

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

Кафедра Механіко-машинобудівний факультет  
Технологій машинобудування та матеріалознавства  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Тарасенко Іван Віталійович  
(ПІБ)

академічної групи 131М-21н-1  
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною  
програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»  
(офіційна назва)

на тему «Дослідження параметрів процесу взаємодії передньої  
поверхні леза зі стружкою при токарній обробці  
поверхонь деталі Корпус превентора»  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Пацера С.Т.	96	відмінно	
розділів				
Аналітичний	Пацера С.Т.	95	відмінно	
Технологічний	Пацера С.Т.	95	відмінно	
Спеціальний	Пацера С.Т.	98	відмінно	
Науково- дослідницький	Пацера С.Т.	96	відмінно	
Рецензент	Бас К.М.	93	в.д.мін.	
Нормоконтроль	Рубан В.М.	93	в.д.мін.	

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
кафедри технологій  
машинобудування та  
матеріалознавства

(повна назва)

В.А. Дербаб

(прізвище, ініціали)

02 \_\_\_\_\_ 2023 р.

*Захисник*  
*fo*

*(підпис)*  
*«21»*

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Тарасенку Івану Віталійовичу  
(ПІБ)

академічної групи 131М-21Н-1 ММФ  
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг  
машинобудівного виробництва»  
(офіційна назва)

на тему: «Дослідження параметрів процесу взаємодії передньої поверхні  
леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталі Корпус  
превентора»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка»  
від 10.05.2023 за № 336с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз технологічності конструкції деталі Корпус превентора	19.03.2023
Технологічний	Проектування операційної технології механічної обробки на верстатах з ЧПК. Розробка комплекту технологічної документації	19.04.2023
Спеціальний	Дослідження достовірності контрольних процедур на переходах вимірювання діаметрів деталі	19.02.2023
Науково-дослідницький	Алгоритмічна модель визначення параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталі «Корпус превентора»	19.05.2023

Термін подання до ДЕК: 05.06.23

Завдання видано 24.02.23

Прийнято до виконання 08.03.23

*(підпис)*  
*(підпис)*

С.Т. Пацера

І.В. Тарасенко

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 62 с., рис. 23, табл. 19 , додатків 15, джерел 31

**Тема:** Дослідження параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталі «Корпус превентора»

На взаємодію передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці впливає комплекс параметрів різального процесу і, як наслідок, змінюються показники ефективності технології обробки. Тому дослідження відповідних математичних моделей різання не втрачають актуального значення.

**Об'єкт дослідження** (розробки) у кваліфікаційній роботі – процеси механічного оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь на прикладі деталі «Корпус превентора». Деталь застосовується у нафтогазовій промисловості.

**Предмет дослідження** – параметри процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці.

**Метою дослідження** є автоматизована побудова графіку залежності нормальних напружень в зоні взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою.

**Методика досліджень** – комп'ютерні експерименти на базі створеної алгоритмічної моделі.

**Ключові слова:** технологія, операція, розточування, верстат з ЧПК, параметри процесу.

## ЗМІСТ

<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Загальна характеристика деталі.....	5
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі Корпус превентора .....	7
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>9</b>
2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки .....	9
2.2 Вибір методів обробки поверхонь (МОП), розробка маршруту обробки деталі (МОД).....	11
2.3 Обґрунтування вибору верстату .....	13
2.4 Вибір різального інструменту .....	14
2.5 Вибір вимірювального інструменту .....	20
2.6 Заповнення карт технологічної документації.....	22
<b>3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>23</b>
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЬНИХ ПРОЦЕДУР НА ПЕРЕХОДАХ ВИМІРЮВАННЯ ДІАМЕТРІВ ДЕТАЛІ</b>	
3.1 Постановка проблеми .....	23
3.2 Обґрунтування методики комп'ютерного моделювання процедур контролю .....	23
3.3 Методичний підхід до визначення вихідних даних у дослідженні.....	23
3.4 Програмна реалізація на базі електронних таблиць Microsoft Excel.....	25
3.5 Програмна реалізація на базі ni labview.....	25
3.6 Результати дослідження та висновки .....	29
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ. ....</b>	<b>31</b>
<b>АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЛЕЗА ЗІ СТРУЖКОЮ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ «КОРПУС ПРЕВЕНТОРА»</b>	<b>31</b>
4.1 Вступ.....	31
4.2 Класифікація відомих експериментальних методів дослідження проблеми	32
4.2 Огляд математичних моделей процесу .....	33
4.3 Створення алгоритмічної моделі визначення параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці .....	39
<b>ЗАГАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ.....</b>	<b>42</b>

**Перелік посилань**

**ДОДАТКИ**

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Загальна характеристика деталі

Виріб «Універсальний превентор» призначений для безпеки в процесі ведення робіт на нафтогазових свердловинах при виникненні нештатних ситуацій. Під останніми мають на увазі аварійну втрату працездатності при раптових викидах і фонтануванні. Виріб входить до противикидного обладнання нафтогазових свердловин, яке забезпечує проведення наступних робіт:

- герметизацію свердловини, включно закриття - відкриття плашок (ущільнювача) без тиску і під тиском;

- спуск-підйом колони бурильних труб при герметизованому гирлі, включаючи протягування замкових з'єднань, ходіння труб, підвіску колони труб на плашки і утримання її в свердловині при викиді;

- циркуляцію бурового розчину із створенням регульованого протитиску на забій і його дегазацію;

- оперативне управління гідроприводними складовими частинами обладнання.

Машинобудівні підприємства серійно випускають один тип універсальних превенторів з гідравлічним дистанційним керуванням. Основні технічні характеристики універсального превентора ПУГ×230×320 наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики превентора

Тип	Шифр	Діаметр прохідного отвору, мм	Тиск, МПа		Змінні плашки під труби діаметром, мм	Габаритні розміри, мм	
			робочий	пробний		діаметр	висота
ПУГ	ПУГ 230	230	32	64	60, 63,5, 73, 89, 114, 127, 141, 146, 168	865	1300

Типова конструкція універсального превентора показана на рис. 1.1. На кришці превентора 1 мається 12 отворів під шпильки М36×3 та ущільнювальна канавка приєднувального кільця фланця превентора. Наявність шпильок та

канавки під приєднувальним кільцем дозволяє встановити вище універсального превентора додатковий герметизуючий пристрій.

Базовою деталлю універсального превентора є Корпус 2 . У корпус превентора 2 встановлюється конічний плунжер 4 . При цьому на конічний плунжер попередньо встановлені дві пари ущільнювальних манжет.

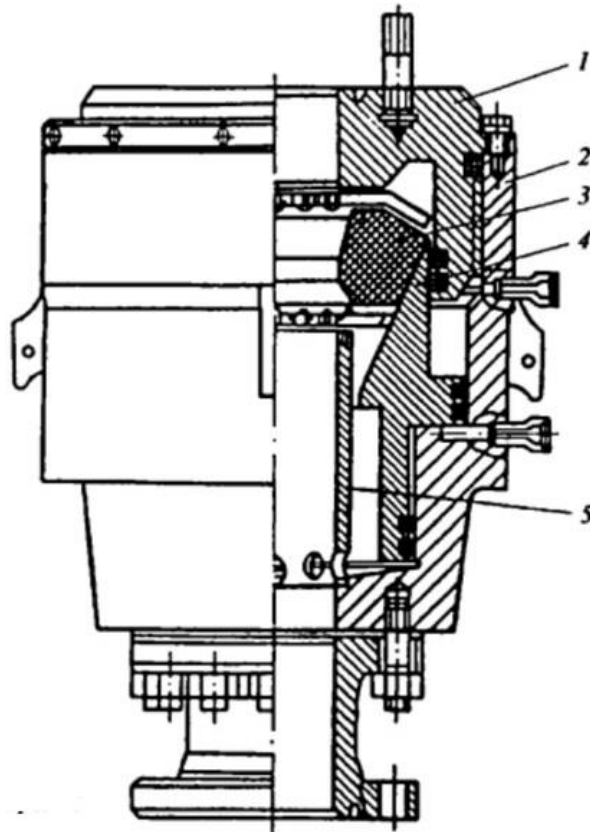


Рис. 1.1 – Конструкція універсального превентора [1]:  
1– кришка превентора, 2– корпус превентора, 3– ущільнювач гумовий,  
4 – плунжер конічний, 5– втулка напрямна

На верхній торець конічної поверхні плунжера 4 тимчасово ставиться технологічний фланець, на який тиснуть за допомогою кришки 1 для переміщення плунжера у крайнє нижнє положення. Після цього кришку 1 від'єднують, а технологічний фланець витягають.

На внутрішню циліндричну поверхню втулки 5 наносять мастило ЛІТОЛ-24<sup>1</sup> і після цього встановлюють у корпус превентора 2. Далі встановлюють на конічну поверхню плунжера 4 ущільнювач гумовий 3. Складання закінчується нагвинчуванням кришки 1 та стопоріння її болтами. Після складання проводять

<sup>1</sup> ДСТУ ГОСТ 21150:2019 Мастило Літол-24

гідравлічні випробування запірної та розпірної камер (на герметичність та функціонування).

Розроблений кресленик деталі «Корпус превентора» наведено в додатку А.

## 1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі Корпус превентора

Деталь Корпус превентора виконано з вуглецевої якісної конструкційної легованої сталі 40Х ДСТУ 7809:2015 [2]. Вказана сталь застосовується для відповідальних деталей, від яких вимагається підвищена міцність. Норми хімічного складу сталі 40Х наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Норми масової частки хімічних елементів у сталі 40Х, %

Вуглецю	Хрому	Марганцю	Кремнію
<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>
0,36 – 0,44	0,80 – 1,10	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37

Механічні властивості прокату повинні відповідати наступним нормам

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 40Х [2]

Границя плинності $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий опір $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне видовження $s$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %
785	980	10	45

Вказані в табл. 1.3 властивості сталі відповідають наступним режимам термічного оброблення:

- температурі гартування 860 °С;
- температурі відпускання 500 °С (вода або олива).

Найточнішими є внутрішні циліндричні поверхні  $\varnothing 778H9^{(+0,2)}$ ,  $\varnothing 706H6^{(+0,050)}$ ,  $\varnothing 485H9^{(+0,155)}$ , за якими відбувається рухомий контакт з іншими деталями превентора. Шорсткість вказаних поверхонь (за відповідними рекомендаціями у довідниках) повинна бути на рівні *Ra* 1,6. Також аналогічні вимоги стосуються поверхонь прямокутної нарізи (із кроком, за яким відбувається нагвинчування кришки).

На торцевих поверхнях деталі "Корпус превентора" мають отвори з метричною нарізкою: відповідно 12 отворів M36×3-6H та 86 отворів M12×1,5-6H.

Допуски позиційних відхилень координат отворів мають статус «залежних» і становлять відповідно 0,5 та 0,8 мм відповідно (у діаметральному вираженні).

Коефіцієнт використання матеріалу буде визначено далі в технологічному розділі.

Результати оцінки технологічності деталі наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати оцінки технологічності конструкції деталі за якісними показниками

Показники технологічності конструкції деталей	Оцінка технологічності деталі ±/–
1. Наявність у деталей стандартних та уніфікованих елементів.	+
2. Можливість виготовлення деталей із стандартних чи уніфікованих заготовок (прокат, штампування, лиття тощо).	+
3. Наявність оптимальної точності та шорсткості поверхонь.	+
4. Відповідність фізико-хімічних та механічних властивостей матеріалу, твердості, форми та розмірів деталі вимогам технології механічної та термічної обробки.	+

Таким чином, запроєктована конструкція деталі "Корпус превентора" є технологічною.

Кресленик деталі наведено у Додатку А.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки

Деталь Корпус превентора виконана зі сталі 40Х. З огляду на конструкцію деталі, найбільш доцільним методом отримання заготовки для деталі "Корпус превентора" є литво.

Для виготовлення деталі «Корпус превентора» в дрібносерійному виробництві запропоновано виготовляти заготовку методом електрошлакового литва. Електрошлакове литво розроблене Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Воно відрізняється від інших способів виготовлення виливків високою якістю металу, що дає можливість використовувати його для виготовлення відповідальних деталей і вузлів для хімічної, нафтогазової, атомної та інших галузей промисловості.

На рис. 2.1 наведено загальний вигляд заготовки.

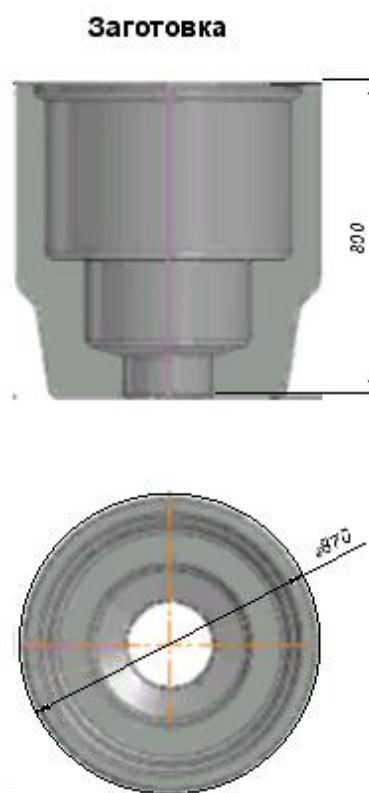


Рисунок 2.1 – Дві проєкції 3D моделі заготовки

ДП «Дослідний завод спецеелектрометалургії ІЕЗ ім. Є.О. Патона» НАН України [3, 4] виготовляє відливки методом електрошлакового переплаву вагою

від 50 до 6000 кг, суцільні і порожнисті злитки зі спеціальними властивостями вагою до 5000кг з легованої конструкційної сталі 40Х. Обладнання, яке мається у вказаному дослідному заводі дозволяє виробляти електрошлакове литво, а також відливати виливки із спеціальних сплавів. Виробничі потужності заводу забезпечують повний технологічний процес.

Припуски на заготовки з електрошлакового литва за своїми розмірами подібні припускам, що нормалізовані для литва у кокіль.

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) складе

$$КВМ = \frac{M_d}{M_z} = \frac{1578}{1814} = 0,87, \quad (1)$$

де  $M_d, M_z$  – відповідно маса деталі і заготовки.

Маси деталі і заготовки визначені за допомогою опції МЦХ САD-системи.

Міжопераційні припуски на механічну обробку зазвичай можуть бути визначені розрахунково-аналітичним, або табличним, методами.

Розрахунково-аналітичний метод не може бути застосованим для випадку відливки, що виготовлена методом електрошлакового переплаву. Тому, що не мається потрібних початкових даних стосовно впливу точності відповідного технологічного оснащення.

З подібної причини не мається можливості застосувати табличний метод.

В даному випадку застосовано експертний метод. Прийняті для проектування технології механічної обробки деталі "Корпус превентора" припуски наведено в табл. 2.1.


Таблиця 2.1 - Припуски на обробку поверхонь деталі

Діаметр поверхні, мм	Стадія обробки точінням	Довжина оброблюваної поверхні, мм	Припуск на сторону, мм
778; 758; 706;	Чорнове	58; 216; 218	1,7
	Чистове		0,8
485; 270	Чорнове	270; 108	1,2
	Чистове		0,5

## 2.2 Вибір методів обробки поверхонь (МОП), розробка маршруту обробки деталі (МОД)

Методи обробки поверхонь вибрані з урахуванням класу деталі, вимог до точності розмірів і заданої шорсткості поверхонь. Також враховано, що для механічної обробки застосовано сучасний оброблювальний центр з ЧПК, що дозволяє виконати тонке точіння з шорсткістю  $Ra1,25$ . Це дозволяє відмовитися від шліфувального верстату.

Таблиця 2.2 – Вибрані методи обробки поверхонь

Позначений розмір поверхні	Квалітет, ступінь точності	Шорсткість, $Ra$ , мкм	Вид оброблення
Зовнішні циліндричні поверхні ( $\varnothing 870 \dots i$ далі по зовнішньому контуру..)	16		Без видалення матеріалу механічним обробленням
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 778H9^{(+0,2)}$	9	3,2	Чорнове Чистове
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 758H10^{(+0,32)}$	10	3,2	Чорнове Чистове
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 706H6^{(+0,050)}$	9	3,2	Чорнове Чистове Тонке
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 485H9^{(+0,155)}$	9	3,2	Чорнове Чистове
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 270^{+2,1}$	14	5,0	Чорнове Чистове
Поверхні торців $790_{-3,6}$		6,3	Фрезерування одноразове
Нарізь прямокутна ( $10 \times 10$ ; крок $20 \pm 0,015$ )	Стандарти відсутні	2,5	Фрезерування дисковою фрезою
Метрична нарізь 76 отв. $M12 \times 1,25-6H$	6 ступінь точності	6,3	Свердління отворів $\varnothing 10,5$ під нарізь Обробка нарізі $M12 \times 1,25-6H$
Метрична нарізь	6 ступінь	6,3	Свердління отворів $\varnothing 20$ ,

Позначений розмір поверхні	Квалітет, ступінь точності	Шорсткість, <i>Ra</i> , мкм	Вид оброблення
12 отв. М36×3-6Н	точності		розсвердлювання до Ø33 під нарізь М36×3-6Н
Внутрішня поверхня канавки Ø726 <sup>+2</sup> висотою 12 <sup>+0,4314</sup>	14	3,2	Фрезерування дисковою фрезою
Внутрішня поверхня канавки Ø780 <sup>+2</sup> висотою 12 <sup>+0,43</sup>	14	3,2	Фрезерування дисковою фрезою
Два отвори з трубною конічною нарізю 1,5''	V.S. 21-1957		Формоутворення комплектом інструментів TaeguTec

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі "Корпус превентора"

Номер, найменування та зміст операцій	Обладнання	Спосіб закріплення	Базування
<p><b>010 Багатоцільова з ЧПК</b> Обробити торцеву поверхню (меншого діаметра) Свердли 12 отворів Ø20, розсвердли до Ø33 під нарізь М36×3-6Н отворів Обробити у 12 отв. нарізь М36×3-6Н</p>	The Universal Machining Center HAAS UMC 1000	Зовнішня поверхня заготовки	Торцева поверхня заготовки
<p><b>015 Багатоцільова з ЧПК</b> Обробити торцеву поверхню (більшого діаметра) Фрезерувати дві канавки висотою 12<sup>+0,43</sup> Свердли 76 отворів Ø10,5 під нарізь М12×1,25-6Н Обробити у 76 отв. нарізь М12×1,25-6Н Обробити 2 отвори із конічною трубною нарізю 1,5''</p>	The Universal Machining Center HAAS UMC 1000	Зовнішня поверхня заготовки Зовнішня поверхня заготовки	Торцева поверхня деталі

Номер, найменування та зміст операцій	Обладнання	Спосіб закріплення	Базування
Обробити внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 778H9^{(+0,2)}$ ; Обробити внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 758H9^{(+0,2)}$ ; Обробити внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 706H6^{(+0,05)}$ ; Обробити внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 485H9^{(+0,155)}$ ; Обробити внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 270^{+2,1}$ Обробити нарізь прямокутну $10 \times 10$ (крок $20 \pm 0,015$ )	The Universal Machining Center HAAS UMC 1000	Зовнішня поверхня заготовки	Торцева поверхня заготовки

### 2.3 Обґрунтування вибору верстату

Враховуючи значну масу заготовки (1814 кг) та її габаритні розміри ( $\varnothing 870 \times 800$ ) вибрано The Universal Machining Center HAAS UMC 1000. Загальний вигляд верстату показано на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – The Universal Machining Center HAAS UMC 1000

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики верстату

Кількість керованих осей руху	5
Максимальний діаметр, що обробляється, мм	1000
Максимальна висота, що обробляється, мм	950
Тип шпинделя	A2-11
Оберти шпинделя, об/хв	20 – 1500
Переміщення по осі X, мм	650
Переміщення по осі Z, мм	1050
Прискорене переміщення по осі X, м/хв	20
Прискорене переміщення по осі Z, м/хв	20

Для оброблення двох отворів з конічною трубною нарізкою 1,5” у верстаті може бути задіяні поворотний стіл та механізм його нахилу ( тобто дві додаткові осі керування).

## 2.4 Вибір різального інструменту

Вибір різальних інструментів здійснено із каталогів [5, 6] фірми TaeguTec, що є світовим лідером у постачанні широкої номенклатури металорізального інструменту.

*Свердління отворів.* Рекомендації фірми TaeguTec щодо вибору марки твердого сплаву різальної пластини наведені на рис. 2.3.

