
- Максимальний оброблюваний діаметр 660 мм.
- Потужність двигуна головного руху 30 кВт.
- Максимальна швидкість обертання шпинделя 4000 об/хв

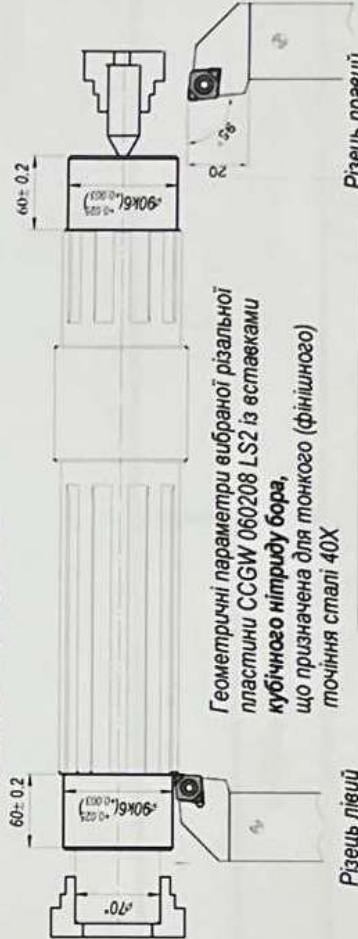
Патрон токарний із сирими кулачками



Налаштування до операції 025: Токарна фінішна з ЧПК

Перехід 1. Точити тонко базову шийку деталі зі сторони лівого торцю до $\varnothing 90k6 \pm 0,025$, витримуючи розмір $60 \pm 0,2$

Перехід 10. Точити тонко базову шийку деталі зі сторони лівого торцю до $\varnothing 90k6 \pm 0,025$, витримуючи розмір $60 \pm 0,2$



Вибрані режими механічного оброблення

Діаметр поверхні, мм	Сталь обробки	Глибина різання, мм	Подача, мм	Швидкість різання, м/хв
Ø90k6	чорнова	1,5	0,50	200
	чистова	0,5	0,25	250
	тонка	0,15	0,15	300
Ø98П	чорнова	1,0	0,50	200
	чистова	0,3	0,15	300

	Розмір LE вставки CBN, мм	9,52	Довжина IC, мм	6,35	Товщина S, мм	2,38	Радіус при вершині RE, мм	0,4
--	---------------------------	------	----------------	------	---------------	------	---------------------------	-----

Handwritten signature and notes in red and blue ink.

		02070743.10101.00011		1	1
НТУ «ДП»				02070743.60140.01103	
Шпindelь		14	4	3	

«Затверджую»

Головний інженер ()

«_» _____ 2025 р.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС механічного оброблення

«Погоджено»
 Метрологічний контроль ()
 Провідний технолог ()
 Нормоконтроль ()
 «_» _____ 2025 р.

Гол. технолог ()
 Гол. спеціаліст ()
 Розробник (О. Даців)
 «20» *Гравне* 2025 р.

ДОДАТОК В ТЕХНОЛОГІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

														2	
Розроб	Даців О.			НТУ «ДП»						02070743.60.140.01103					
Норм											Шпindelь				
M01	Прокат / Сталь 40X ДСТУ 7809:2015														
M02	Код	ОВ	МД	ЕН	Н. витрат	КВМ	Код загот.	Профіль и розміри		КД	МЗ				
			38		56	0,6	прокат	Круг 110- В ДСТУ 4738:2007		1	55				
А	Цех	Дільн	РМ	Опер.	Код, найменування операції		Позначення документа								
Б	Код, найменування устаткування				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КООД	ОВ	Т _{шт.}	Т _{шт.к}		
А 01	1	2	5	005	Заготівельна										
03															
А 04	11	1	1	010	Багатоцільова з ЧПК										
Б 05	Токарно-фрезерний верстат з ЧПК моделі PUMA 2600 SMX						5	1	1			123,62	100	223,62	
06															
А 07	4	7	8	020	Термічна										
Б 08															
09															
А 10	11	5	3	025	Токарна фінішна з ЧПК										
Б 11	Токарно-фрезерний верстат з ЧПК моделі PUMA 2600 SMX														
12							7	1	1			6,45	40	46,45	
А 13	Контрольна														