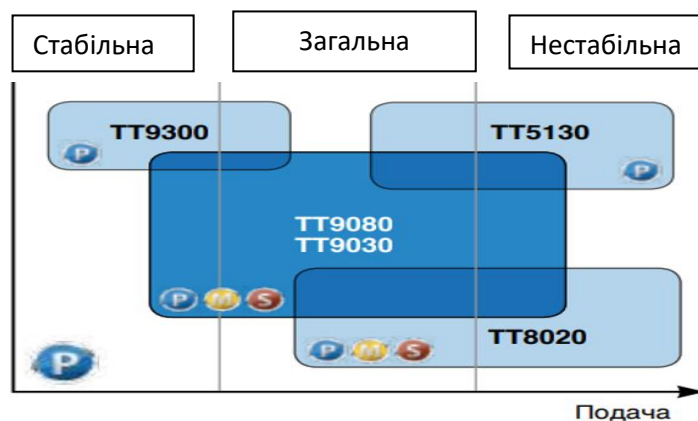

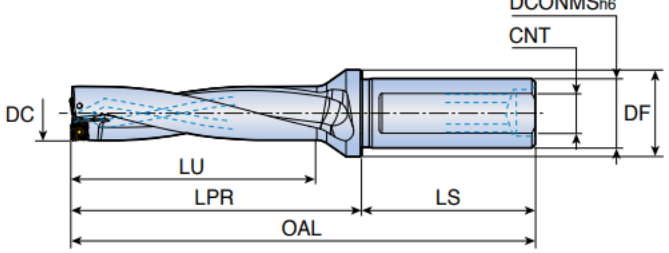
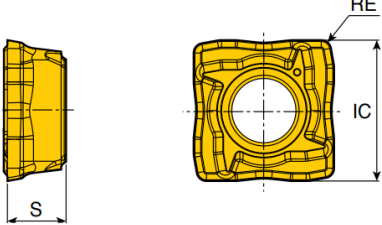



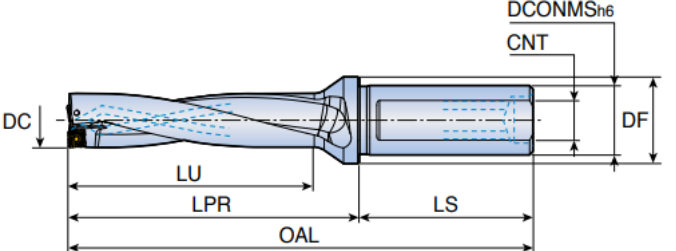
Рис. 2.3 – Рекомендації TaeguTec щодо вибору марки твердого сплаву та покриття для свердління [5, 6]

Вибрані марки твердосплавних пластин і типорозміри державок для свердління отворів під нарізь наведені в табл. 2.5 – 2.6.

Таблиця 2.5 – Вибрані марки твердосплавних пластин і типорозміри державок для свердління отворів Ø20 під нарізь

 <p style="text-align: center;"><b>4×D</b></p>															
<p><b>Позначення TOP 4200-252-07</b></p>	<p><b>Розміри, мм</b></p> <table border="1" data-bbox="510 779 1481 902"> <thead> <tr> <th>DC</th> <th>DCONMS</th> <th>DF</th> <th>LU</th> <th>LPR</th> <th>LS</th> <th>CNT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20.0</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>80</td> <td>103</td> <td>56</td> <td>M16X1.5</td> </tr> </tbody> </table>	DC	DCONMS	DF	LU	LPR	LS	CNT	20.0	25	32	80	103	56	M16X1.5
DC	DCONMS	DF	LU	LPR	LS	CNT									
20.0	25	32	80	103	56	M16X1.5									
<p style="text-align: center;"><b>Пластина для маловуглецевої сталі SOMT 070306 DL</b></p> 	<table border="1" data-bbox="885 940 1396 1052"> <thead> <tr> <th>IC</th> <th>S</th> <th>RE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.8</td> <td>2.80</td> <td>0.6</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Сплав ТТ9080</b></p> <p style="text-align: right;">Стр. D146</p>	IC	S	RE	6.8	2.80	0.6								
IC	S	RE													
6.8	2.80	0.6													

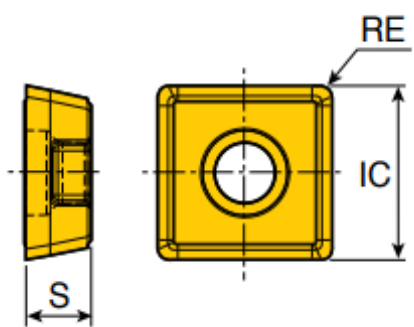
Таблиця 2.6 – Вибрані марки твердосплавних пластин і типорозміри державок для свердління отворів Ø33 під нарізь M36×3-6H

 <p style="text-align: center;"><b>4×D</b></p>	
---	--

Таблиця 2.6 (продовження)

Позначення TDR 4330-40T2-09		Розміри, мм				
DC	DCONMS	DF	LU	LPR	LS	CNT
33.0	40	55	132	165	70	Rc 1/4


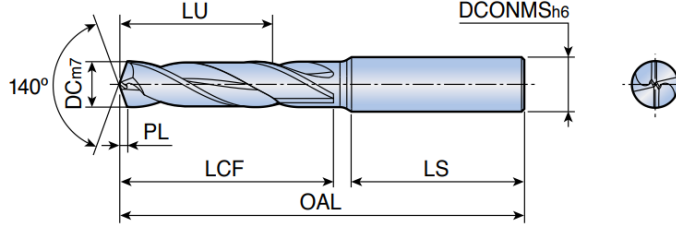
  

Пластина загального призначення SPMG 090408 DG			
	IC	S	RE
	9.80	4.30	0.8

**TT9030**

Стр. D148

Таблиця 2.7 – Типорозмір свердла для свердління отвору  $\varnothing 10,5$  під нарізь M12 $\times$ 1,25-6H

	<b>4<math>\times</math>D</b>						
Позначення NHD 105-040-12 PE3		Розміри, мм					
DC	DCONMS	OAL	LU	LCF	LS	PL	TT9030
10.5	12.0	101	40	55	45	1.6	●

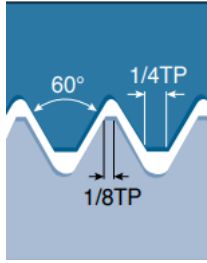

Рекомендовані режими різання наступні:

- швидкість різання 60-180 м/хв;
- подача 0,04 – мм/об.

*Оброблення нарізі*

Рекомендації фірми TaeguTec щодо обробки нарізі наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Загальні рекомендації щодо інструменту для обробки нарізі

Різновид нарізі	<b>T-THREAD</b>
	Метрична (ISO)
	
Сторінки довідника	C21 - C25
Вид профілю	Повний профіль
Галузь використання	Загальне використання
Тип пластини	 Тип М T8010
Сторінка довідника	C13


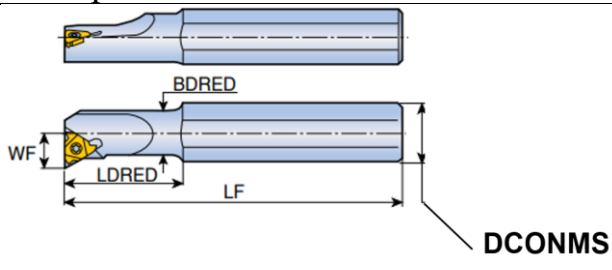
Розшифрування коду державки



Позначення параметрів вибраної із каталогу фірми TaeguTec державки SIMT 330904 R:

- S – гвинтовий зажим пластини;
- I – нарізь внутрішня;
- R – пластина для правої нарізі;
- 0033 – державка з хвостовиком 33 мм для внутрішньої нарізі (00);
- 33 – довжина різальної кромки (33 мм);
- K – довжина державки (125 мм);
- 04 – радіус при вершині (0,4 мм);
- R – напрямок подачі (праворуч);
- GP – номер поперечного перерізу (2).

Таблиця 2.9 – Вибрана марка твердосплавної пластини і типорозмір державки для оброблення внутрішньої нарізи М36×3-6Н

 Стр. С13							3OP	Пластина
	Розміри, мм							
Позначення	DCONMS	BDRED	LF	LDRED	Dmin	WF		
SIR/L 0016R16B	20	20	170	40	19	11,7	•	16IR/L
0025-16-AD	25	25	120	-	29	16.3	X	16 IR/L...

Обозначение	Размеры (мм)						Канал СОЖ	Пластина <sup>(2)</sup>
	DCONMS	BDRED	LF	LDRED	Dmin	WF		

Позначення	Крок	Розміри, мм					3OP	Пластина
		IC	INSL	RE	PDY	PDX		
16IR/L	3,00	9,52	16	0,18	1,1	1,5	•	T9030
Позначення	Розміри						3OP	Пластина
DCONMS	BDRED	LF	LDRED	Dmin	WF			
SIR/L 0010 K11B	16	10	125	12	6,4	7,4	•	11IR/L

Торцеве фрезерування

**MILLRUSH**  
RESEARCH AND DEVELOPMENT

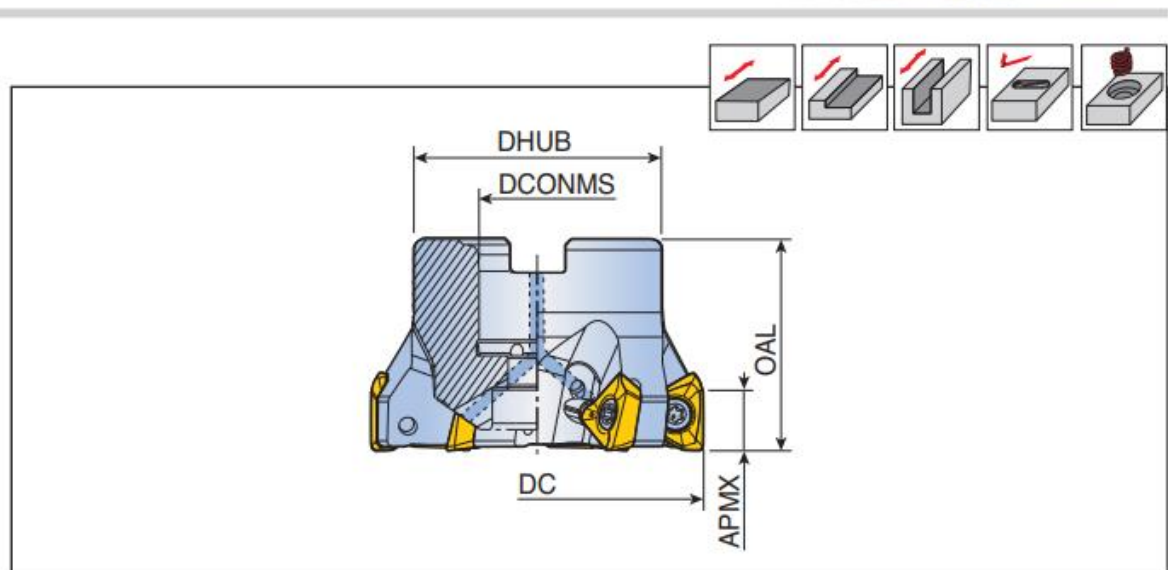





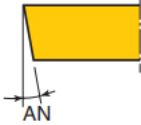




Рис.2.4 – Загальний вигляд торцевої фрези TaeguTec

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики обраної торцевої фрези

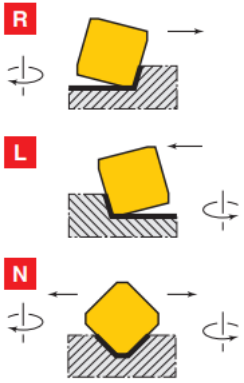
Позначення E41		Розміри, мм					Канали охолодження	Пластина
		DC	DCONMS	DNUB	OAL	APMX		
ЗР TF90- 12125-40R-15	12	125	40	85	63	11		ЗРК(Н)Т 1505... E227- E228

Позначення параметрів вибраної із каталогу фірми TaeguTec пластини ТРКТ 16 05 10R S R розшифровано в табл. 2.11.

Таблиця 2.11– параметри пластини ТРКТ 16 05 10R S R

1	<b>T</b>	Форма пластини									
2	<b>P</b>	Задній кут									
3	<b>K</b>	Клас допуску	±0,13 мм								
4	<b>T</b>	Форма стружколому									
5	<b>16</b>	Довжина різальної кромки	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>IC, мм</th> <th>XX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7,94</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td><b>9,52</b></td> <td><b>16</b></td> </tr> <tr> <td>12,7</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	IC, мм	XX	7,94	13	<b>9,52</b>	<b>16</b>	12,7	22
IC, мм	XX										
7,94	13										
<b>9,52</b>	<b>16</b>										
12,7	22										
6	<b>05</b>	Товщина (5,56 мм)	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>04</td> <td>4.76</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>5.56</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>6.35</td> </tr> </tbody> </table>	04	4.76	05	5.56	06	6.35		
04	4.76										
05	5.56										
06	6.35										
7	<b>10R</b>	Радіус при вершині, мм	 <table border="1"> <tbody> <tr> <td>08R</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>10R</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>12R</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>	08R	0.8	10R	1.0	12R	1.2		
08R	0.8										
10R	1.0										
12R	1.2										
8	<b>S</b>	Форма різальної кромки	s 								

Продовження табл.2.11

9	<b>R</b>	Напрямок різання	
		Рекомендована швидкість різання для ТТ 9080, м/хв	180-310

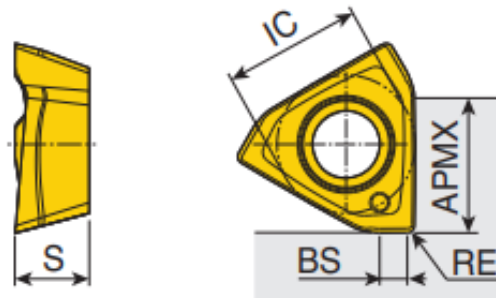


Рис.2.5 – Загальний вид пластини 3P TF90- 12125-40R-15 до торцевої фрези TaeguTec

## 2.5 Вибір вимірювального інструменту

Для вимірювання діаметра центрального отвору застосовано нутромір мікрометричний субмікронний триточковий [7]. Загальний вигляд застосованого нутроміра наведено на рис. 2.6

Нутромір використано для точного визначення внутрішніх діаметральних розмірів деталі. Вимірювання нутроміром проводиться, як правило, двома наконечниками сферичної форми, які розташовані під кутом 180 градусів один до одного.

Індикаторним нутроміром називають нутромір, який служить для вимірювання внутрішніх розмірів деталей відносним методом.

МІКРОТЕХ пропонує нутроміри індикаторні з глибиною вимірювання до 10 метрів і діапазоном вимірювання 3-1500 мм. Дискретність відліку може становити 0,1-1-10 мікрон.



Рисунок 2.6 – Нутромір мікрометричний субмікронний триточковий виробництва МІКРОТЕХ [7]:

Також може бути застосовано прецизійні триточкові нутроміри з дискретністю відліку 1 мікрон і діапазоном вимірювання до 1000 мм. Їх конструкція дає можливість отримувати високі точності на широких діапазонах вимірювання.

З 2015 року МІКРОТЕХ пропонує серію нутромірів індикаторних і мікрометричних з можливістю бездротової передачі даних (Wireless) на відстань до 100 метрів в Windows на ПК і Android-пристрої.<sup>2</sup>

Для контролю відстані уступів торцевих поверхонь канавок застосовано розроблений в МІКРОТЕХ довгомір, в який вбудовано комп'ютеризовану вимірювальну систему. Діапазони вимірювань наступні: 300, 500, 600, 1000 мм

---

<sup>2</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=\\_Hqxhr6IIM](https://www.youtube.com/watch?v=_Hqxhr6IIM)

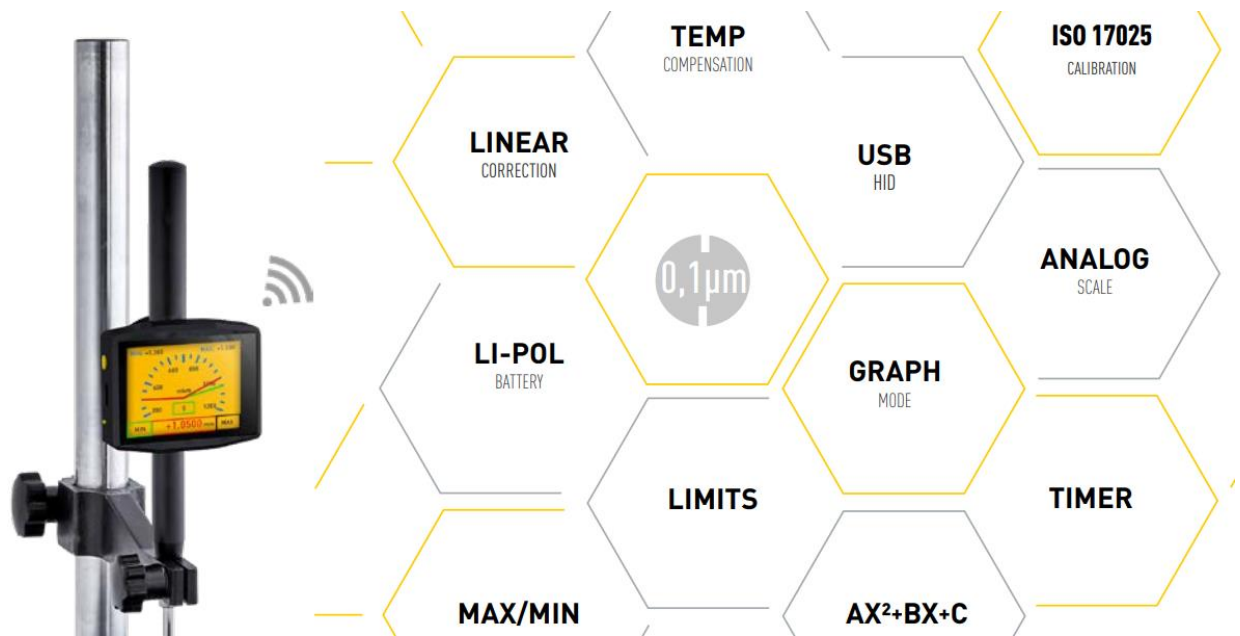


Рисунок 2.7 – Довгомір розробки МІКРОТЕХ, в який вбудовано комп'ютеризовану вимірювальну систему. [7]:

## 2.6 Заповнення карт технологічної документації

Складені карти технологічної документації наведені у додатку Б.

Налаштування до переходів механічного оброблення наведено у додатку В.

### **3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ**

#### **Дослідження достовірності контрольних процедур на переходах вимірювання діаметрів деталі**

##### **3.1 Постановка проблеми [8]**

В умовах сучасного виробництва в таких галузях як нафтогазове та транспортне машинобудування, авіаційна та аерокосмічна промисловість постійно підвищуються вимоги до якості продукції, а також до точності вимірювання розмірів деталей. Відповідно до цих тенденцій останніми роками спостерігається бурхливий розвиток технічних можливостей контрольних-вимірювальних приладів [9 - 12]. Однак ця тенденція призводить до неухильного зростання вартості засобів вимірювання.

Завдання обґрунтування раціонального вибору точності вимірювального приладу залишається актуальним. Для вирішення даної задачі в цьому розділі адаптовано відому методику моделювання та розрахунку чисельного критерію достовірності контрольних процедур [8].

##### **3.2 Обґрунтування методики комп'ютерного моделювання процедур контролю [8]**

Аналіз літературних джерел та нормативної документації показав, що чисельний метод статистичного моделювання (Монте-Карло) широко використовується для комп'ютерного моделювання вимірювально-контрольних процедур. Як потужний інструмент для наукових досліджень, моделювання методом Монте-Карло широко використовується в машинобудуванні протягом тривалого часу [13 – 15].

У роботах [16 – 17 ], метод Монте-Карло поєднується з моделюванням контрольних операцій.

#11#

##### **3.3 Методичний підхід до визначення вихідних даних у дослідженні**

Початковими даними для виконаних комп'ютерних експериментів були:

– вимоги до точності циліндричних поверхонь деталі «Корпус превентора» (рис. 3.1);

– стандартні вимоги нормативних документів щодо максимальної похибки вимірювального приладу (не повинні перевищувати 30% від допуску на розмір).

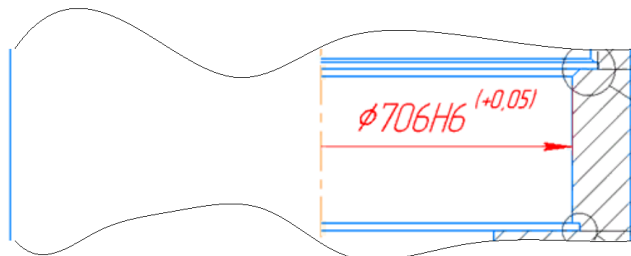


Рисунок 3.1 – Вимоги до точності внутрішньої поверхні деталі

Модельований результат контролю оцінювався за умовним критерієм  $\beta_{tri}$ , який названо балом придатності. Якщо в результаті моделювання отримано лінійний розмір деталі, що відповідає вимогам до поверхні (рис. 3.1), то цій деталі присвоюється бал придатності  $\beta_{tri} = 1$ . Навпаки, коли розмір виходить за межі поля допуску, то критерій  $\beta_{tri} = 0$ . Для програмування процедури контролю використовувалась логічна формула

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

де  $es$  та  $ei$  відповідно верхнє та нижнє нормовані відхилення поля допуску за ISO 286–1:2010;

$e_{tri}$  – відхилення від номінального значення розміру, яке змодельовано методом Монте-Карло за умови нульової похибки вимірювання.