МК

Додаток Д. Графічний матеріал до Спеціального розділу
 Віртуальний прилад для визначення достовірності процедур контролю діаметру шпинделя

Фронтальна панель

Масив випадкових чисел 0 ... 1		Випадкові відхилення за умови нульової похибки контрольної системи, мкм	
25555	0,54	25555	14,83
	0,17		6,69
	0,42		12,25
	0,98		24,61
	0,75		19,43

Блок Діаграм

Flat Sequence Structure



Початкові дані

Обсяг вибірки, шт

Ніжня межа розсіювання, мкм

Інтервал розсіювання, мкм

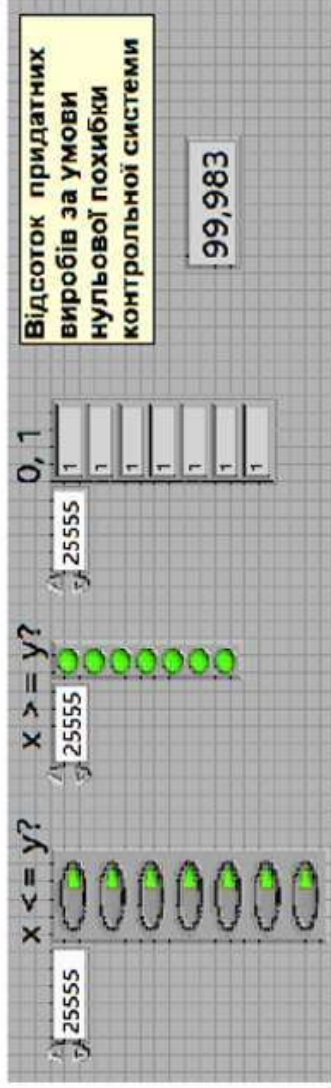
Гранична похибка контрольної системи Δ, мкм

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ
 МАСИВУ
 ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a \\ \frac{1}{b-a}, & \text{при } a < x \leq b \\ 0, & \text{при } x > b \end{cases}$$