Використання логічної формули

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

Далі здійснено повторне моделювання процедури контролю. У цьому випадку  $e_{\Delta i}$  відхилення номінальної величини отримане методом моделювання методом Монте-Карло з урахуванням випадкової похибки вимірювального приладу.

### 3.4 Програмна реалізація на базі електронних таблиць Microsoft Excel

Результати імітаційного та статистичного моделювання процесу контролю за дещо зниженого рівня точності технології (для наочності) та регламентованої максимальної похибки приладу наведено в табл. 1. Показані не всі рядки (для економії місця). Результати вимірювань сортується за чотирма категоріями: правильно прийняті (ПП), неправильно прийняті (НП), правильно забраковані (ПЗ), неправильно забраковані (НЗ). Категорії НП та НЗ відображають негативний вплив випадкової похибки приладу на достовірність контролю. У науково-технічній літературі ці показники іноді відносять до ризиків покупця та виробника відповідно. Відсоток деталей, віднесених до цих категорій, може бути показником достовірності контролю. У цьому випадку правильним буде вказувати (замість відсотків) частку відповідних деталей у діапазоні від 0 до 1.

Таблиця 3.1 – Фрагмент прикладу результатів імітаційно-статистичного моделювання контрольних процедур для розміру  $\varnothing 706H6^{(+0,050)}$

№	$e_{tri}$ [МКМ]	$\beta_{tri}$	$\Delta_i$ [МКМ]	$e_{\Delta i}$ [МКМ]	$\beta_{\Delta i}$	Сортування деталей за категоріями			
						Прийняті		Забраковані	
						Правильно прийняті, (ПП)	Неправильно прийняті, (НП)	Правильно забраковані, (ПЗ)	Неправильно забраковані, (НЗ)
1	16,7	1	14,9	31,6	1	0	0	0	
45	-6,5	0	8,7	2,2	1	0	1	0	
129	56,1	0	8,7	64,8	0	0	0	1	
184	2,5	1	-10,7	-8,2	0	0	0	0	1
$\Sigma e_{tri}$ [%]		94,5	$\Sigma e_{\Delta i}$ [%]		88,5	87,5	1,0	4,5	7,0

### 3.5 Програмна реалізація на базі NI LabVIEW

Програмне середовище NI LabVIEW добре зарекомендувало себе у багатьох науково-технічних проектах та є визнаним міжнародним стандартом систем збору даних та управління контрольно-вимірювальними процедурами. Він дуже зручно інтегрується у складні технічні апаратно-програмні комплекси. При

цьому LabVIEW поряд зі своєю професійною спрямованістю надає широкі можливості для використання в навчальному процесі [18]. Як показали дослідження, середовище LabVIEW вдало поєднує можливості візуалізації алгоритмічної послідовності комп'ютерних експериментів з широким спектром вбудованих математичних функцій. Саме ця властивість програмного середовища дозволяє наочно продемонструвати той факт, що випадкова похибка вимірювального приладу при контролі геометричного параметра деталі є причиною помилкового визнання придатності деталі, хоча реальні відхилення розмірів виходять за межі допуску. Так само має місце помилкове визнання непридатним певної кількості деталей, фактичні розміри яких перебувають у межах поля допуску. На рис. 3.2-3.10 показано послідовно програмні коди (з коментарями) для блоків алгоритмічної моделі.

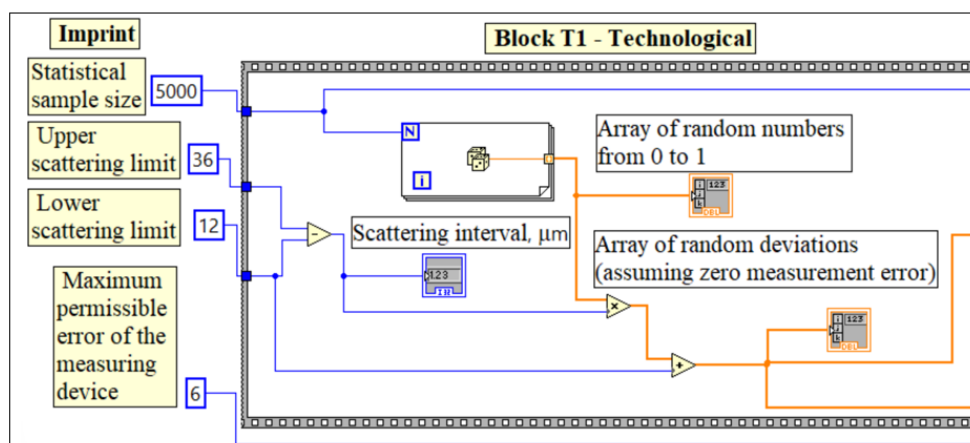


Рис. 3.2 – Програмний код технологічного блока T1

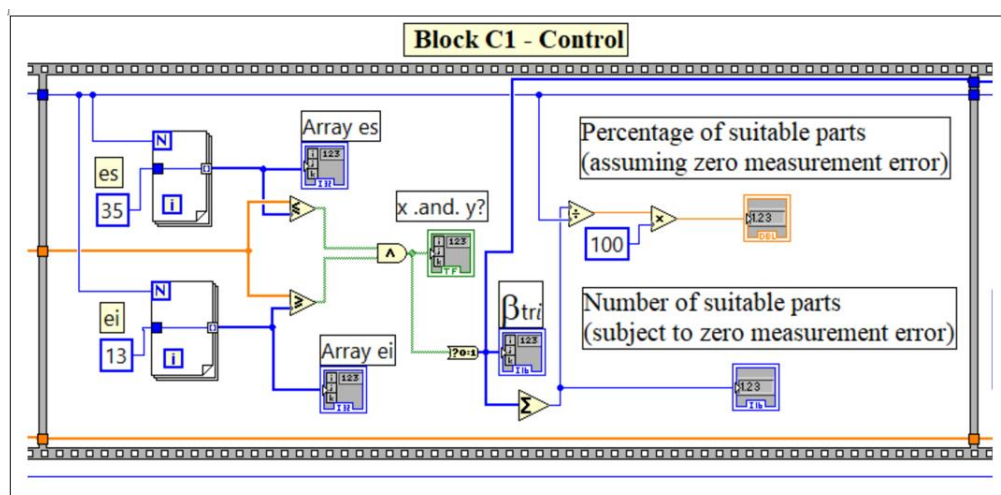


Рис. 3.3 – Програмний код контрольного блоку K1

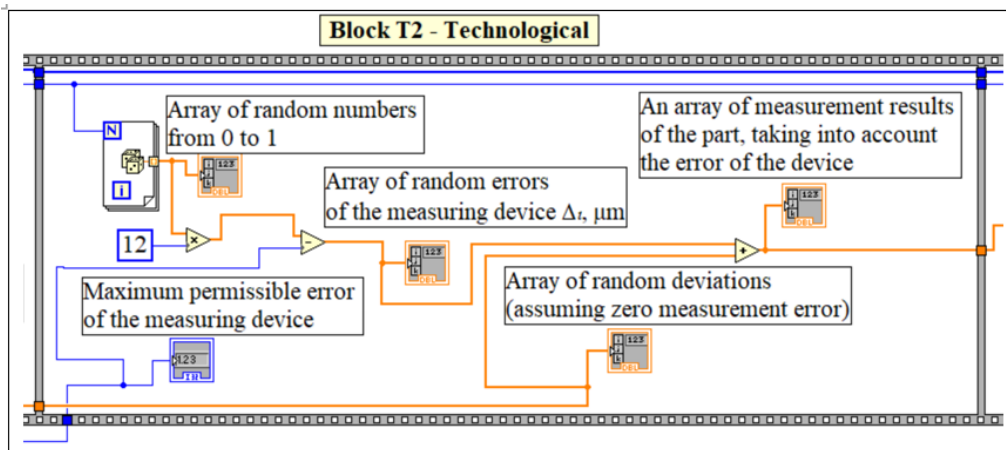


Рис. 3.4 – Послідовність моделювання результатів вимірювання деталі з урахуванням випадкової похибки вимірювання приладу

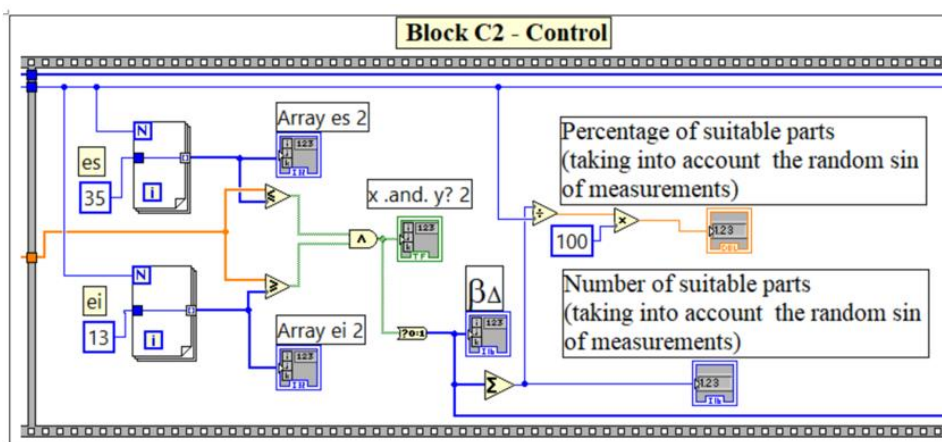


Рис. 3.5 – Програмний код контрольного блоку К2

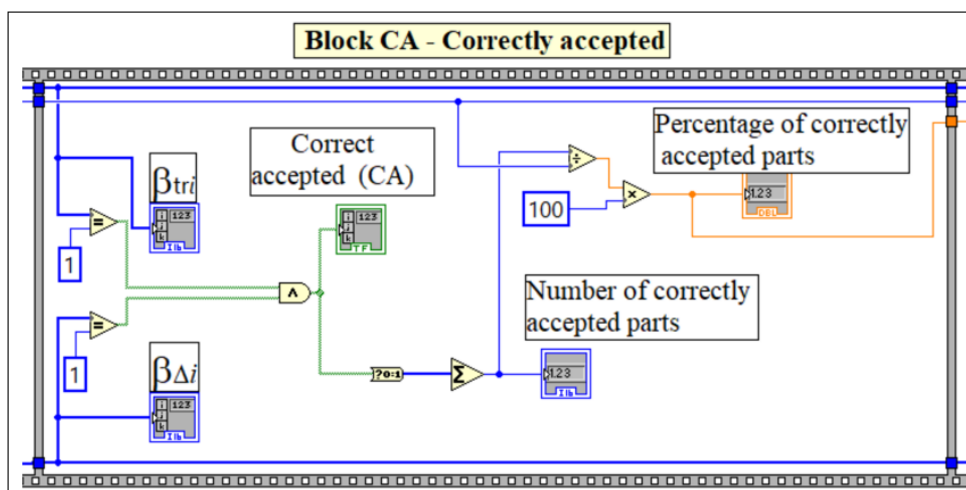


Рис. 3.6 – Програмний код блоку моделювання ПП процедури сортування деталей до групи коректно прийнятих

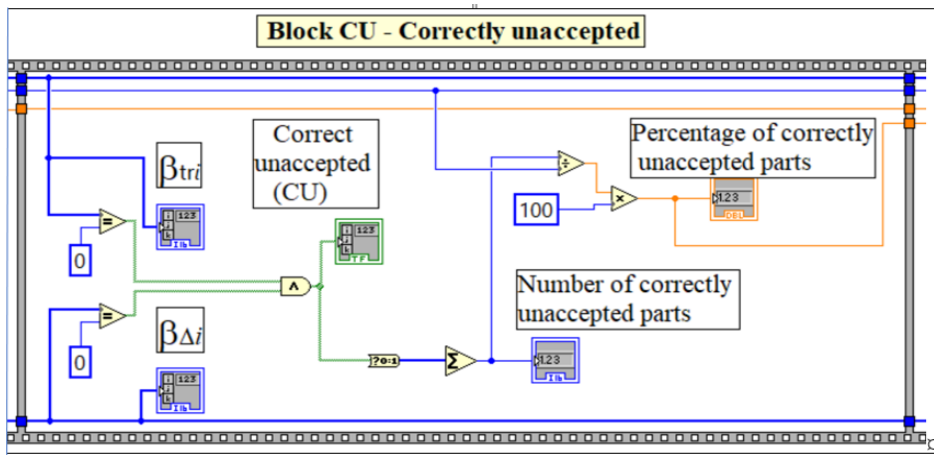


Рис. 3.7 – Програмний код блоку моделювання ПЗ процедури сортування деталей до групи коректно забракованих

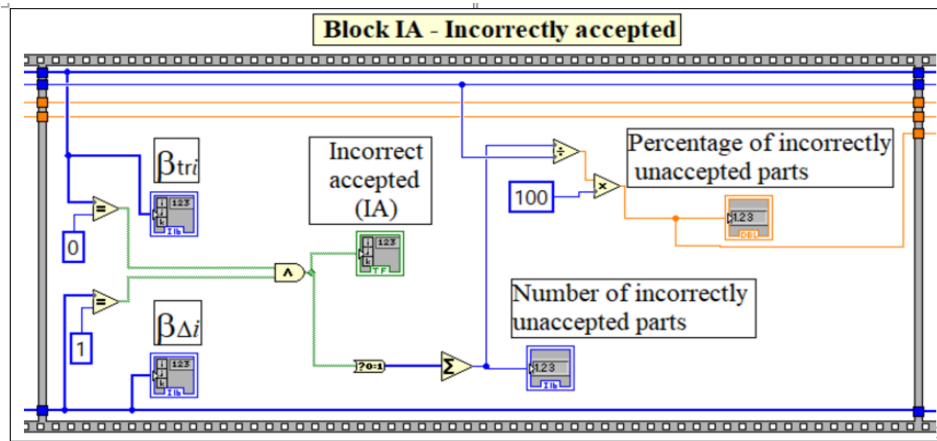


Рис. 3.8 – Програмний код блоку моделювання ПЗ процедури сортування деталей до групи неправильно прийнятих

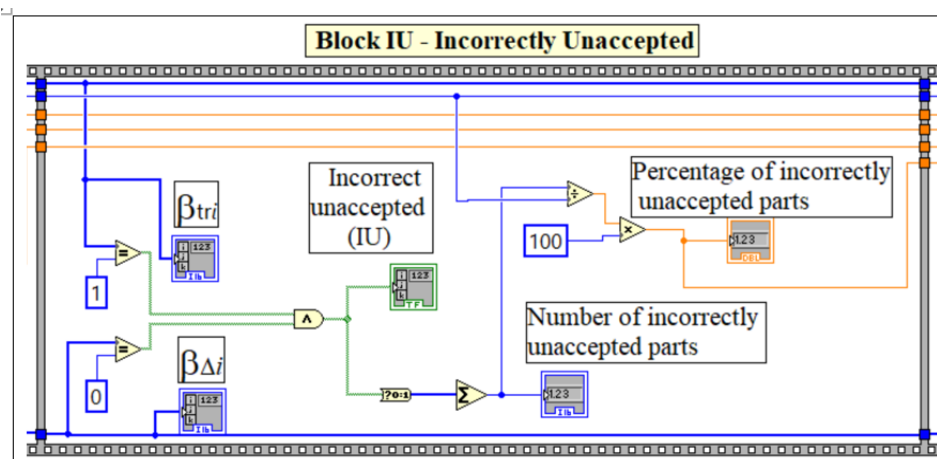


Рис. 3.9 – Програмний код блоку моделювання ПЗ процедури сортування деталей до групи неправильно забракованих

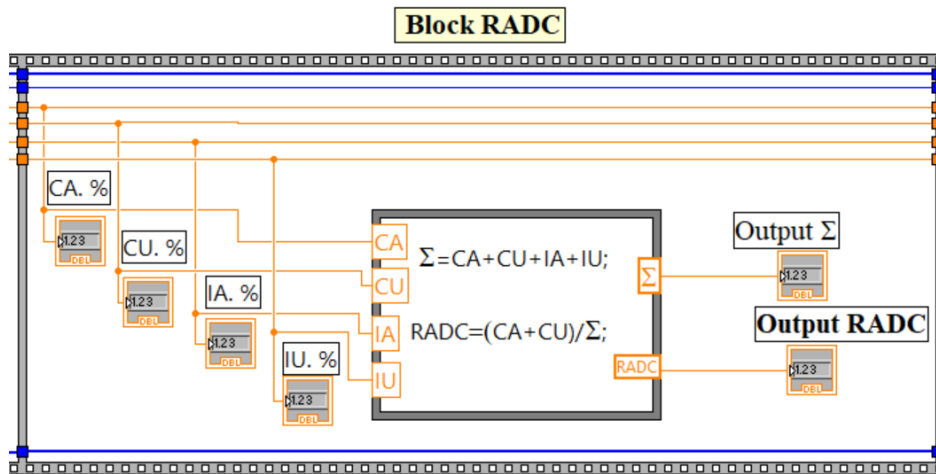


Рис. 3.10– Програмний код блоку RADC для розрахунку показника достовірності контролю розмірів деталей

### 3.6 Результати дослідження та висновки

Результати досліджень подано на рис. 3.11. Точність технологічної системи позначена таким чином: *I* – підвищена; *N* – нормальна; *L* – знижена.

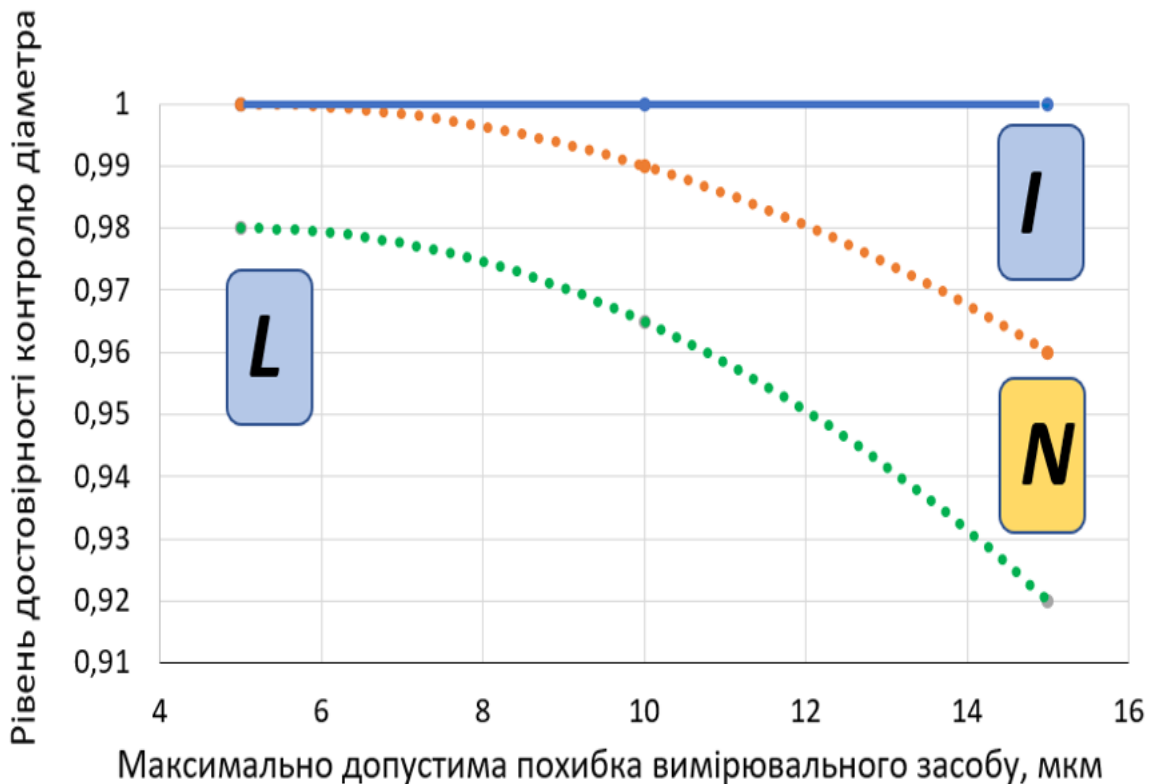


Рис. 3.11– Результати імітаційно-статистичного моделювання достовірності контролю діаметра

Основні висновки досліджень у спеціальному розділі полягають у наступному:

1. У якості критерію достовірності контролю геометричних параметрів виробів машинобудування запропоновано відношення суми правильно прийнятих та правильно відбракованих деталей до загального обсягу статистичної вибірки.

2. Для розрахунку кількості правильно прийнятих та правильно відбракованих деталей пропонується застосувати метод моделювання, поєднаний із методом Монте-Карло.

3. Визначальним фактором, що впливає на значення критерію достовірності, є величина граничної похибки вимірювального засобу.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.

### Алгоритмічна модель визначення параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталі «Корпус превентора»

#### 4.1 Вступ

Математичні моделі, що описують параметри процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою визначені дослідниками доволі глибоко і широко різноманітними методами [19-31] . Але практичне їх застосування і інженерній діяльності пов'язано із певними складнощами. Ці складнощі обумовлені тим, що в наукових публікаціях недостає чіткої класифікації переліку початкових даних для розрахунків, а також поділу задач розрахунків на прямі і зворотні. Тому розроблення алгоритмічних моделей, що описують основні етапи розрахунків і

*Мета дослідження* – скласти алгоритмічні моделі розрахунку розподілу нормальних напружень і значення дотичних напружень на ділянці пластичного контакту стружки з лезом.

*Методика дослідження* полягає у застосуванні:

- а) розрахункової схеми рівноваги стружки під дією результуючих сил та моментів сил зі сторони площини зсуву та зі сторони передньої поверхні;
- б) введення постійного значення коефіцієнта тертя-зсуву в площині зсуву.

Математичними моделями нормальних і дотичних напружень служить відома система рівнянь емпіричних залежностей дотичної, радіальної, осьової складових сили різання від глибини, подачі, швидкості різання при певних передньому куті, радіусі при вершині, величині зносу по задній поверхні з напрацьованими показниками степені.

Елементами *наукової новизни* є :

- виведення та програмна реалізація алгоритмічної моделі розрахунку розподілу нормальних напружень і значення дотичних напружень на ділянці контакту стружки з лезом;
- зв'язування дотичних напружень на контакті стружка-лезо з дотичними напруженнями в площині зсуву для точного розрахунку сили тертя на передній поверхні леза.

## 4.2 Класифікація відомих експериментальних методів дослідження проблеми

Для глибоких досліджень контактних явищ на поверхнях леза (сили тертя, температурного поля та інтенсивності зношування) необхідно знати функцію розподілу і значення нормальних та дотичних напружень.

Для визначення форми епюр напружень на контактних поверхнях леза застосовуються три основні експериментальні методи [19]:

1. Поляризаційно-оптичний метод моделювання процесу різання на прозорих матеріалах (оброблюваному або інструментальному) при їх просвічуванні в поляризованому світлі. Виявлено зниження контактних напружень по довжині контакту і при збільшенні переднього кута, а також перехід форми епюри від увігнутої до опуклої при зміні переднього кута від  $-10^\circ$  до  $+10^\circ$ .

2. Методом розподілу ліній рівномірної мікротвердості на мікрошліфах коренів стружки. Встановлено, що по відношенню до початкової мікротвердості оброблюваного матеріалу HV середня твердість «холодної» стружки після первинної деформації дорівнює  $(1,4-1,8)$  HV (максимальне зміцнення відбувається в площині зсуву), а в прилезовій зоні вторинної деформації коефіцієнт зміцнення зростає до  $1,8-2,4$ .

3. Методом «розрізного» різця на спеціальному приладі з вимірювання сили тертя отримано зміщену до різальної кромки горбоподібну криву розподілу дотичних напружень на передній поверхні. При точінні сталі 40X різцем із швидкорізальної сталі (швидкість різання  $v = 1 - 1,5$  м/с, товщина зрізу  $a = 0,14$  мм) коефіцієнт тертя  $\mu_\gamma$  дорівнював  $0,6 - 0,55$ . За допомогою «розрізного» різця з косою лінією роз'єму отримані випуклі осцилограми запису нормальних і дотичних контактних навантажень на передній поверхні для гострого леза при точінні латуні Л62.

Всі три методи із-за невідповідності реальним умовам різання, особливо перший, дають лише загальну картину епюр нормальних і дотичних напружень.



В цілому на основі комплексу експериментальних досліджень М.М. Зорєвим [20] запропоновано визначати розподіл нормальних напружень  $\sigma_l$  степеневою залежністю

$$\sigma_l = \sigma_{0\gamma} \cdot (1 - l/l_\gamma)^n \quad (1)$$

з формулою показника степені

$$n = 2 \cdot [l_\gamma / (a \cdot K_a (\mu_\gamma + \tan(\phi - \gamma))) - 1], \quad (2)$$

де  $\sigma_{0\gamma}$  – максимальні напруження біля різальної кромки;

$l_\gamma$  – довжина контакту стружки з лезом;

$l$  – поточне значення довжини контакту;

$a$  – товщина зрізу;

$K_a$  – коефіцієнт потовщення стружки;

$\mu_\gamma$  – коефіцієнт тертя стружки;

$\phi$  – кут зсуву;

$\gamma$  – передній кут леза.

Відповідно середнє значення дотичних напружень  $\tau_\gamma$  дорівнює

$$\tau_\gamma = \mu_\gamma \cdot \sigma_\gamma, \quad (3)$$

тут  $\sigma_\gamma$  – середнє значення нормальних напружень.

Вихідною базою для визначення параметрів формули показника  $n$  і відповідних напружень служить розроблена система рівнянь емпіричних залежностей дотичної  $P_z$ , осьової  $P_x$ , осьової  $P_y$  складових сили різання (для умов непрямокутного різання нормальна складова  $P_n = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$ ) від глибини  $t$ , подачі  $s$ , швидкості  $v$  різання при певних передньому куті  $\gamma$ , радіусі при вершині  $r$ , величині зносу  $h$  по задній поверхні типу

$$P_i = C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^z \cdot (1 - \gamma/90)^n \cdot (1 + r)^v \cdot (1 + h)^u \cdot K_{mi} \cdot K_{pi}, \quad (4)$$

з напрацьованими показниками степені  $x - u$ , коефіцієнтом розмірної пропорційності  $C_p$ .

Така структура системи рівнянь (4) дозволяє обчислювати сили  $P'_z$  і  $P'_n$  при нульових значеннях параметрів  $r$  і  $h$ .

Рівняння рівноваги моментів зовнішніх сил відносно різальної кромки в точці  $o$  має наступний вигляд:

$$T_n \cdot 0,5l_\phi - N_\gamma \cdot l_c = 0, \quad (5)$$

де  $T_n, N_\gamma$  і  $0,5l_\phi, l_c$  – нормальні сили і центр їх тиску на  $P_\phi$  і  $A_\gamma$  ( $l_\phi = a/\sin \phi$  – довжина площини зсуву  $P_\phi$ ,  $a = s \cdot \sin \phi$  – товщина зрізу,  $s$  – подача,  $\phi$  – кут в плані).

Центр тиску (ваги) однорідної криволінійної фігури має [3] абсцису  $l_c = \left( \int_0^l x \cdot y(x) \cdot dx \right) / S$ . Тут:

$y(x)$  – рівняння кривої,  $S$  – площа фігури;

$$\begin{aligned} \text{інтеграл } J &= \int_0^l x \cdot (1 - x/l)^n \cdot dx = \left| \begin{array}{l} 1 - x/l = u \\ x = 0 \quad u_1 = 1, \\ x = l \quad u_2 = 0 \end{array} \right. - dx = l \cdot du \\ &= l^2 \cdot \int_0^1 (u^n - u^{n+1}) \cdot du = l^2 / ((n + 1) \cdot (n + 2)); \end{aligned}$$

$$\text{площа } S = \int_0^l (1 - x/l)^n \cdot dx = l \cdot \int_0^1 u^n \cdot du = l / (n + 1).$$

Тоді відстань

$$l_c = J/S = l_\gamma / (n + 2), \quad (6)$$

де  $l_\gamma = ok$  – довжина контакту стружки з лезом.

Із трикутника  $obc$  слідує:  $\angle obc = 90^\circ - \rho_s$ ;  $\angle cob = 90^\circ - \phi + \gamma$ ;  $\angle ocb = \rho_s + \phi - \gamma$ . Далі з пропорції

$$0,5 \cdot l_\phi / \sin(\rho_s + \phi - \gamma) = l_c / \sin(90^\circ - \rho_s)$$

визначається відстань до центру тиску

$$l_c = 0,5 \cdot l_\phi \cdot \cos \rho_s / \sin(\rho_s + \phi - \gamma). \quad (7)$$

Розрахунковий вираз показника степені визначено у роботі [5]:

$$n = 2 \cdot [l_\gamma \cdot \sin(\rho_s + \phi - \gamma) / l_\phi \cdot \cos \rho_s - 1]. \quad (8)$$

Вихідні дані для  $n$  (8) обчислюються за формулами:

кут зсуву згідно залежності I.A. Time

$$\tan \phi = \cos \gamma / (K_a - \sin \gamma), \quad (9)$$

через коефіцієнт потовщення стружки  $K_a = a_c / a$ ;

кут тертя-зсуву в площині зсуву [6, 7]

$$\rho_s = \tan^{-1} \mu_s \quad (10)$$

через коефіцієнт тертя-зсуву

$$\mu_s = T_s / T_n = (P'_z - P'_n \cdot \tan \phi) / (P'_z \cdot \tan \phi + P'_n)$$

зі значеннями  $P'_z$  і  $P'_n$  при гострому лезі ( $h = 0$ ,  $F_\alpha = 0$ ,  $N_\alpha = 0$ );

довжина контакту стружки з лезом [15]

$$l_\gamma = 2a \cdot \cos(\phi - \gamma) / [\sin \phi \cdot \sin[2 \cdot (\phi - \gamma + \psi)]] \quad (11)$$

через кут текстури  $\tan \psi = 2 / (\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4})$  і відносний зсув

$$\varepsilon = 1 / \tan \phi + \tan(\phi - \gamma).$$

Кут зсуву

$$\tan \phi = (P'_z - P'_n \cdot u) / (P'_z \cdot u + P'_n) \quad (12)$$

також може визначатися через  $P'_z$  і  $P'_n$  та постійне значення коефіцієнта тертя-зсуву  $u = \mu_s = \tan \rho_s$  для окремих груп оброблюваних матеріалів [14].

Середнє значення дотичних напружень в площині зсуву дорівнює

$$\tau_s = T_s / (l_\phi \cdot b) \quad (13),$$

де дотична сила зсуву визначається через  $P'_z$  і  $P'_n$  [10]:  $T_s = P'_z \cdot \cos \phi - P'_n \cdot \sin \phi$ ;

$l_\phi = a / \sin \phi$  – довжина площини зсуву;  $b = t / \sin \phi$  – ширина зрізу.

Середнє значення нормальних напружень на  $A_\gamma$  визначається через силу тиску [10]:  $N_\gamma = P'_z \cdot \cos \gamma - P'_n \cdot \sin \gamma$  і площу контакту стружки з лезом  $l_\gamma \cdot b$

$$\sigma_\gamma = N_\gamma / (l_\gamma \cdot b). \quad (14)$$

З другої сторони  $\sigma_\gamma$  може визначатися через  $\sigma_{0\gamma}$  (1) по теоремі про середнє значення інтегралу

$$\sigma_\gamma = \sigma_{0\gamma} \cdot 1/l \cdot \int_0^l \left(1 - x/l\right)^n \cdot dx = \sigma_{0\gamma} / (n + 1),$$

звідки

$$\sigma_{0\gamma} = \sigma_\gamma \cdot (n + 1). \quad (15)$$

Новизна формули  $n$  (8) полягає у введенні кута тертя-зсуву  $\rho_s$  (10) в площині  $P_\phi$ , який на відміну від коефіцієнта тертя-ковзання  $\mu_\gamma$  (21) на поверхні  $A_\gamma$  формули  $n$  (2), в більшій мірі враховує фізико-механічні властивості сталі і практично мало залежить від режимних і геометричних параметрів та контактних явищ процесу різання.

При визначенні дотичних напружень  $\tau_\mu$  пластичного контакту на передній поверхні враховані наступні особливості процесу.

При обробленні більшості вуглецевих і легованих сталей, особливо за умов наростоутворення, характерною відзнакою є комбінована форма епюр дотичних напружень  $\tau$  на поверхні  $A_\gamma$ .

Епюри напружень на ділянках пластичного контакту (вторинної деформації з внутрішнім тертям)  $l_\mu$  і пружного контакту (зовнішнього тертя)  $l_\gamma - l_\mu$  загальною визнаною моделі М.М. Зорєва [2] наведені на рис. 4.2.

Згідно виразу  $\tau_\gamma = \mu_\gamma \cdot \sigma_\gamma$  (3) для  $\tau_\mu$  і  $\tau_l$  можна записати

$$\tau_\mu = \mu_\gamma \cdot \sigma_{0\gamma} \cdot \left(1 - l_\mu/l_\gamma\right)^n \quad \text{і} \quad \tau_l = \mu_\gamma \cdot \sigma_{0\gamma} \cdot \left(1 - l/l_\gamma\right)^n.$$

Якщо позначити  $l_\mu/l_\gamma = p$  і  $l/l_\gamma = q$ , то  $\sigma_{0\gamma} = \tau_\mu / \mu_\gamma \cdot (1 - p)^n$  і

$$\tau_l = \tau_\mu \cdot (1 - q)^n / (1 - p)^n \quad (16)$$

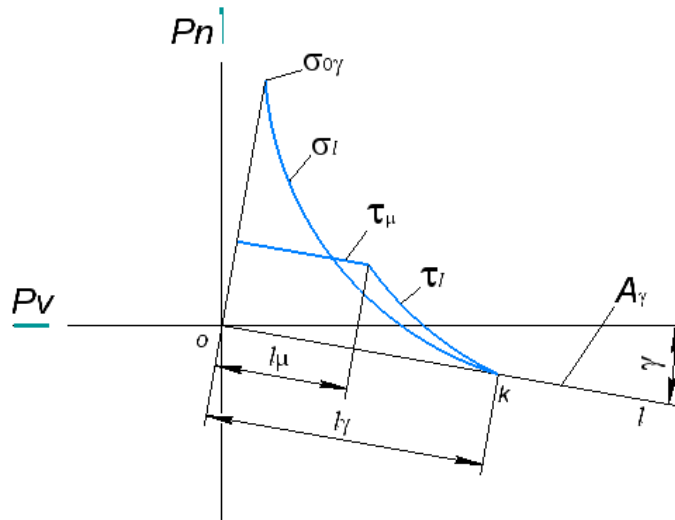


Рис. 4.2 – Розрахункова схема визначення дотичних напружень  $\tau_\mu$  на ділянці пластичного контакту  $l_\mu$  [19]

Відповідно на ділянці зовнішнього тертя-ковзання  $l_\gamma - l_\mu$  дотична сила тертя на основі  $\tau_l$  (16) дорівнює

$$\begin{aligned}
 F_l &= b \cdot \int_{l_\mu}^{l_\gamma} \tau_l \cdot dl = l_\gamma \cdot b \cdot \left( \tau_\mu / (1 - p)^n \right) \cdot \int_p^1 (1 - q)^n \cdot dq = \\
 &= \left| \begin{array}{l} 1 - q = u, \quad -dq = du \\ q = p \quad u_1 = 1 - p, \quad q = 1 \quad u_2 = 0 \end{array} \right| = \\
 &= \left| \int_0^{1-p} u^n \cdot du = (1 - p)^{n+1} / (n + 1) \right| = l_\gamma \cdot b \cdot \tau_\mu \cdot (1 - p) / (n + 1).
 \end{aligned}$$

Сумарна дотична сила на  $A_\gamma$  складає

$$\begin{aligned}
 F_\gamma &= F_\mu + F_l = b \cdot \left( \tau_\mu \cdot l_\gamma \cdot p + \tau_\mu \cdot l_\gamma \cdot (1 - p) / (n + 1) \right) = \\
 &= l_\gamma \cdot b \cdot \tau_\mu \cdot (p \cdot n + 1) / (n + 1). \quad (17)
 \end{aligned}$$

На основі середнього значення  $\tau_\gamma$  вона також дорівнює

$$F_\gamma = l_\gamma \cdot b \cdot \tau_\gamma. \quad (18)$$

Рівність виразів  $F_\gamma$  (17) і  $F_\gamma$  (18) приводить до пошукового значення

$$\tau_\mu = \tau_\gamma \cdot (n + 1) / (p \cdot n + 1). \quad (19)$$

При  $\tau_\mu(19) \text{ і } p = 0$  вираз  $F_\gamma(17)$  перетворюється у (18).

В теорії різання особливий інтерес по контактним процесам при стружкоутворенні представляє співвідношення дотичних напружень пластичного контакту  $\tau_\mu$  і напружень зсуву  $\tau_s$  для розрахунку сили  $F_\gamma(17)$ .

В свою чергу напруження  $\tau_\gamma(19)$  можуть визначатися із рівняння

$$\tau_s \cdot l_\phi^2 / 2 \cdot \mu_s = \tau_\gamma \cdot l_\gamma^2 / \mu_\gamma \cdot (n + 2) \quad (5) \text{ зі значенням } l_c \quad (6)$$

$$\tau_\gamma = \frac{\tau_s \cdot l_\phi^2 \cdot \mu_\gamma \cdot (n + 2)}{2 \cdot l_\gamma^2 \cdot \mu_s} \quad (20)$$

Для визначення коефіцієнта тертя-ковзання на поверхні  $A_\gamma$  існує відома формула [6]

$$\mu_\gamma = F_\gamma / N_\gamma = (P'_z \cdot \tan \gamma + P'_n) / (P'_z - P'_n \cdot \tan \gamma) \quad (21)$$

на основі даних  $P'_z$  і  $P'_n$  при гострому лезі.

Після підстановки  $\tau_\gamma(20)$  у  $\tau_\mu(19)$  отримуємо розрахункову формулу

$$\tau_\mu = \tau_s \cdot \left( l_\phi / l_\gamma \right)^2 \cdot \frac{\mu_\gamma \cdot (n + 1) \cdot (n + 2)}{2 \cdot \mu_s \cdot (p \cdot n + 1)} \quad (22)$$

Відношення  $p$  при точінні конструкційних сталей найбільш часто складало 0,5 і не перебільшувало 0,6.

Одержана формула зв'язує дотичні напруження на пластичному контакті стружка-лезо  $\tau_\mu$  з дотичними напруженнями в площині зсуву  $\tau_s$  і призначена для точного розрахунку сили тертя  $F_\gamma(17)$  на передній поверхні леза.

### 4.3 Створення алгоритмічної моделі визначення параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці

Практичне використання вказаних вище математичних моделей пов'язано з певними методологічними труднощами, що виникають внаслідок нелінійного характеру залежностей та присутності неявних взаємозв'язків параметрів процесу.

В даному дослідженні створена алгоритмічна моделі розрахунку нормальних і тангенціальних напружень в залежності від довжини контакту стружки з лезом.

Структурна схема розробленої алгоритмічної моделі наведена на рис. 4.3.

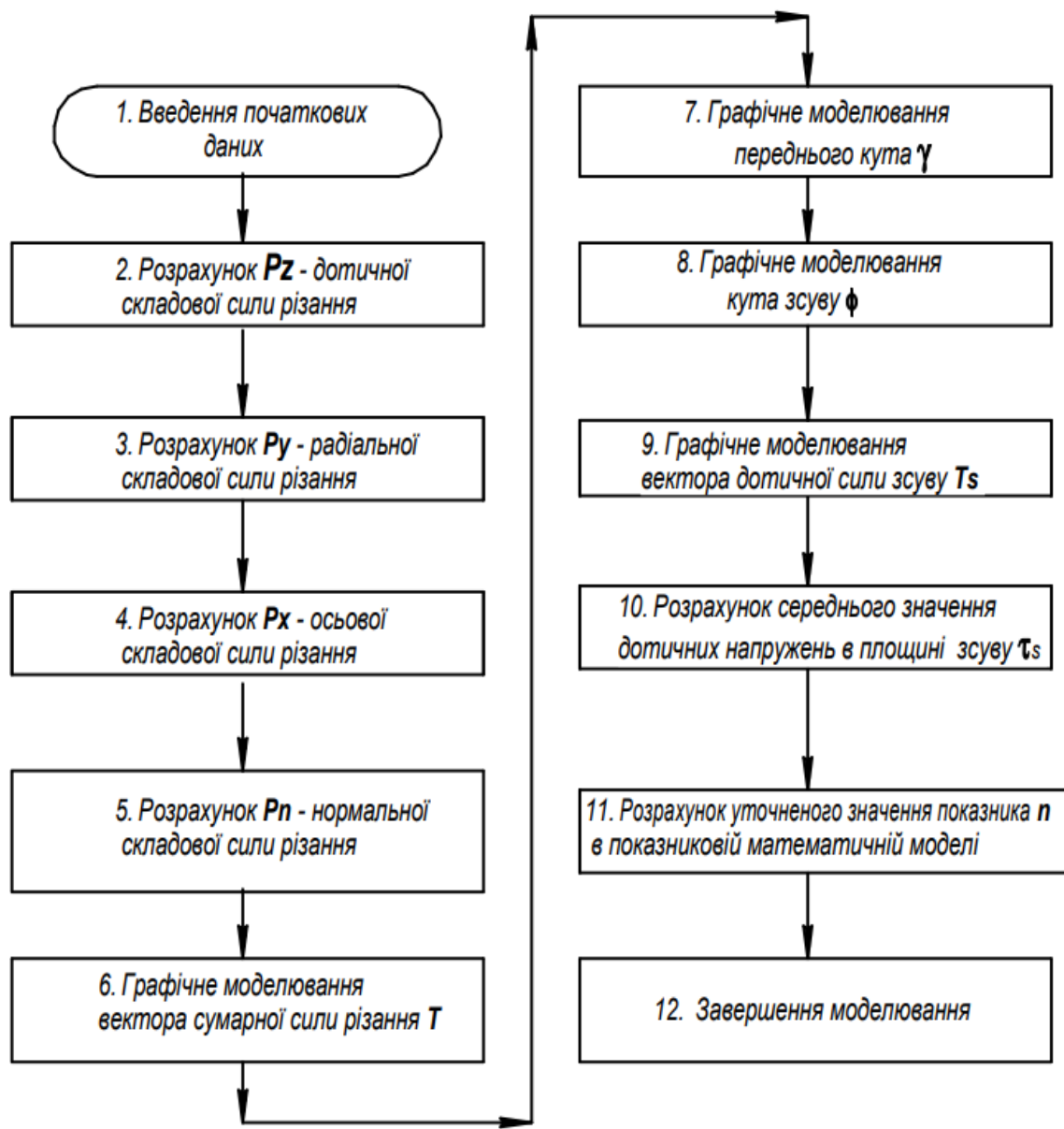


Рис.4.3 – Схема створеної алгоритмічної моделі

Програмна реалізація проведена в середовищах Microsoft Excel та NI LabVIEW.