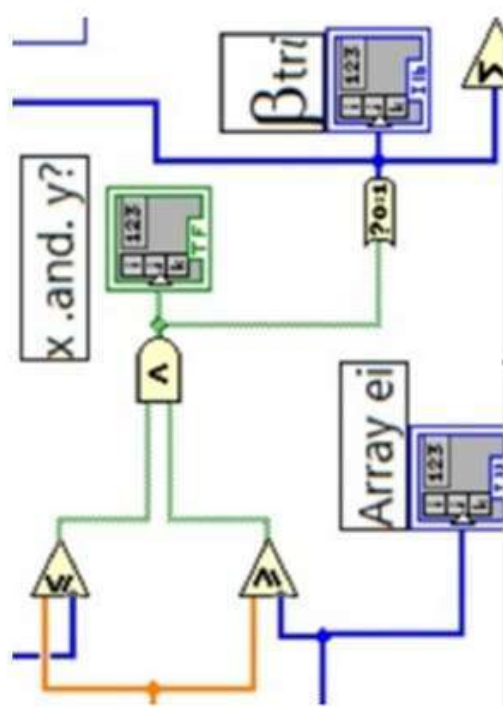
Handwritten notes in red ink:
 20
 2023

Додаток Д. слайд 2



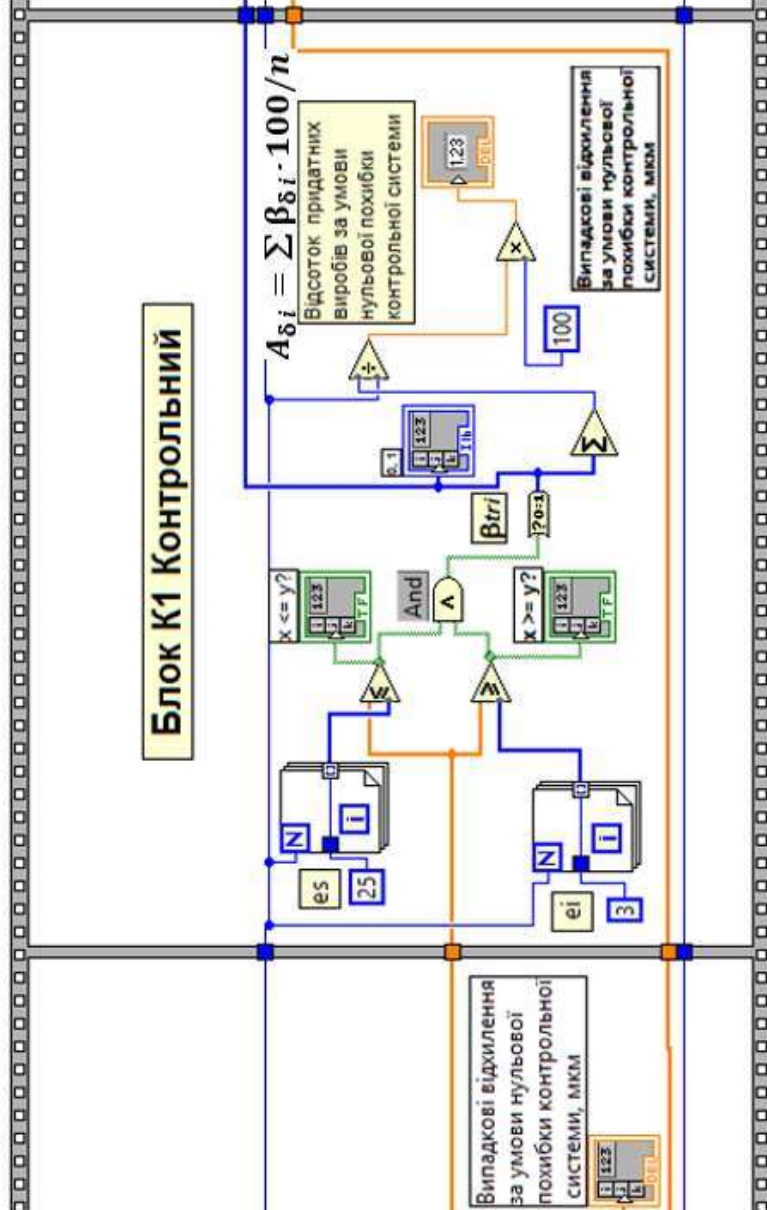
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ – Логічна формула:

$$IF(AND(e_tri > = ei; e_tri < = es); 1; 0)$$



Функції, що обчислюють логічне «AND» для входів. Обидва входи повинні бути булевими або числовими значеннями. Спочатку, якщо обидва входи мають значення TRUE, функція повертає TRUE; в іншому випадку повертається значення FALSE. Потім перетворює булеве значення FALSE або TRUE в ціле число