У Додатку наведено результати розрахунків параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталі «Корпус превентора»

На рис. 4.4 наведено відповідний результат автоматизованої побудови розподілу нормальних напружень  $\sigma_l$  степеневою залежністю для випадку оброблення аустенітної сталі 12X18НТ.

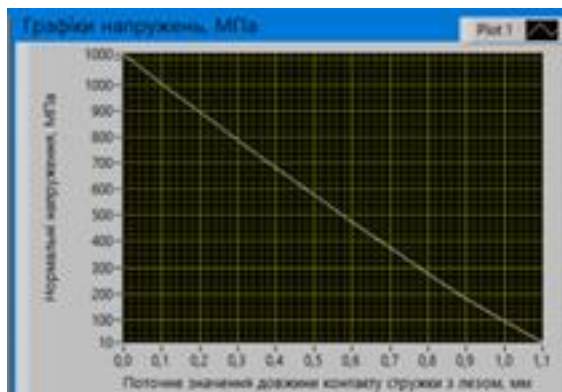


Рис.4.4 – Фрагмент програмної реалізації створеної алгоритмічної моделі в середовищі NI LabVIEW

В науково-дослідницькому розділі досягнуто наступні результати.

1. Створено алгоритмічну модель розрахунків розподілу нормальних і дотичних напружень на ділянці пластичного контакту стружки з лезом при токарному обробленні сталльної деталі.

2. Проведено програмну реалізацію алгоритмічної моделі на платформі NI LabVIEW.

3. Використано відому математичну модель розподілу нормальних напружень, відмінною особливістю якої є введення значення кута тертя-зсуву в площині зсуву замість коефіцієнта тертя-ковзання стружки з лезом.

4. Використано відому математичну модель дотичних напружень, основою якої є значення дотичних напружень в площині зсуву, які в залежності від умов різання змінюються несуттєво.

4. Підтверджено, що дотичні напруження на пластичному контакті відносно дотичних напружень в площині зсуву в першому наближенні дорівнюють  $\tau_{\mu} \approx 0,8 \cdot \tau_s$  (для сталі 12X18Н9Т).

4. Наголошено, що подальші дослідження розглянутої проблеми можливі шляхом інтеграції до розробленого алгоритму ще й методу скінчених елементів стосовно розрахунку кута зсуву [27-31].

## ЗАГАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. В аналітичному розділі розроблено технологічний кресленик деталі «Корпус превентора» що є базовою деталлю «Універсального превентора», призначеного для безпеки в процесі ведення робіт на нафтогазових свердловинах при виникненні нештатних ситуацій. Деталь має наступні конструкторсько-технологічні параметри:

матеріал деталі якісна конструкційна легована сталь 40Х ДСТУ 7809:2015;

маса деталі 1578 кг;

габарити  $\varnothing 870 \times 790$  мм.

Конструкція деталі є технологічною.

2. В технологічному розділі запроєктована технологія механічного оброблення деталі на основі застосування сучасного верстату з ЧПК та прогресивного різального інструменту, включно:

- виконано 3D-модель заготовки, розраховано її масу (1814 кг);

- вибрано прогресивний метод виготовлення заготовки методом електрошлакового литва, що розроблений інститутом електрозварювання ім. Патона; за цією технологією забезпечується високий рівень механічних властивостей сталі та прийнятне значення коефіцієнту використання матеріалу (більше 0,87);

- для механічного оброблення поверхонь запропоновано застосувати високоефективний п'яти осьовий верстат з ЧПК (The Universal Machining Center HAAS UMC 1000), що дозволило мінімізувати кількість установів (2) та допоміжний час у циклі механічного оброблення;

- з метою мінімізації основного і допоміжного часу на переходах технологічного процесу вибрано різальний інструмент південнокорейської фірми TaeguTec, що є світовим лідером у постачанні широкої номенклатури металорізального інструменту;

- для точного визначення діаметральних розмірів деталі вимірювання діаметрів отворів застосовано нутромір мікрометричний субмікронний триточковий українського постачальника (МІКРОТЕХ).

3. У спеціальному розділі за допомогою комп'ютерних експериментів виконано дослідження достовірності контрольних процедур на переходах вимірювання діаметрів деталі. Раніше відомі імітаційно-статистичні методи моделювання контрольних процедур доповнені вперше розробленою алгоритмічною моделлю у форматі програмного коду на базі середовища LabVIEW.

4. У науково-дослідному розділі створена алгоритмічна модель визначення параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталі «Корпус превентора». Наголошено, що подальші дослідження розглянутої проблеми можливі шляхом інтеграції до розробленого алгоритму ще й методу скінчених елементів стосовно розрахунку кута зсуву.

## Перелік посилань

1. Одосій, З.М., Петрина, Е.Д., Яким, Р.С., Пітулей, Л.Д. (2015) Обладнання паливно-енергетичного комплексу і технологія його виготовлення. Навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ- 312 с.  
<https://files.library.nung.edu.ua/chytalnya/4694/index.html#p=337>
2. ДСТУ 7809:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови [http://ksv.do.am/GOST/DSTY\\_ALL/DSYU1/dstu\\_7809-2015.pdf](http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSYU1/dstu_7809-2015.pdf)
3. Електрошлакове литво на заводі спецелектрометалургії інституту електрозварювання ім. Е.О. Патона.  
<http://dzse.com.ua/uk/service/elektroshlakove-litvo>
4. Електрошлакова технологія / В. Я. Саєнко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2009. <https://esu.com.ua/article-17786>
5. [ТТА - Taegutec Tool Advisor \(imc-companies.com\)](http://www.imc-companies.com)
6. Довідник Інструмент 2020 - TaeguTec – Ukraine  
<https://taegutec.com.ua/katalog/instrument-2020/>
7. [https://microtech.ua/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=1198](https://microtech.ua/index.php?controller=attachment&id_attachment=1198)
8. O. VOICHYSHEN, & S. PATSERA & V. DERBABA, & O. BOCHDANOV, & V. HRYHORENKO, V. KORSUN (2023) RELIABILITY ASSESSMENT DIMENSIONAL CONTROL DETAILS OF VEHICLES DEPENDING / *XV International Scientific Conference and X Symposium of Young Researchers TRANSPORT PROBLEMS p.7&9*
9. Śładkowski, A. & Proydak, Yu. & Ruban, V. Increasing the resource of milling cutters used to process the locomotive wheelsets. Part 1: Determination of cutting forces. *Transport Problems*. 2018. Vol. 13. Issue 3. P. 119-130. Available at: [http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2018/zeszyt3/2018t13z3\\_00.pdf](http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2018/zeszyt3/2018t13z3_00.pdf)
10. Śładkowski, A. & Proydak, Yu. & Ruban, V. Increasing the resource of milling cutters used to process the locomotive wheelsets. Part 2: study of stressed-

deformed state. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15. Issue 3. P. 139-151. Available at: [http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2020/zeszyt3/2020t15z3\\_00.pdf](http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2020/zeszyt3/2020t15z3_00.pdf)

11. Горбач, Ф.И. & Макаров, С.О. Координатно-измерительные машины: точность нового поколения. Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия Металлообработка. 2009. Nr 3. P. 66-68. [In Ukrainian: Horbach, F.I. & Makarov, S.O. Coordinate Measuring Machines: New Generation Accuracy. Equipment and tools for professionals. Series metalworking]. Available at: [https://www.informdom.com/uploads/docs/files/2013\\_wood/4/2411/09\\_3m\\_page\\_66\\_Spez mash.pdf](https://www.informdom.com/uploads/docs/files/2013_wood/4/2411/09_3m_page_66_Spez mash.pdf)

12. Полярус, О.В., & Лебединський, А.В. & Чепусенко С.О. Метод, модель та інформаційна технологія визначення цінності вимірювальної інформації для безпеки технічних об'єктів. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2022. Nr 99. P. 138-145. [In Ukrainian: Poliarus, O.V., & Lebedynskyi

13. Chen, GQ. & Zhao, JW. Application and Implementation of Monte Carlo Method in Mechanical Engineering. *ADVANCED MECHANICAL ENGINEERING*. 2010. PTS 1 AND 2 26-28, P.925-930. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.26-28.925>

14. 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*. 2013. Volume 37, Issue 4. P.856-864. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2013.05.002>

15. Jing, H. & Li, C. & Huang, M. & Zhong, YR. Evaluation of measurement uncertainty based on quasi-Monte-Carlo method in the large diameter measurement. *Optical Engineering*, Vol. 51, Issue 9, 093601. 2012. Available at: <https://doi.org/10.1117/1.OE.51.9.093601>

16. Derbaba, V.F. & Zil, V.V. & Patsera, S.T. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2014. Nr 5 (143). P. 45-50. Available at: <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/49-05/1445-2014-5-derbaba/0>

17. Пацера, С.Т., & Корсун, В.І. & Дербабa, В.А., & Ружин П.О. Алгоритм імітаційно-статистичного дослідження контрольно-вимірювальної системи та його програмна реалізація у NI LabVIEW. Системи обробки інформації. 2016, № 6 (143), P. 116-119. [In Ukrainian: Patsera, S.T., & Korsun, V.I., & Derbaba, V.A., & Ruzhyn, P.O. The algorithm of simulation and statistical modeling of control-measuring systems and software implementation in NI LabVIEW. Information Processing Systems. Available at: 50

<https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/16731>

18. Introduction to LabVIEW™. Six-Hour Course. Available at:

[http://ece-research.unm.edu/jimp/415/labview/LV\\_Intro\\_Six\\_Hours.pdf](http://ece-research.unm.edu/jimp/415/labview/LV_Intro_Six_Hours.pdf)

19. Kravchenko Yu.H. Rozpodil napruzhen na plastychno-pruzhnomu kontakti struzhka-lezo/ Yu.H. Kravchenko, S.T. Patsera // Zbirnyk naukovykh prats NHU : nauk.-tekhn. zb. – D. : NTU "Dniprovska politekhnika", 2021. – № 66 – S. 140 – 152.

<https://doi.org/10.33271/crpnmu/66.140>

20. Zoriev, M.M. (1963) Shchodo vzaiemodii protsesiv v zoni struzhkoutvorennia ta v zoni kontaktuk perednoi poverkhni instrumentu. Visnyk mashynobuluvannia, M.: Mashynobuduvannia, - №12

21. Kravchenko, Yu.H. , Derbaba, V.A. & Kriukova, N.V. (2015) Do pytannia empyrychnoho vyznachennia napruzhen i koefitsientiv tertia pry struzhkoutvorenni. Rizannia ta instrument v tekhnolohichnykh systemakh. Mizhnarod. nauk.-tekhn. zb. Vyp 85. 137–148

22. Filchakov, P.F. (1972) Dovidnyk z vyshchoi matematyky. K., Naukova dumka

23. Kravchenko, Yu.H. & Derbaba, V.A. (2020) Patent Ukrainy na korysnu model UA 146482. Kyiv: Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti

24. Kravchenko, Yu.H. & Derbaba, V.A. (2017) Patent Ukrainy na vynakhid UA 115833. Kyiv: Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti

25. Kravchenko, Yu.H. & Derbaba, V.A. (2020) Patent Ukrainy na korysnu model UA 140418. Kyiv: Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti

26. Kravchenko, Yu.H., Derbaba, V.A. & Puhach, R.S. (2018) Patent Ukrainy na vynakhid UA 118302. Kyiv: Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti.

27. Mazur, M.P. (red.), Vnukov, Yu.M., Dobroskok, V.L., & ta in. (2011) Osnovy teorii rizannia materialiv. Lviv: Novyi svit-2000

28. Amir Malakizadia, Jannick Nils Oberbeck, Martin Magnevall, Peter Krajnik, A new constitutive model for cutting simulation of 316L austenitic stainless steel. 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. *Procedia CIRP Volume 82*, 2019, Pages 53-58 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.064>

29. Saleem, W; Ijaz, H; (...); Zhang, J, Numerical modeling and simulation of macro- to microscale chip considering size effect for optimum milling characteristics of AA2024T351 Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (2019), 41 (8), on 17 Pages <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1838-0>

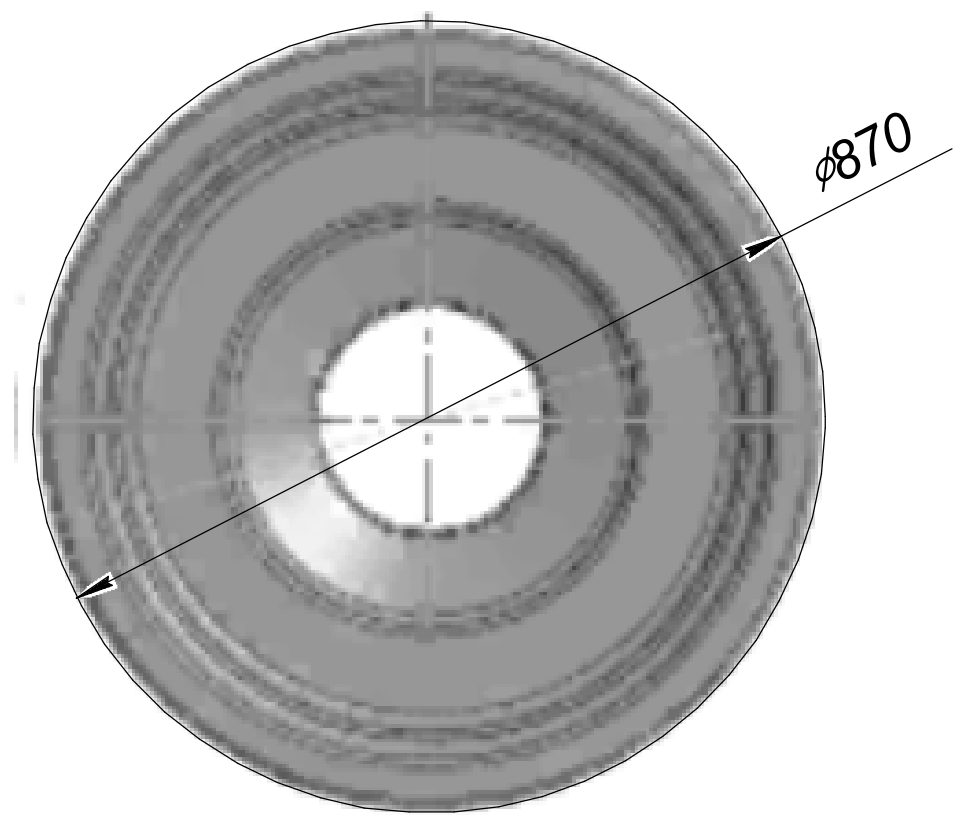
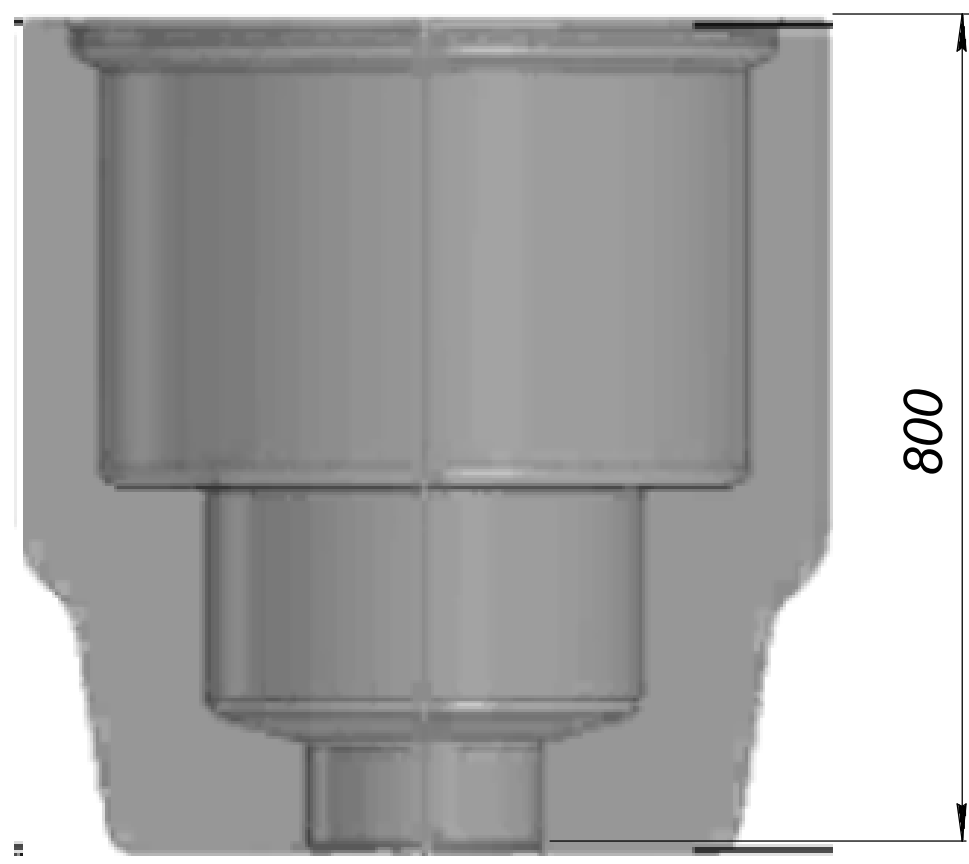
30. Denkena, B; Kroedel, A; (...); Zender, F, Modelling of process Forces for Comp-lex multiaxial Turning Processes. MM Science Journal (2021), pp.5023-5029 [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021\\_11\\_2021147](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_11_2021147)

31. Afrasiabi, M; Saelzer, J; (...); Wegener, K, A Numerical-Experimental Study on Orthogonal Cutting of AISI 1045 Steel and Ti6Al4V Alloy: SPH and FEM Modeling with Newly Identified Friction Coefficients. Metals (2021), Volume 11 Iss(11), 1683. <https://doi.org/10.3390/met11111683>