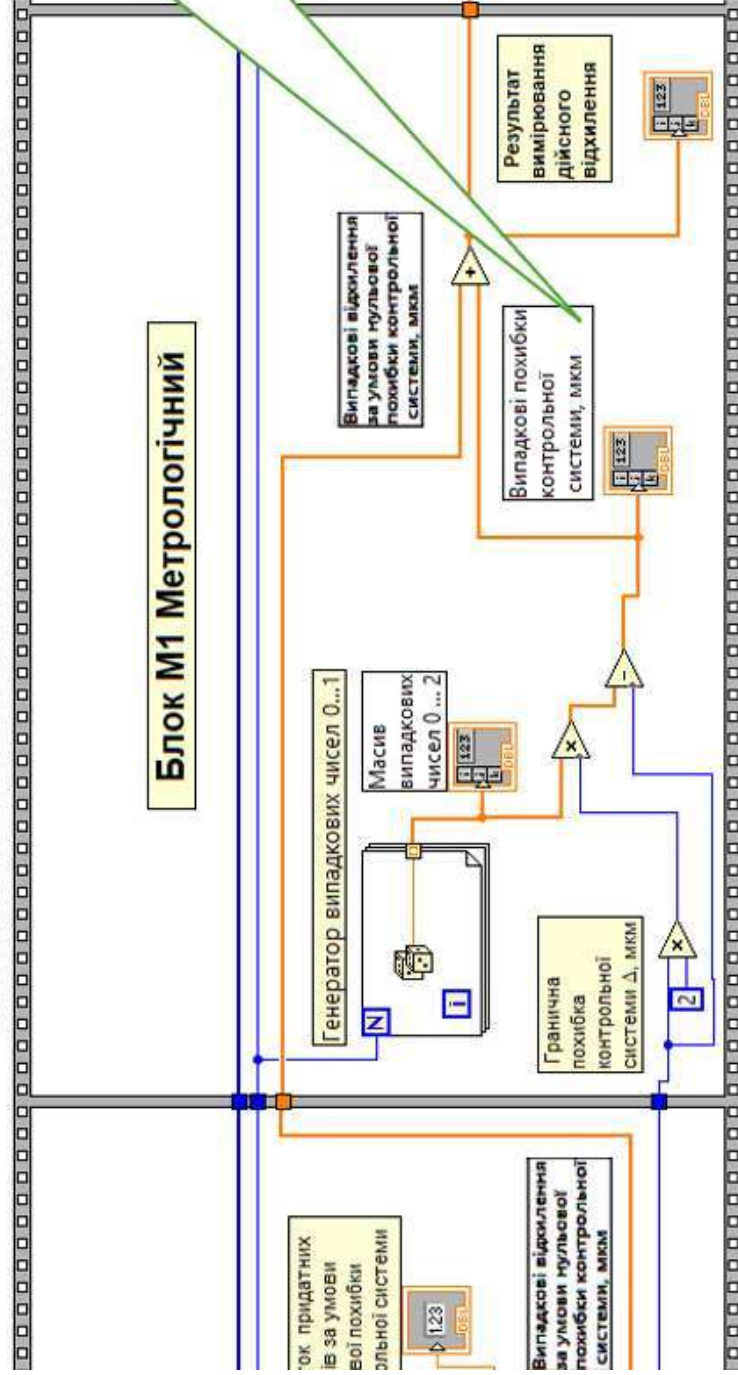
β_{tri}



Додаток Д. слайд 3

Масив випадкових чисел 0 ... 2		Випадкові похибки контрольної системи, мкм	
25555	0,26	25555	-0,97
	0,79		1,2
	0,94		1,8
	0,18		-1,3
	0,23		-1,1

Результат вимірювання дійсного відхилення, мкм	
25555	19,3
	26
	18,8
	11,9
	13,6



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ
МАСИВУ
ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ:

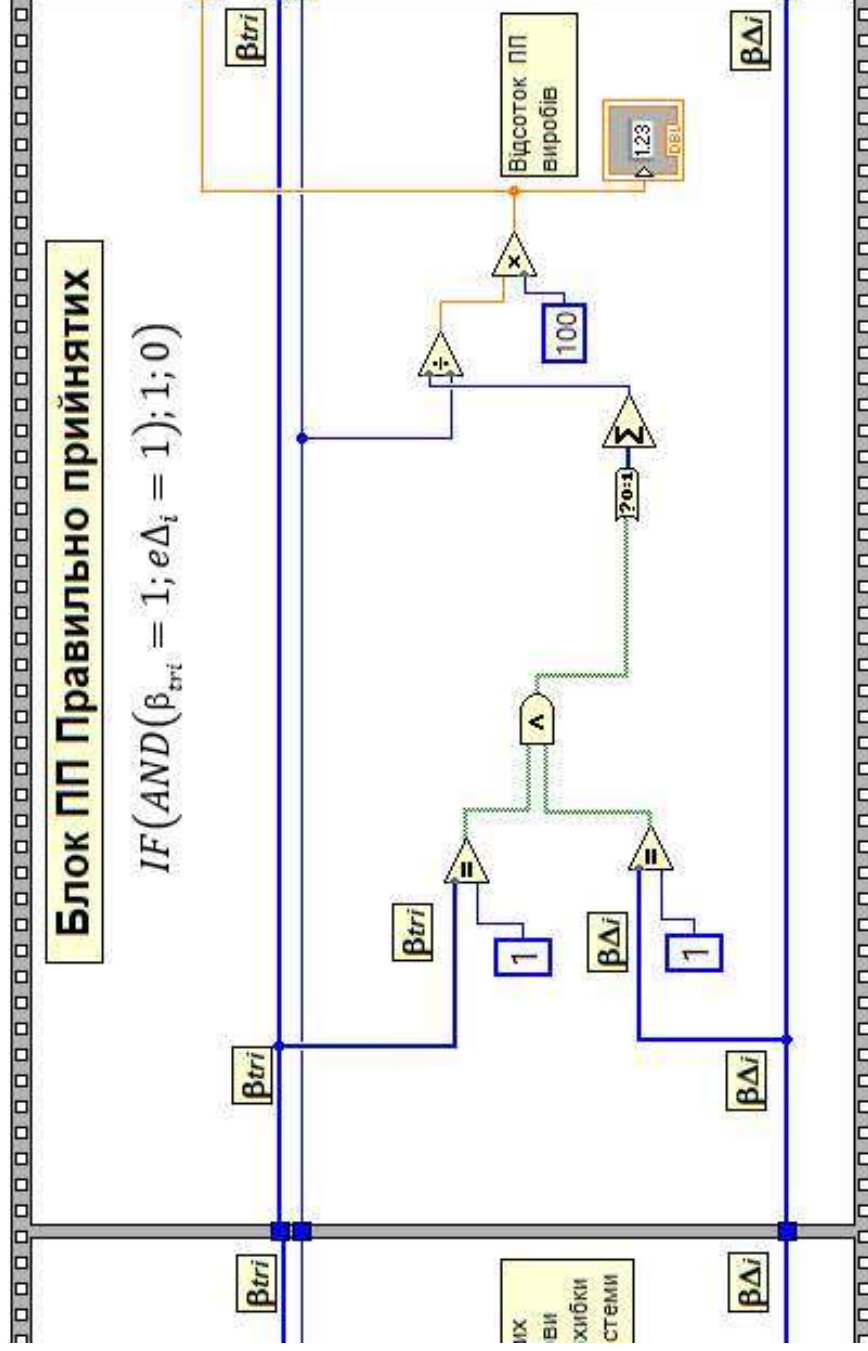
$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a \\ \frac{1}{b-a}, & \text{при } a < x \leq b \\ 0, & \text{при } x > b \end{cases}$$