# Наладки до переходів механічного оброблення деталі «Корпус превентора»

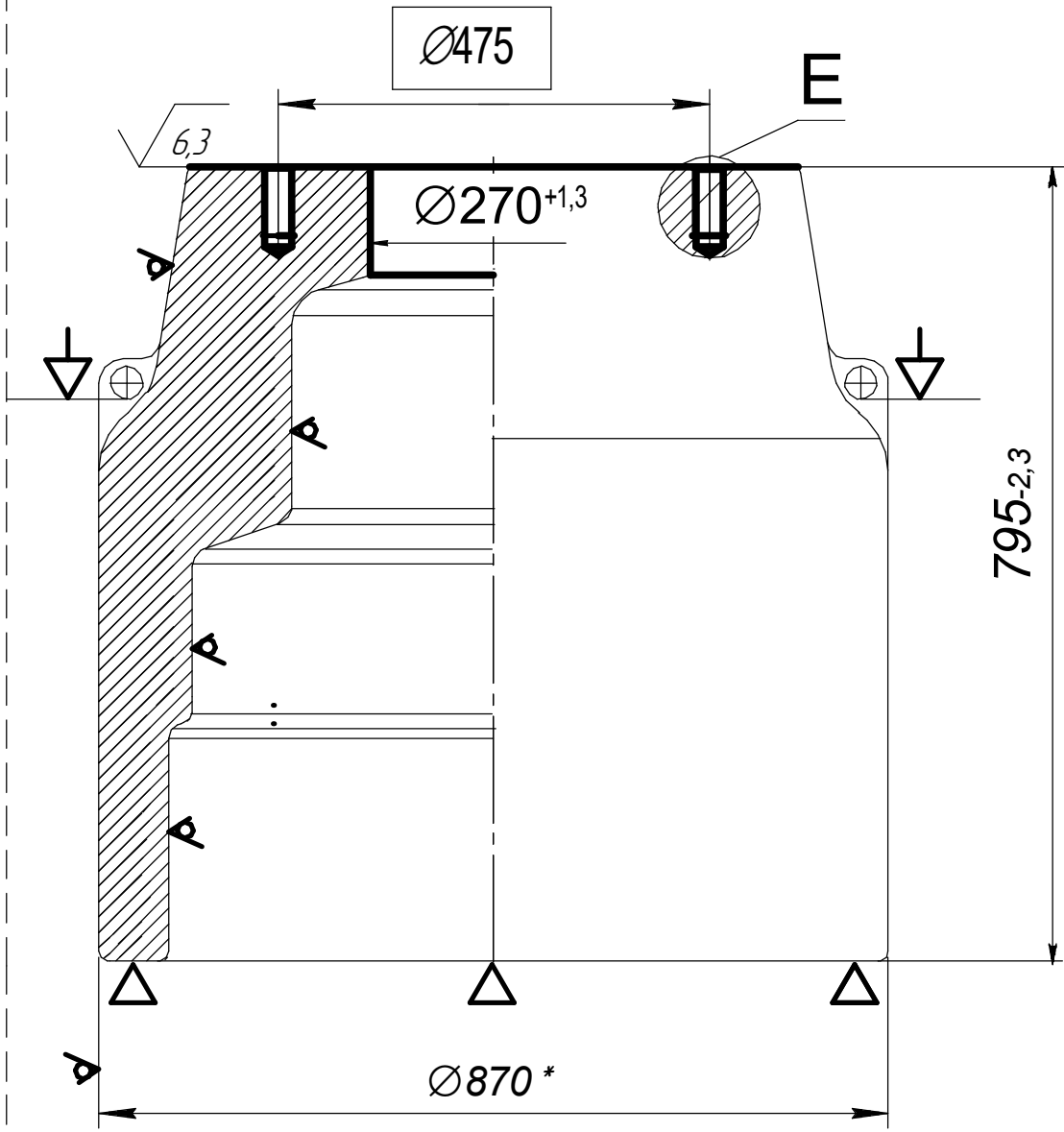
## Заготовка



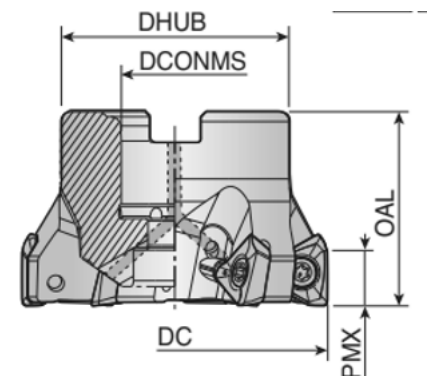
Метод одержання: Електрошлакове литво, що розроблене Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

$$K_{BM} = \frac{M_d}{M_3} = \frac{1578}{1814} = 0,87$$

## Установ I

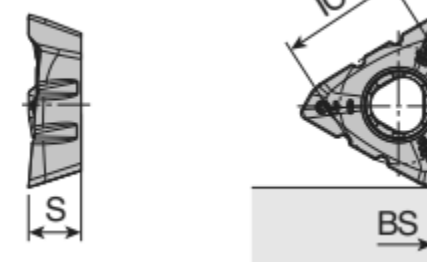


1. Фрезерувати поверхню торця, витримуючи розмір 795-2,3



Фреза торцева TaeguTec 3P TF90-12125-40R-15

Позначення	E41	Розміри, мм					Канали охолодження	Пластина
		DC	DCONMS	DNUB	OAL	APMX		
3P TF90-12125-40R-15	12	125	40	85	63	11	3PK(H)T 1505... E227-E228	



Пластина Splitter

Габарит	Розміри, мм					
	IC	S	APMX	BS	RE	
19	13,5	6,0	15,0	2,0	0,8	

Позначення	Рекомендовані режими різання			Покриття
	Глибина AP, мм	Подача мм/зуб	Швидкість різання, м/хв	
3PKT 190608 SM3	4,5-12	0,22-0,09	115-185	T9080

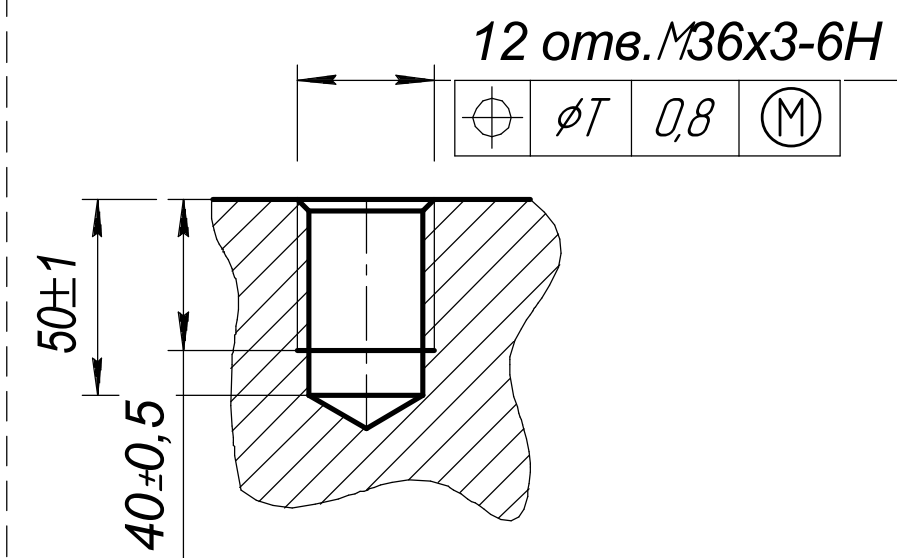
## Верстат The Universal Machining Center HAAS UMC 1000



Система ЧПК HAAS



## E

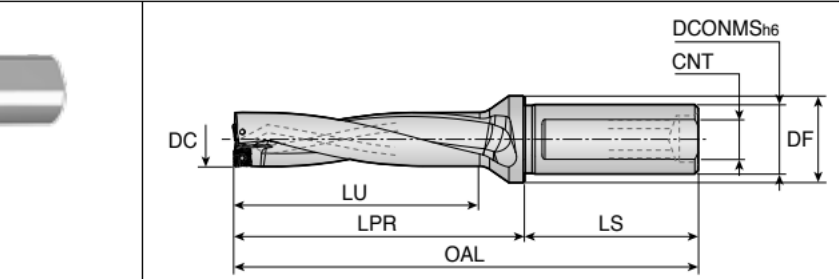


3. Свердлити 12 отворів Ø20×50, розсвердлити до Ø33×50 під нарізь M36×3-6H

Свердло TaeguTec TDR 4330-40T2-09



4×D<sup>12</sup>



Vc (м/мин)	Подача (мм/об)
60-180	0,04-0,15

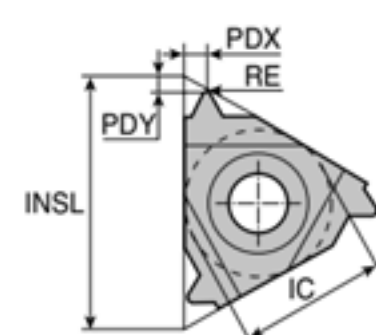
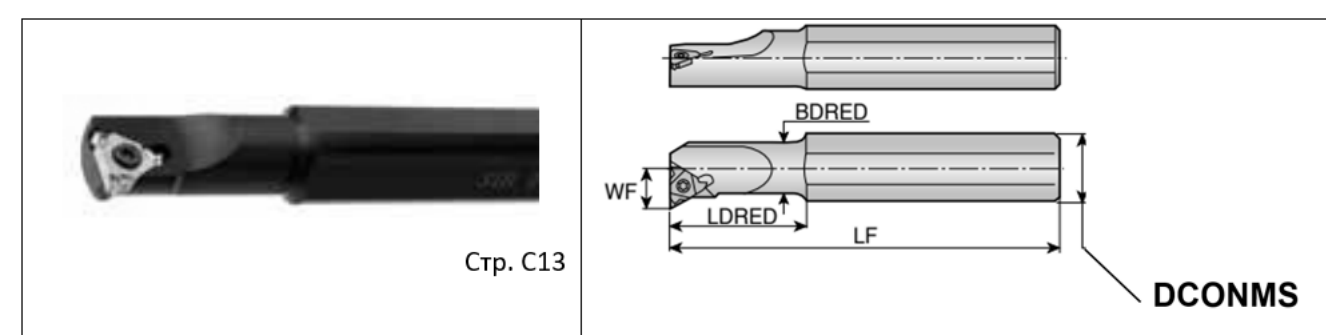
Пластина загального призначення SPMG серії DG		
IC	S	RE
9,80	4,30	0,8

TT9030 Стр. D148

Позначення TDR 4330-40T2-09		Розміри				
DC	DCONMS	DF	LU	LPR	LS	CNT
33,0	40	55	132	165	70	Rc 1/4

4. Обробити у 12 отворах нарізь M36×3-6H, витримуючи 40±0,5 та 50±1,0

Інструмент TaeguTec SIR/L 0016R16B



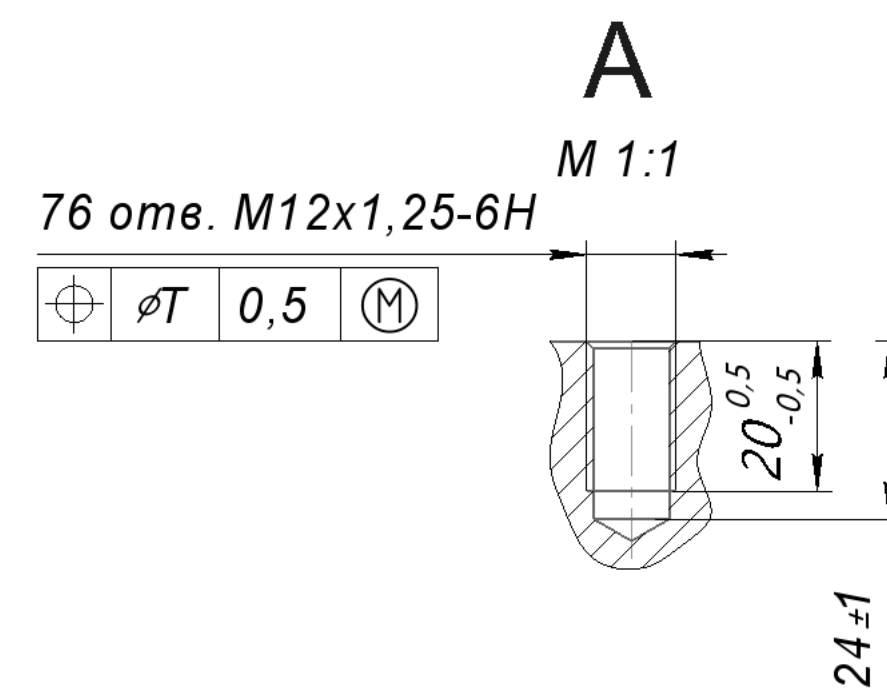
Позначення	Розміри						ЗОР	Пластина
	DCONMS	BDRD	LF	LDRED	Dmin	WF		
SIR/L 0016R16B	20	20	170	40	19	11,7	•	16IR/L

Позначення	Крок	Розміри, мм					Покриття
		IC	INSL	RE	PDY	PDX	
16IR/L	3,00	9,52	16	0,18	1,1	1,5	T9030

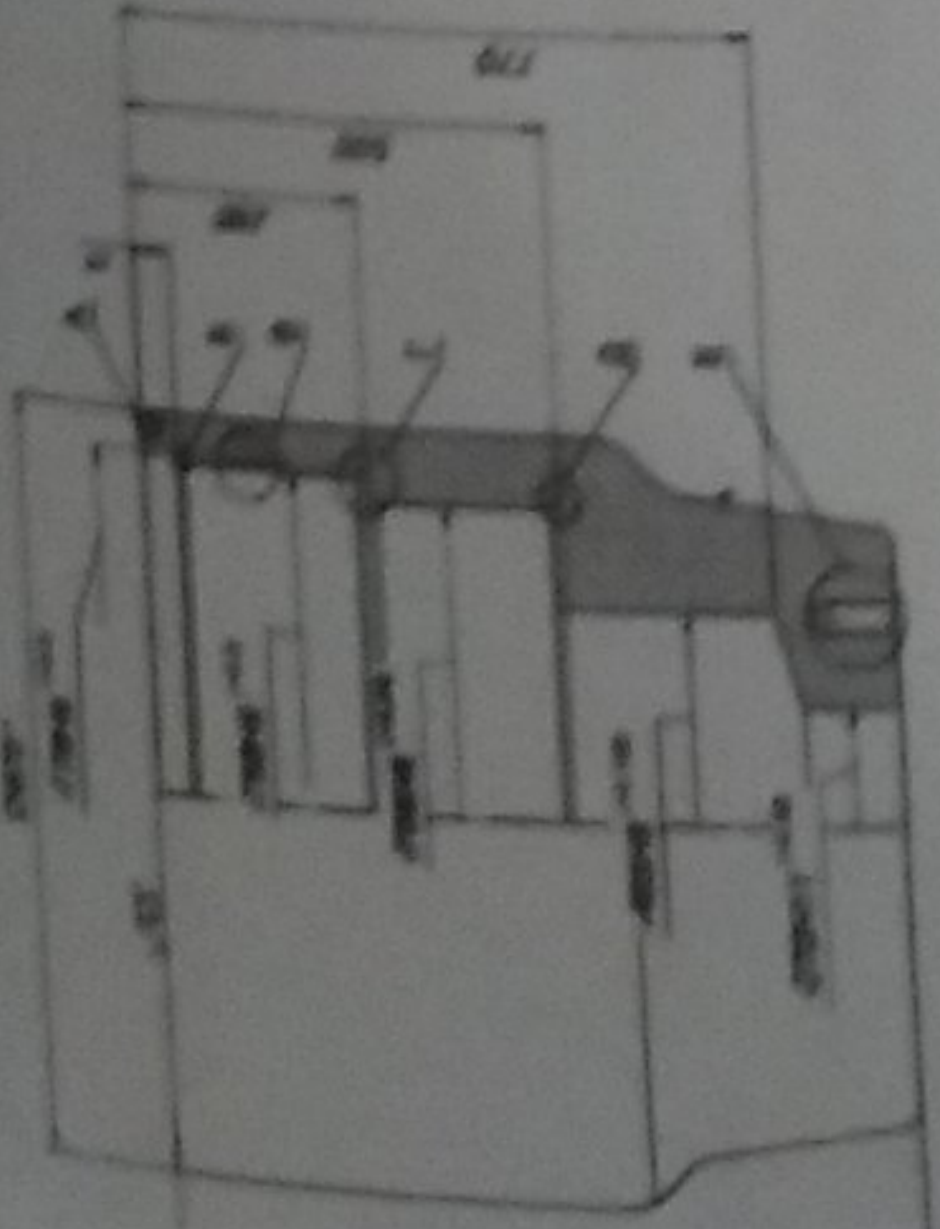
## Установ II

5. Обробити у 76 отворах нарізь M12×1,25-6H, витримуючи розмір 20±0,5

Імітчик TaeguTec



Об'єкт і предмет дослідження



Математичні моделі [1]