$a = -2$ $b = 2$

**Розподіл
рівномірний**

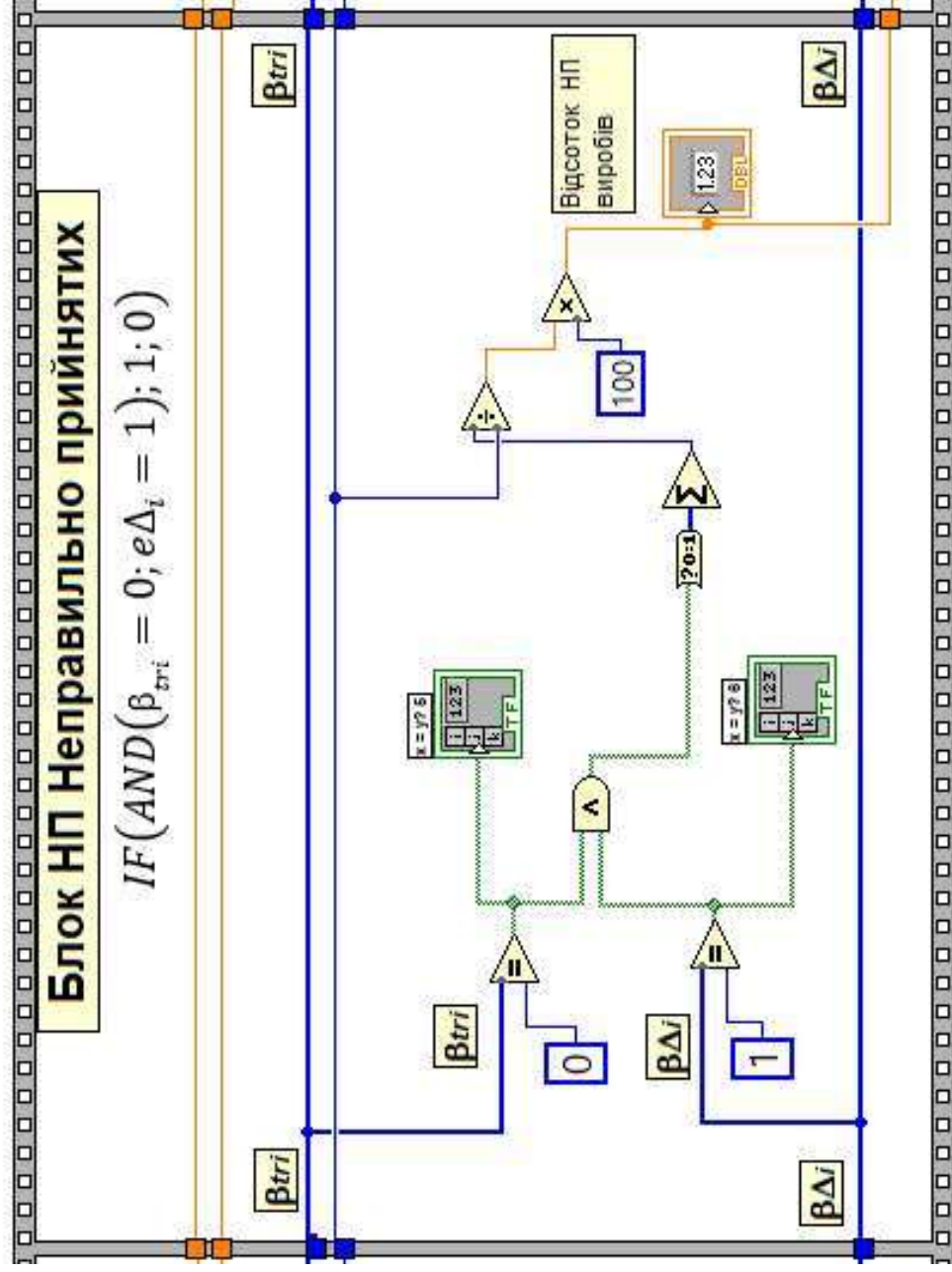
Додаток Д. слайд 5

Відсоток ПП виробів	95,38
---------------------	-------



Відсоток НП виробів	0,003
---------------------	-------

Додаток Д. слайд 7

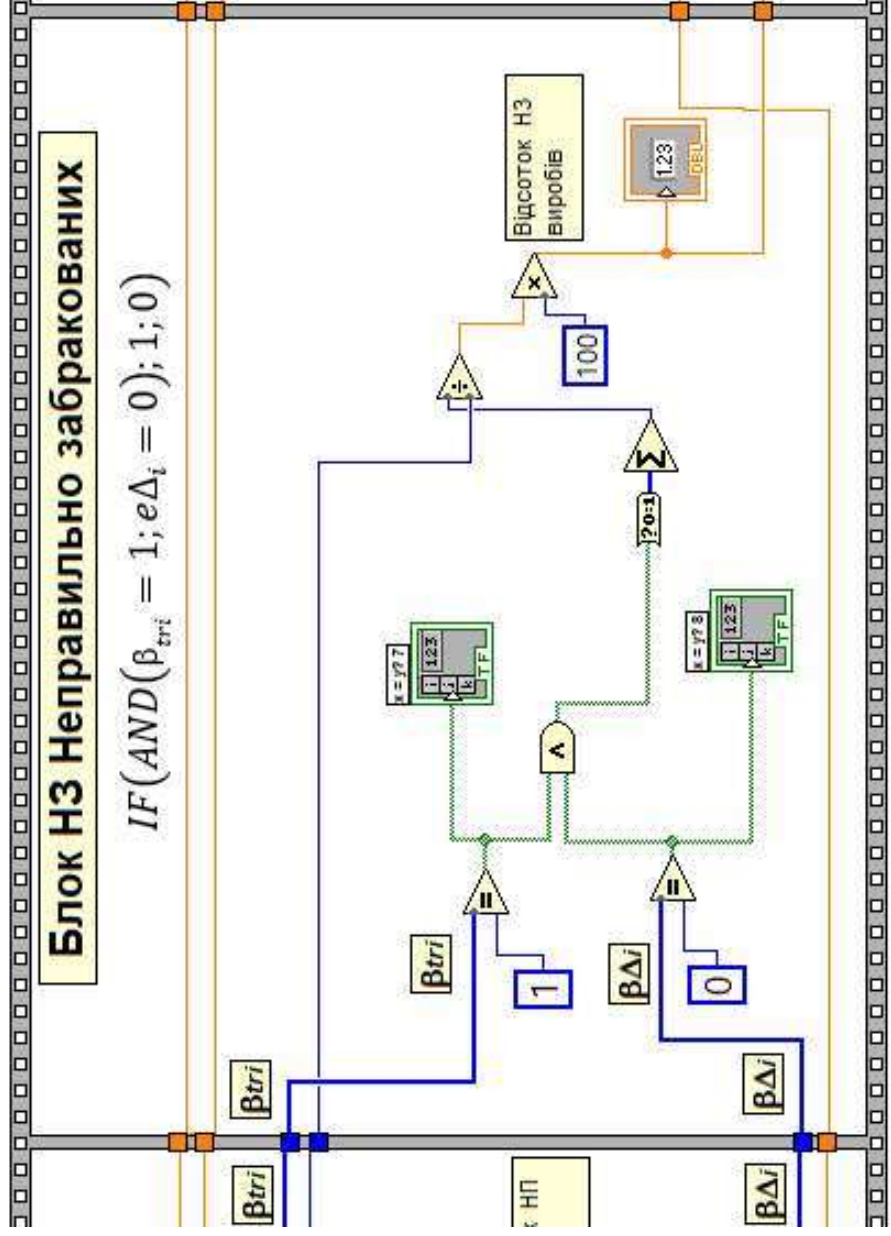


Додаток Д. слайд 8

Відсоток НЗ виробів
4,603