$$IF(AND(e_{tr1} \geq e_i; e_{tr1} \leq e_s); 1; 0)$$

$$IF(AND(e_{\Delta} \geq e_i; e_{\Delta} \leq e_s); 1; 0)$$

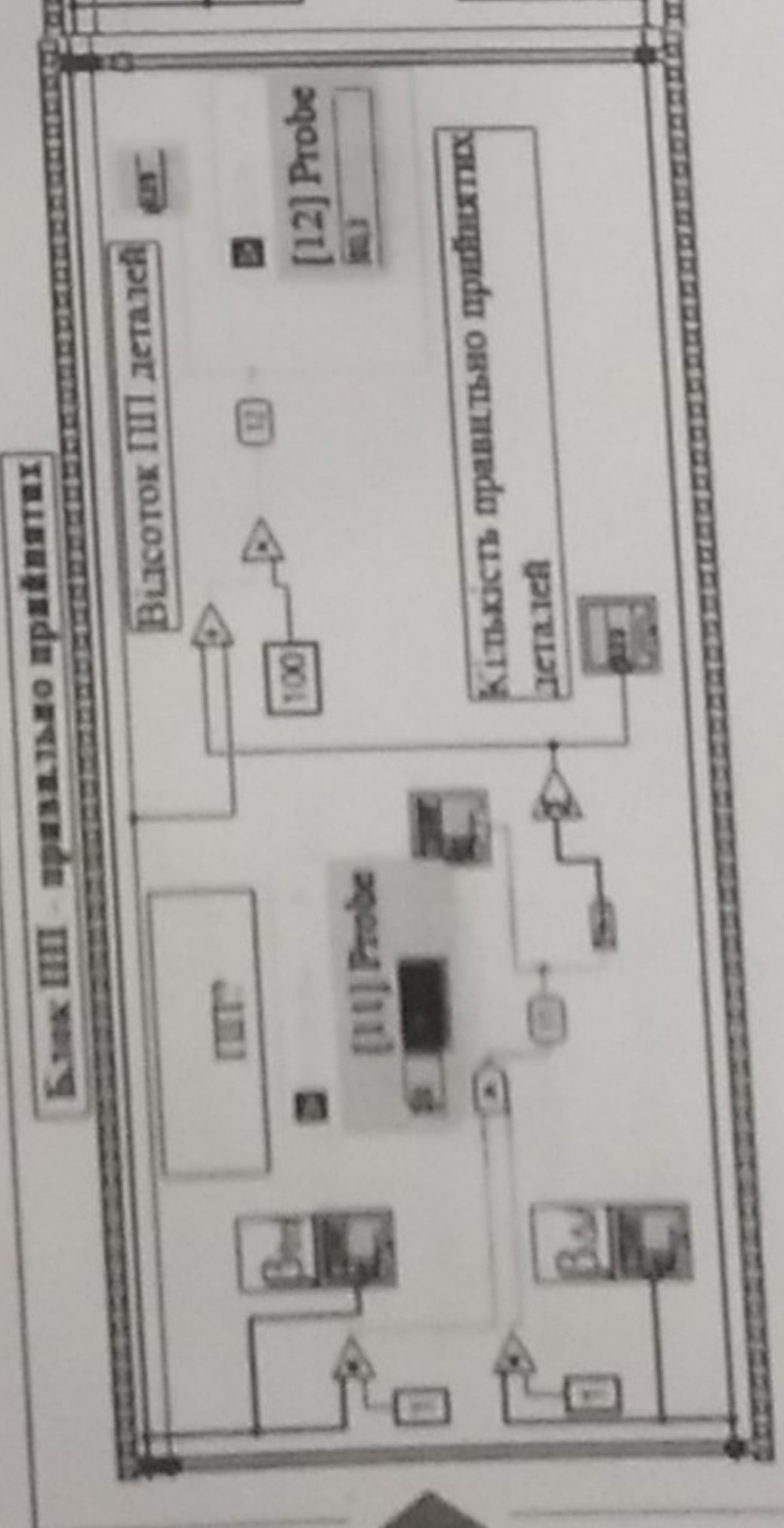
$$=IF(AND(\$C11=1; \$F11=1); 1; 0)$$

$$=IF(AND(\$C11=0; \$F11=1); 1; 0)$$

$$=IF(AND(\$C11=0; \$F11=0); 1; 0)$$

$$=IF(AND(\$C11=1; \$F11=0); 1; 0)$$

$$=IF(AND(\$C11=1; \$F11=1); 1; 0)$$



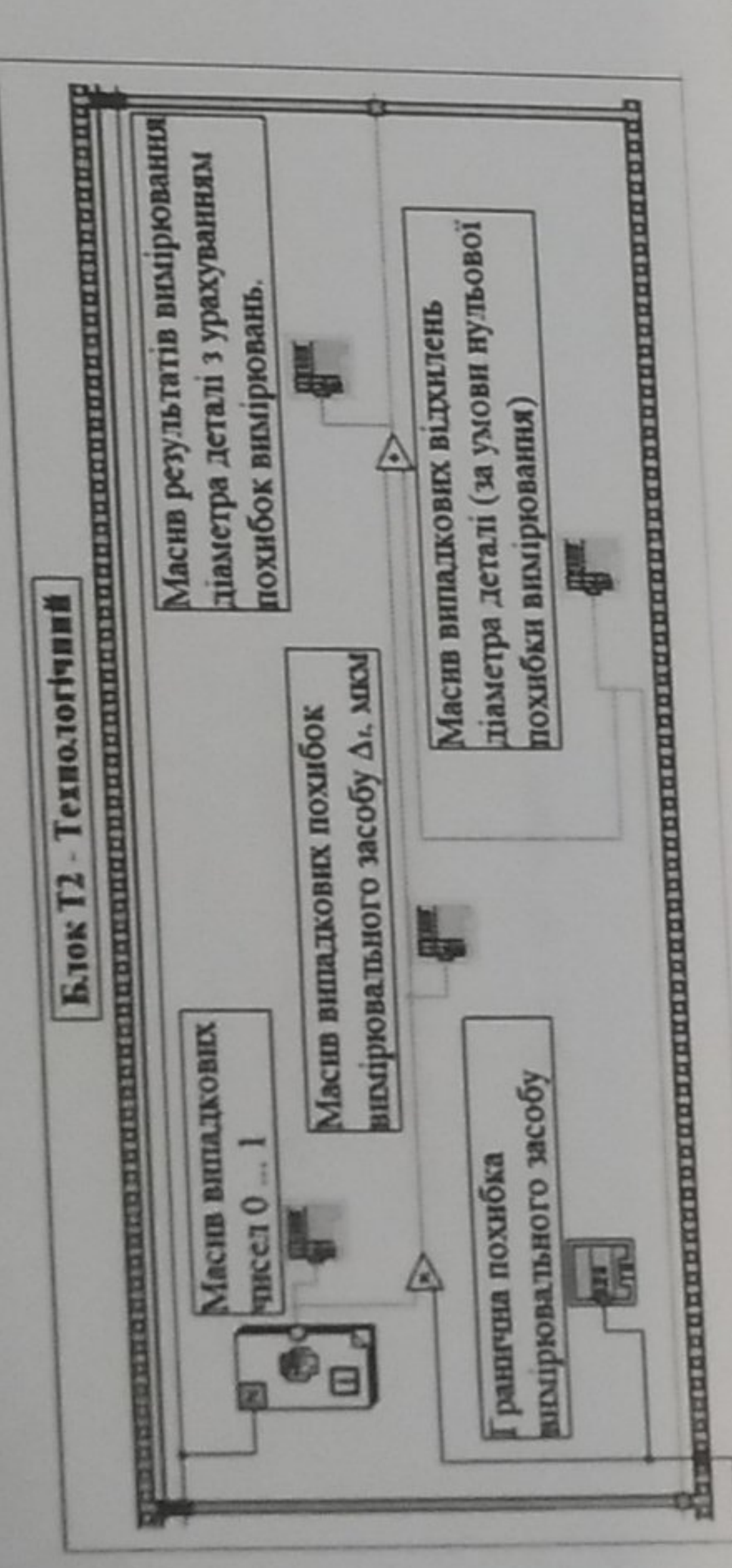
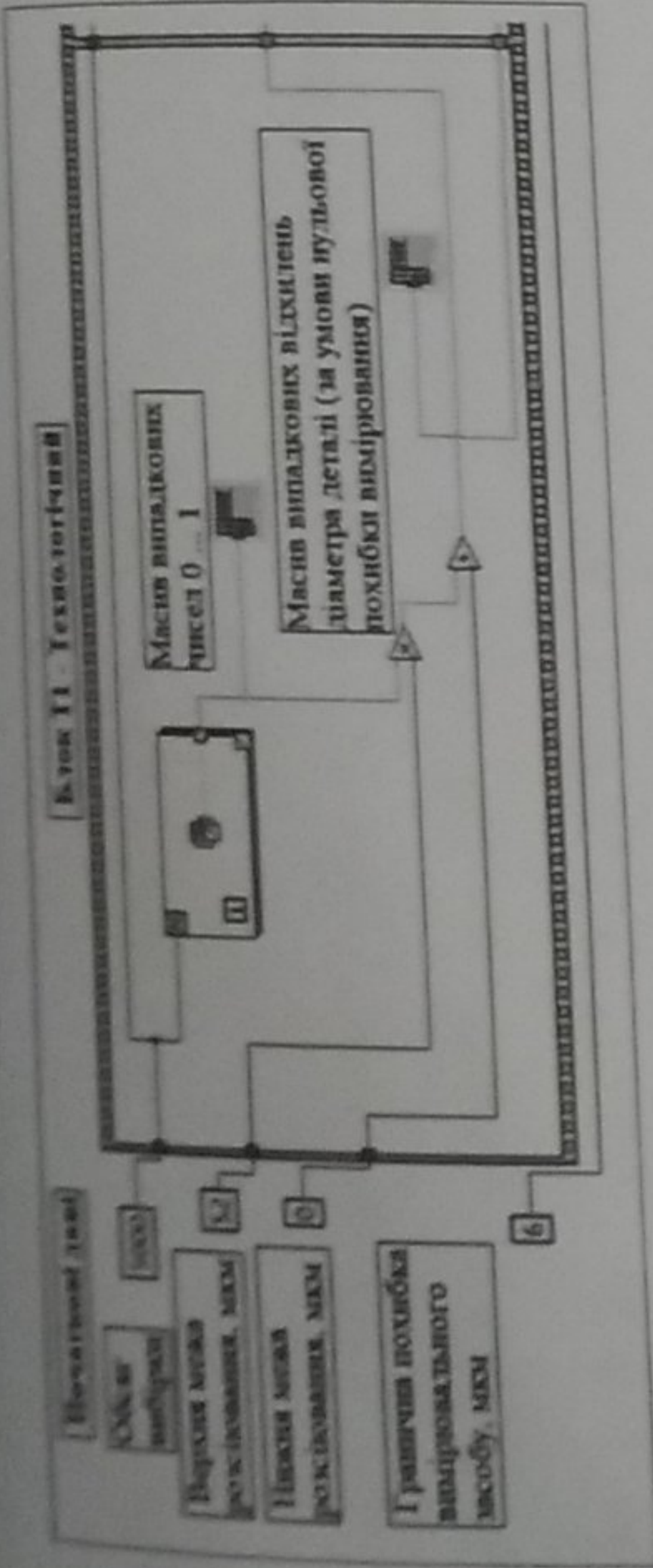
Програма реалізація у середовищі Microsoft EXCEL

Таблиця 1 Формули: прикладу результату імітаційно-статистичного моделювання контролювання програм для розміру Ø706H6(±0.016)

№	e <sub>tr1</sub> [мкм]	e <sub>tr2</sub> [мкм]	e <sub>Δ</sub> [мкм]	e <sub>s</sub> [мкм]	e <sub>tr</sub>	Сортування деталей за категоріями			
						Прийнятні	Непринятно забраковані (ПТ)	Непринятно забраковані (НЗ)	Забраковані
1	16.7	1	14.9	31.6	1	1	0	0	0
45	-6.5	0	8.7	2.2	1	0	0	1	0
129	56.1	0	8.7	64.8	0	0	0	1	0
184	2.5	1	-10.7	-8.2	0	0	0	0	1
Z <sub>tr1</sub> [%]	94.5				88.5	87.5	1.0	4.5	7.0

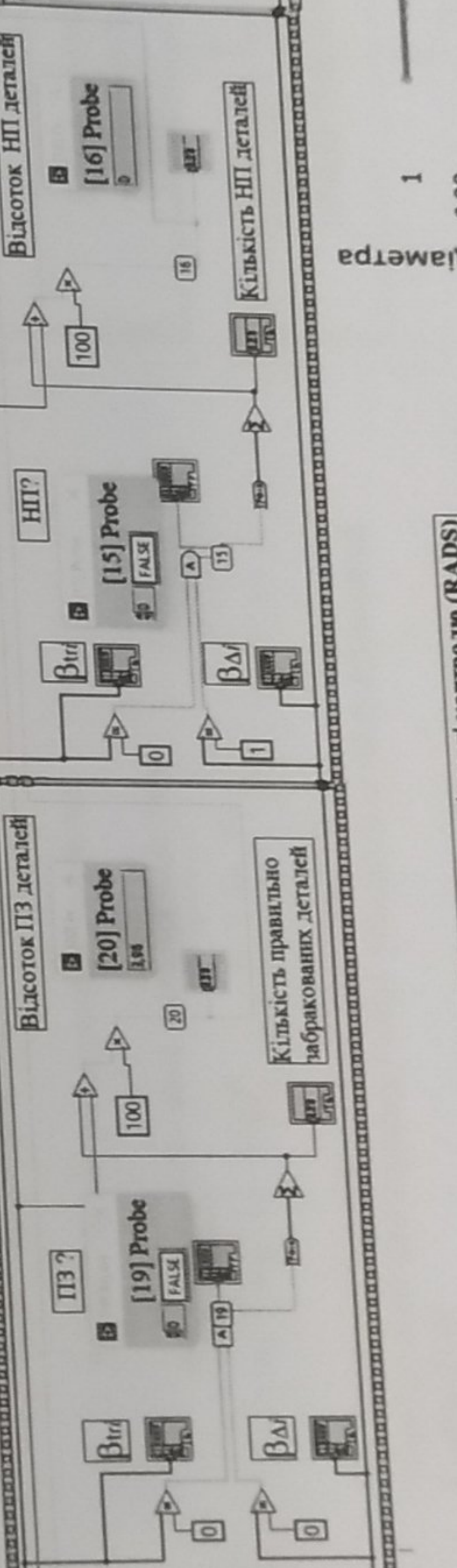
Література [1]: О. VOICHYSHEN, S. PATSERA, V. DERBABA, O. BOCHDANOV, V. HRYHORENKO, V. KORSUN (2023) RELIABILITY ASSESSMENT DIMENSIONAL CONTROL DETAILS OF VEHICLES DEPENDING ON THE ACCURACY TOOL. XV International Scientific Conference

Блоки алгоритмічної моделі у програмі LabVIEW



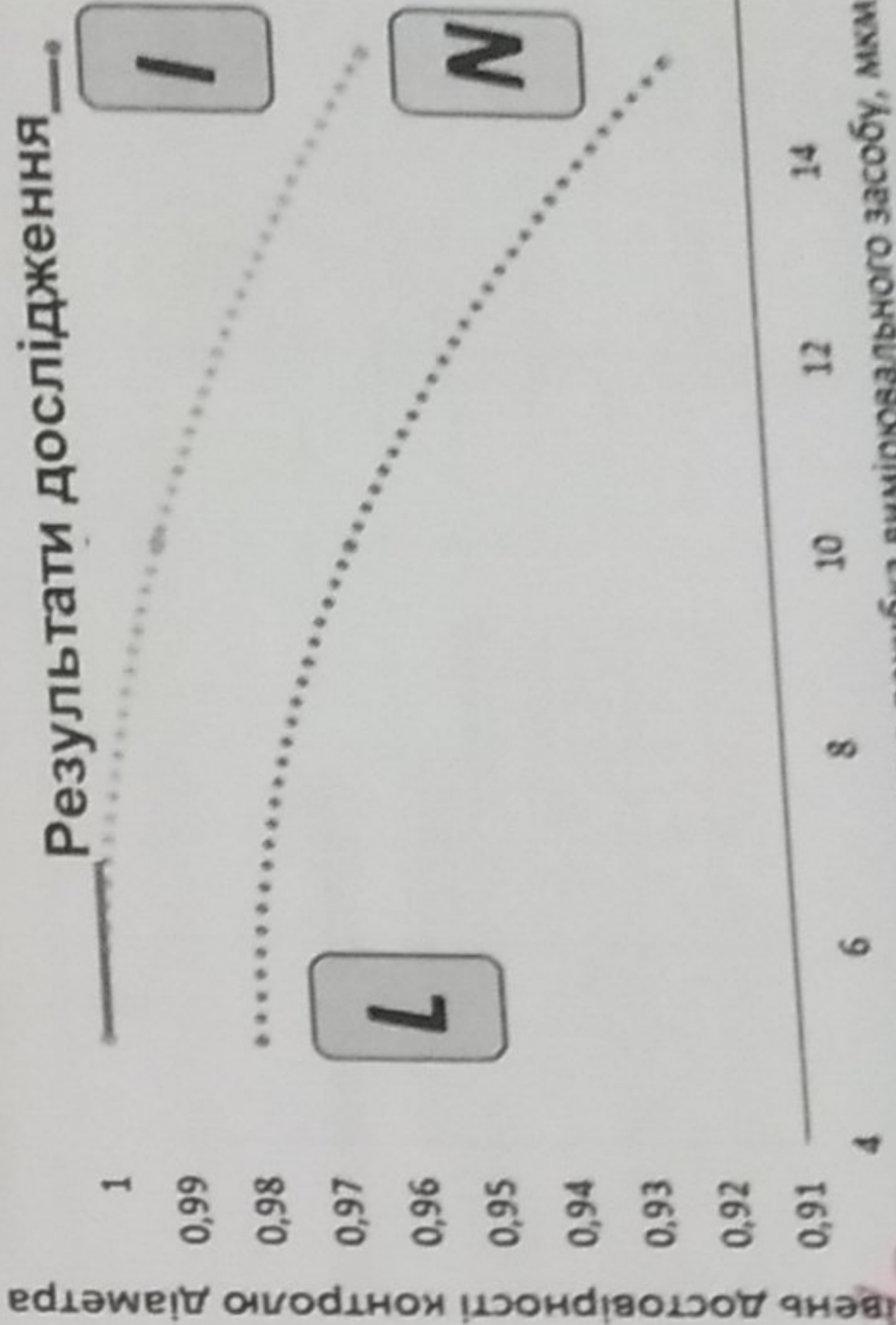
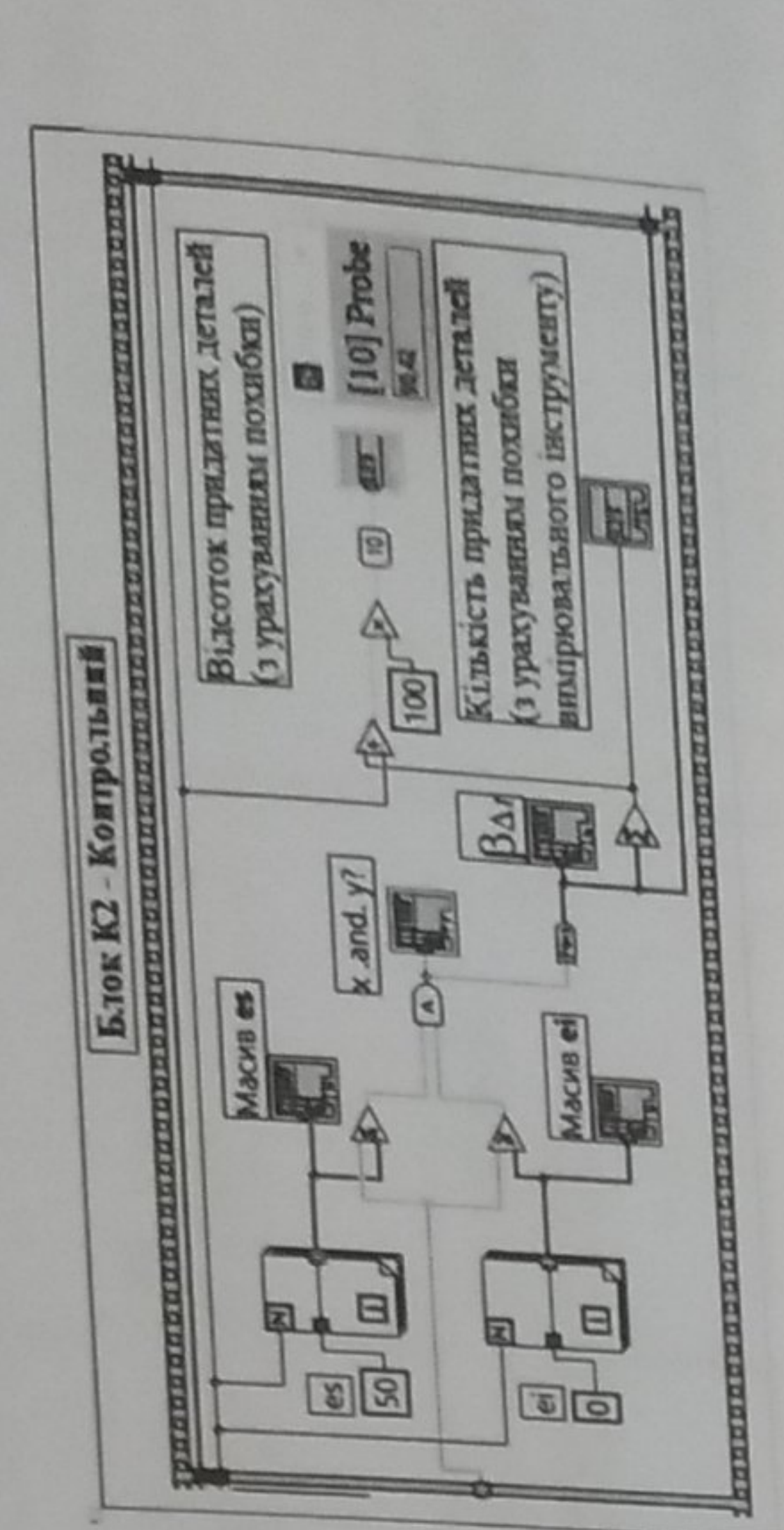
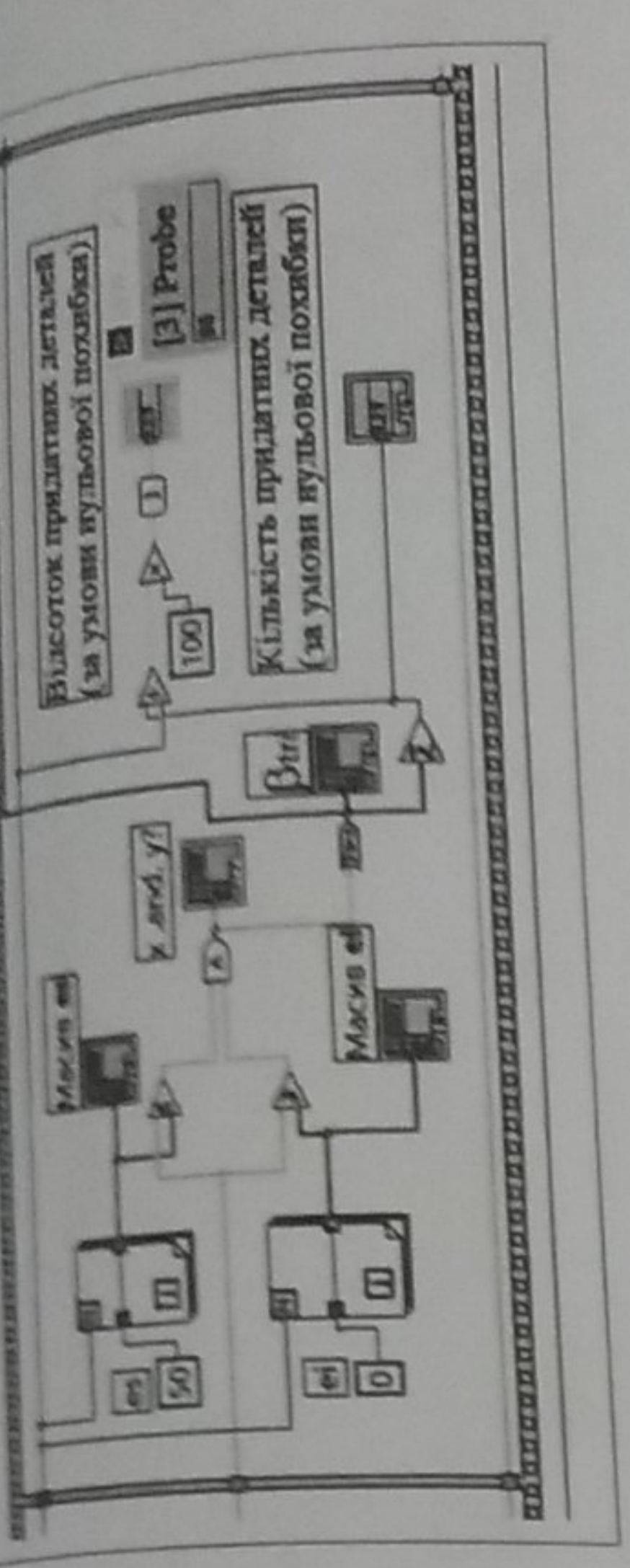
$$=IF(AND(\$C11=0; \$F11=1); 1; 0)$$