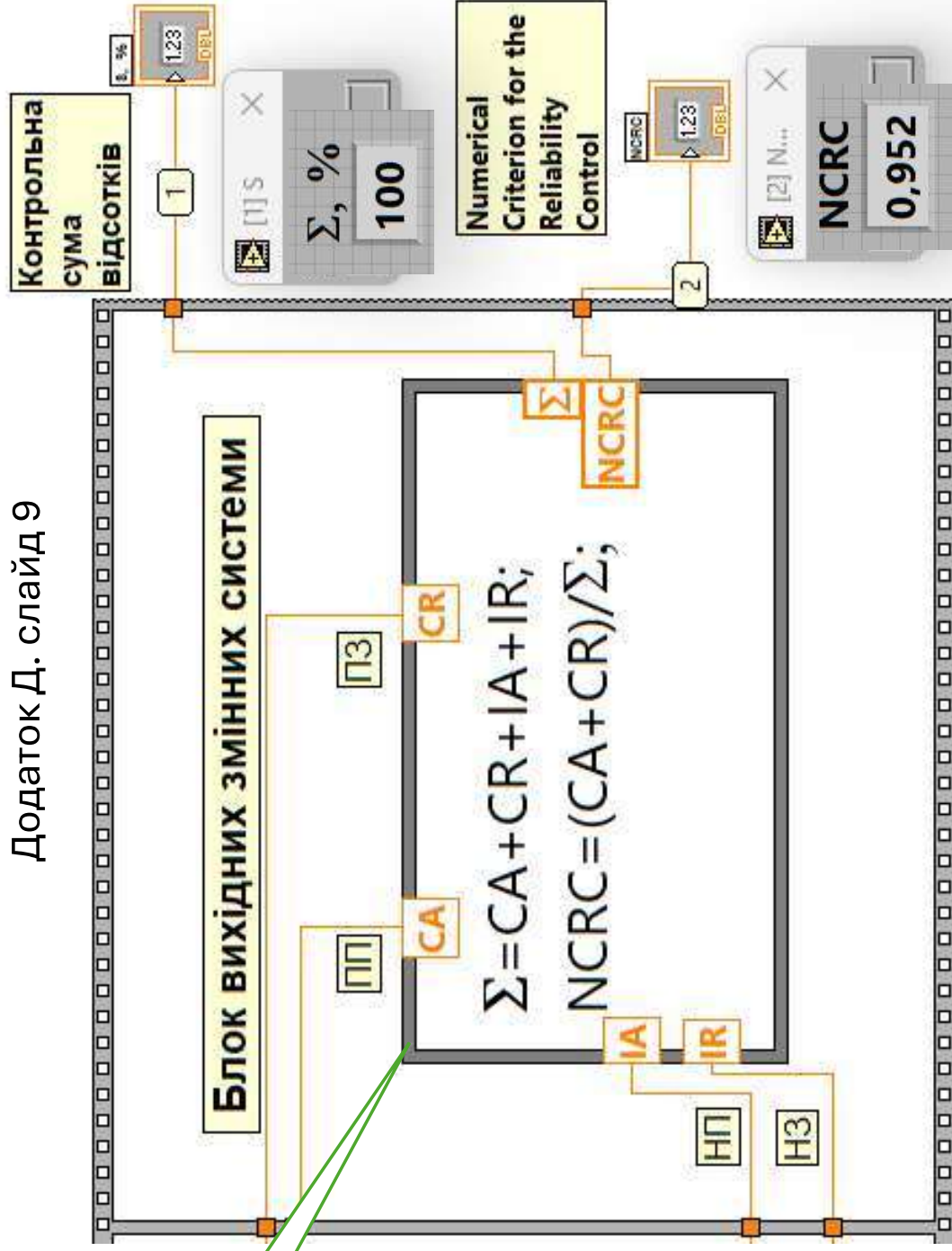
Блок НЗ Неправильно забракованих

$$IF(AND(\beta_{tri} = 1; e\Delta_i = 0); 1; 0)$$



Додаток Д. слайд 9

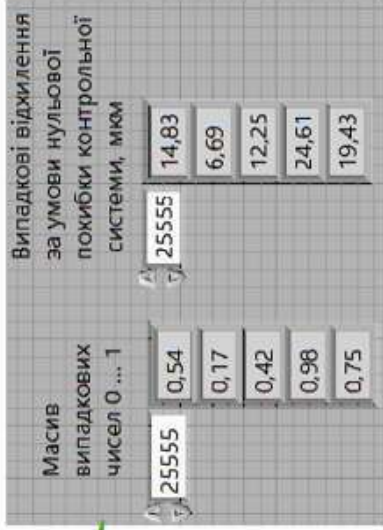
Функція
ФОРМУЛА
Node



Додаток Д. Графічний матеріал до Спеціального розділу

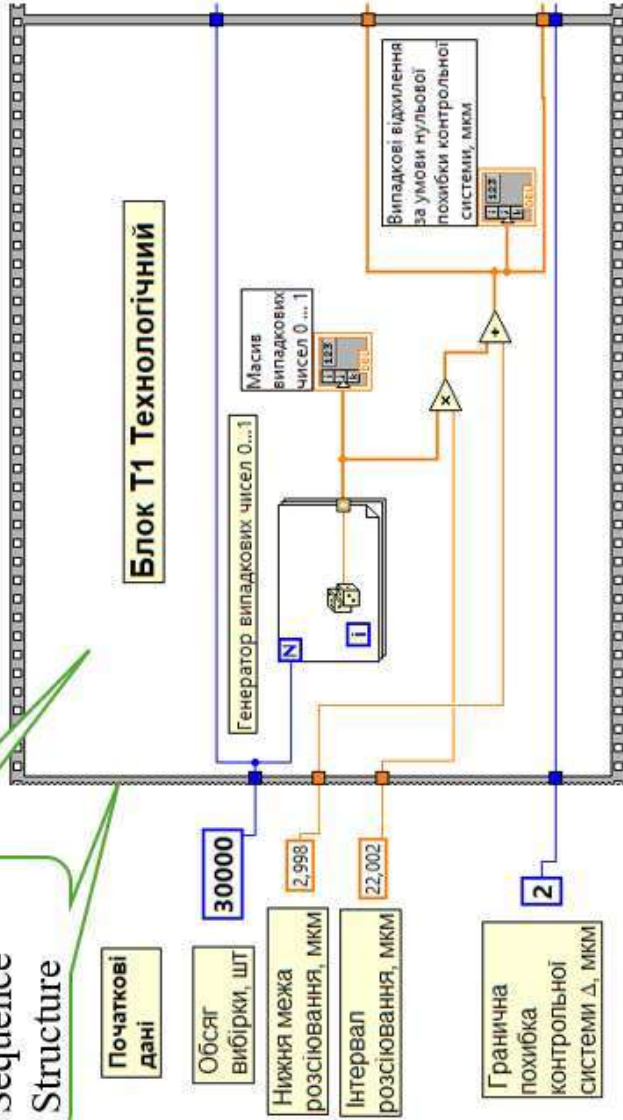
Віртуальний прилад для визначення достовірності процедур контролю діаметру шпинделя

Фронтальна панель



Блок
Діаграм

Flat
Sequence
Structure



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ
МАСИВУ
ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a \\ \frac{1}{b-a}, & \text{при } a < x \leq b \\ 0, & \text{при } x > b \end{cases}$$