$$=IF(AND(\$C11=1; \$F11=1); 1; 0)$$



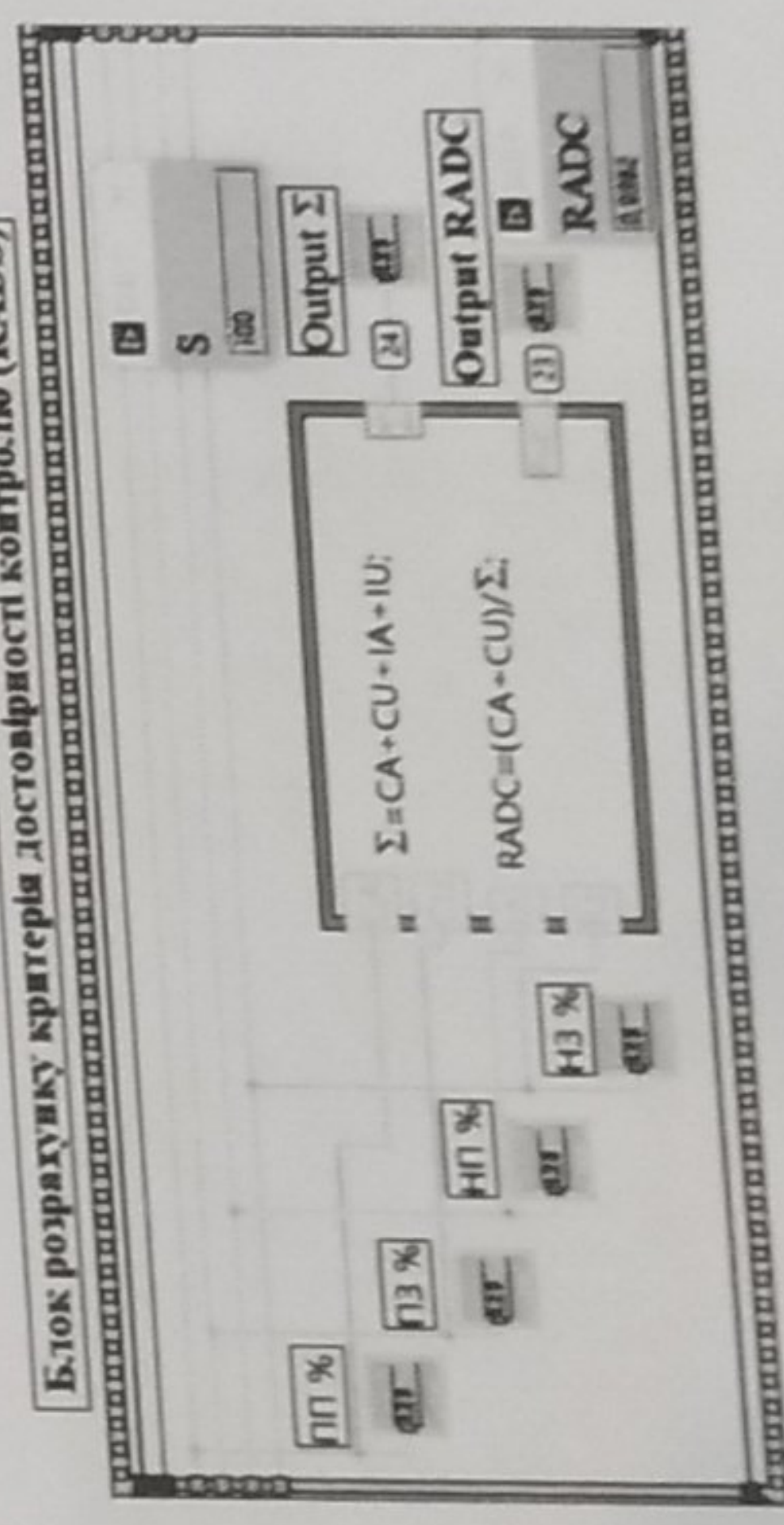
$$=IF(AND(\$C11=0; \$F11=0); 1; 0)$$

$$=IF(AND(\$C11=1; \$F11=0); 1; 0)$$



Максимально допустима похибка вимірювального засобу, мкм

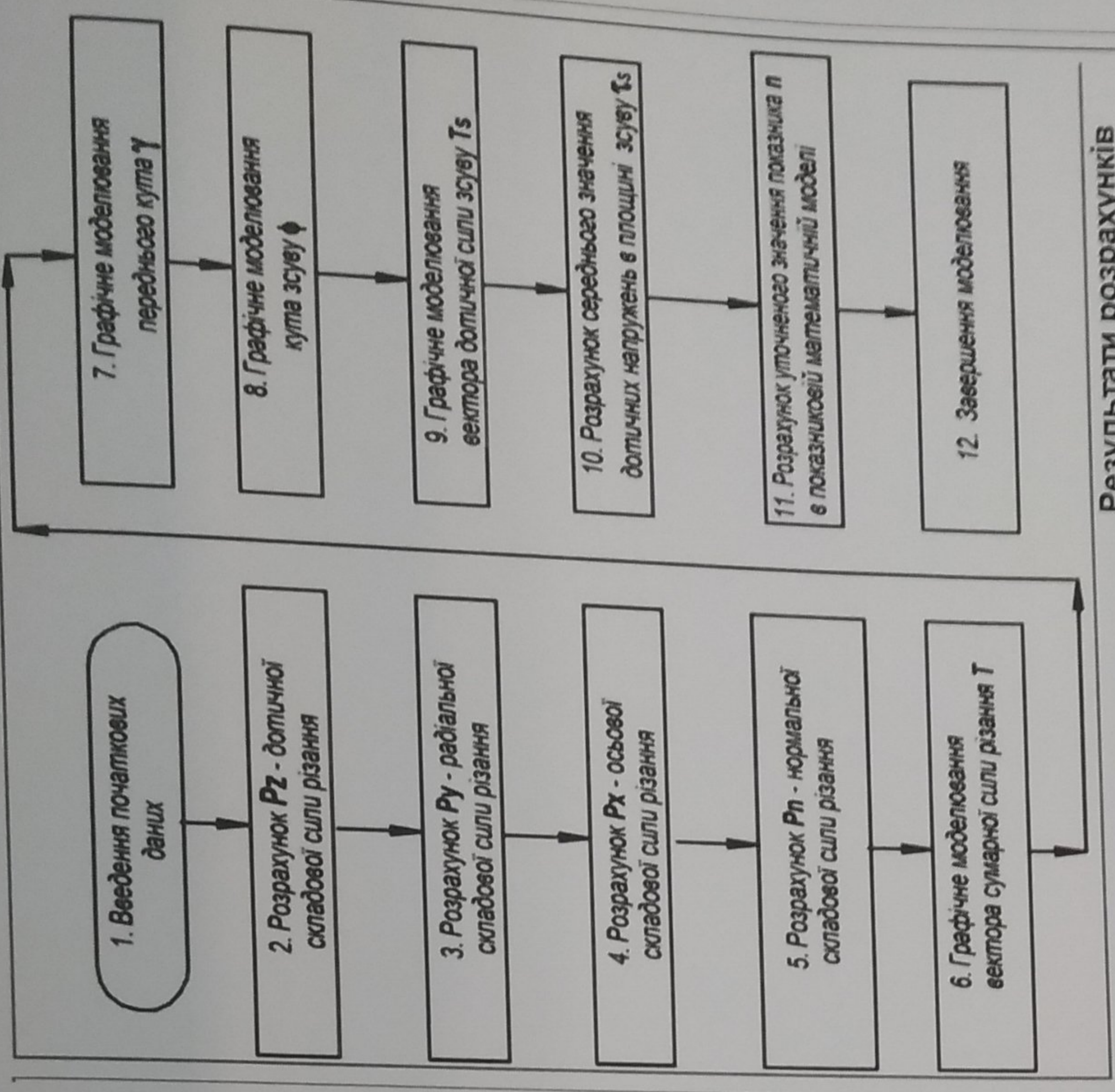
MAXIMUM ALLOWABLE ERROR OF MEASUREMENT TOOL, MICROMETERS



До захиснику

# Алгоритмічна модель визначення параметрів процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою при токарній обробці поверхонь деталей «Корпус превентора»

## Структурна схема алгоритмічної моделі



## Математичні моделі [1].

$$P_x = 1790 \cdot t^{1.0} \cdot s^{0.75} \cdot v^{-0.15} \cdot (1 - \gamma/90)^{1.1} \cdot (1 + \tau)^{0.1} \cdot (1 + h)^{0.4}$$

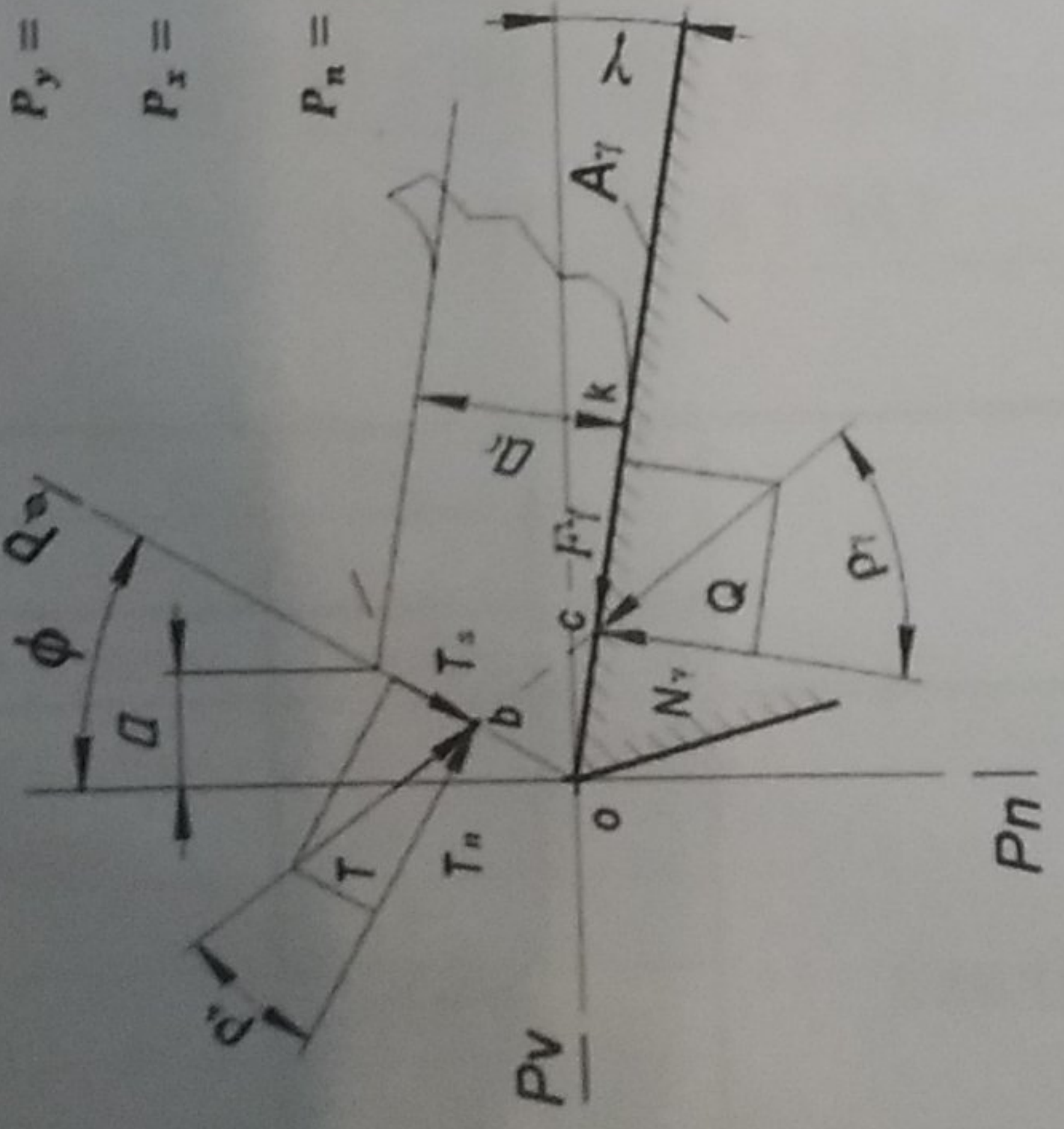
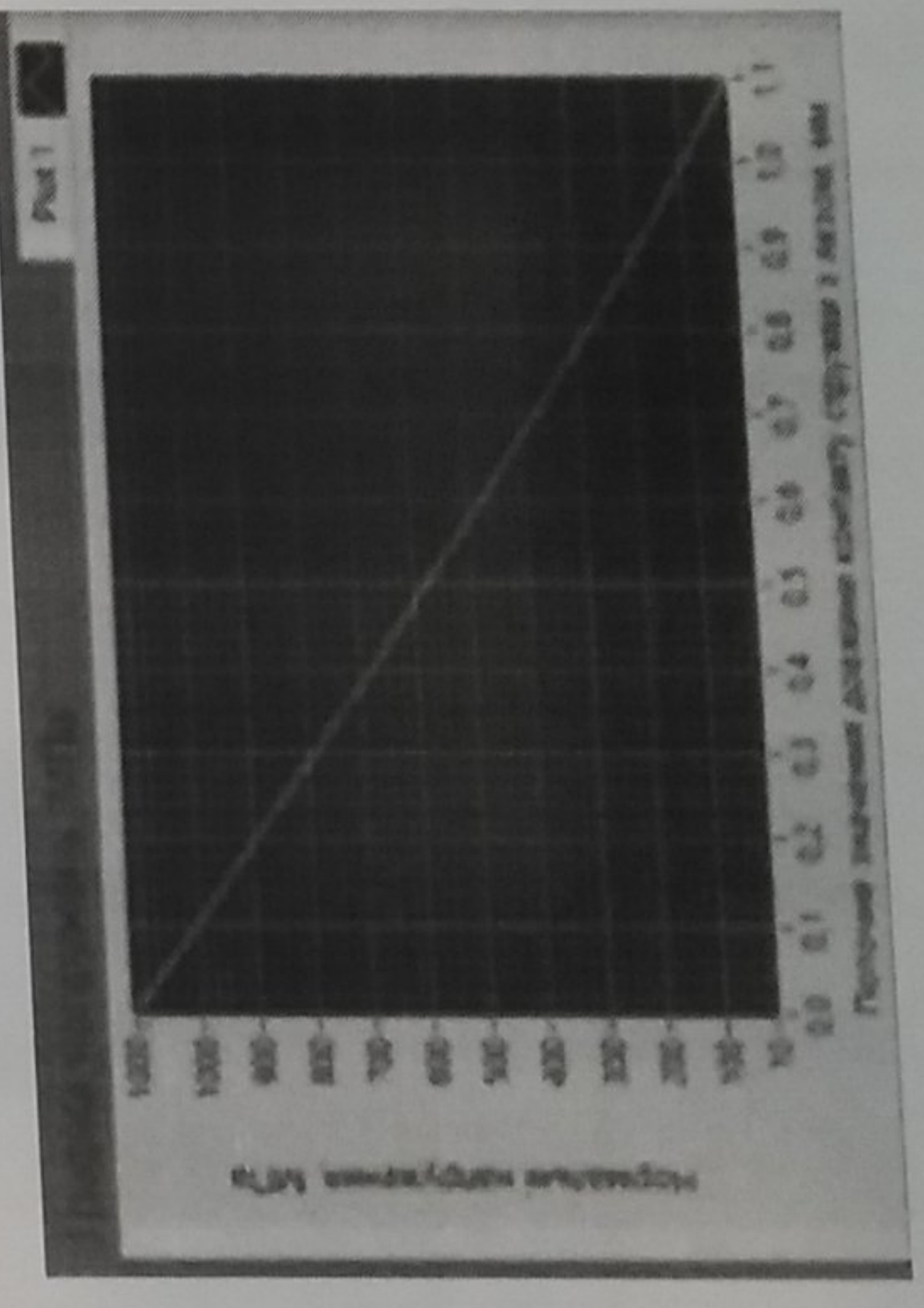
$$P_y = 809 \cdot t^{0.9} \cdot s^{0.6} \cdot v^{-0.3} \cdot (1 - \gamma/90)^{2.8} \cdot (1 + \tau)^{0.3} \cdot (1 + h)^{1.4}$$

$$P_z = 460 \cdot t^{1.0} \cdot s^{0.5} \cdot v^{-0.4} \cdot (1 - \gamma/90)^{2.4} \cdot (1 + \tau)^{-0.2} \cdot (1 + h)^{1.2}$$

$$P_n = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

- $|T| = |Q|$  - умова рівноваги сил;
- $\mu_s = T_s / T_n$  - коефіцієнт тертя зсуву;
- $\rho_s = \arctan(\mu_s)$  - кут зсуву [рад];
- $\mu_\gamma = Q_\gamma / Q_n$  - коефіцієнт тертя стружки;
- $\rho_\gamma = \arctan(\mu_\gamma)$  - кут тертя стружки [рад];
- $ok = h_\gamma$  - довжина контакту стружки з лезом [мм];
- $T_n \cdot ob = Q_n \cdot xos$  умова рівноваги моментів;
- $\tan \phi = \cos \gamma / (K_a - \sin \gamma)$  - формула I.A. Тіме;
- $\sigma_l = \sigma_{0\gamma} \cdot (1 - l/L_\gamma)^n$        $\tau_\gamma = \mu_\gamma \cdot \sigma_\gamma$

## Фрагмент програмної реалізації створеної алгоритмічної моделі у середовищі LabVIEW



### ПОЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДО РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ТА ДО МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

- $P_x$  - основна координатна складові;
- $P_n$  - координатна площина різання;
- $P_y$  - площина зсуву;
- $A_\gamma$  - передня поверхня леза;
- $v$  і  $s$  - товщина перерізу зсуву і стружки;
- $\gamma$  - передній кут леза;
- $\phi$  - кут зсуву;
- $h_\gamma$  - довжина площини зсуву;
- $T_s$  і  $T_n$  - дотична і нормальна складові результуючої сили T стружкоутворення;
- $F_s$  і  $F_n$  - дотична і нормальна складові результуючої сили Q тертя стружки на поверхні  $A_\gamma$ ;
- $ok = h_\gamma$  - довжина контакту стружки з лезом;
- $\sigma_\gamma$  - середнє значення нормальних напружень;
- $\tau_\gamma$  - середнє значення нормальних напружень;
- $l$  - поточна довжина площини зсуву;
- $K_a$  - коефіцієнт потовщення стружки;

## Результати розрахунків

Початкові дані:  $t = 2.0$  мм,  $s = 0.5$  мм,  $v = 1000$  м/хв,  $\gamma = 8$  град,  $\mu_s = 0.15$ ,  $\mu_\gamma = 0.1$

## Початкові дані [1]

Складові сили	$P_x$	$P_y$	$P_z$	$P_n$	$T$	$\gamma$	$\phi$	$h_\gamma$	$\sigma_\gamma$	$\tau_\gamma$
Результуюча сила	1790	809	460	1000	1000	8	15	2.0	1000	100
Довжина контакту	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	8	15	2.0	1000	100
Кут зсуву	15	15	15	15	15	8	15	2.0	1000	100
Кут тертя стружки	10	10	10	10	10	8	15	2.0	1000	100
Середнє значення нормальних напружень	1000	1000	1000	1000	1000	8	15	2.0	1000	100
Середнє значення нормальних напружень	1000	1000	1000	1000	1000	8	15	2.0	1000	100

*Handwritten signature and notes in red ink.*

1. Kravchenko Yu. H. Rozpodil napruzhenn na plastychno-pruzhnomi kontakti struzhka-lezo / Yu. H. Kravchenko, S. T. Papisera // Zbitnyk naukovykh prats NCHU : nauk.-tekhn. zb. - D. : NTU "Dniprovskya politekhnika", 2021. - № 66 - S. 140-152. <https://doi.org/10.33271/2415-1118.2021.66.140>

Формат	Поз.	Зона	Позначення			Найменування			Кіл	Примітки	
						<u>Документація</u>					
A4			ТММ.131.ОНП.23.4.ПЗ			Записка пояснювальна			62		
						<u>Кресленики і графічні матеріали</u>					
A1			ТММ.131.ОНП.23.4 ТК			Додаток А			1	Включено до ПЗ	
A1			ТММ.131.ОНП.23.4 ГМ1			Додаток Б			1	Включено до ПЗ	
A4			ТММ.131.ОНП.23.4 ТД			Додаток В			10	Включено до ПЗ	
A1			ТММ.131.ОНП.23.4 ГМ2			Додаток Г			1	Включено до ПЗ	
A1			ТММ.131.ОНП.23.4 ГМ3			Додаток Д			1	Включено до ПЗ	
						ТММ.131.ОНП.23.4. ВКР					
Зм	Лист	№ Докум.	Підпис	Дата	Відомість кваліфікаційної роботи			Літ	Лист	Листів	
Розроб.		Гарасенко								1	1
Керівник		Пацера									
Н.контр.											
Утв.								НТУ «Дніпровська політехніка»			

## ВІДГУК

### керівника випускної магістерської кваліфікаційної роботи здобувача Тарасенка Івана Віталійовича

Кваліфікаційна робота Тарасенка Івана Віталійовича виконана на актуальну тему.

Оцінення на відповідність вимогам стандартам вищої освіти та складовим опису кваліфікаційного рівня є наступне:

1) 95 бали за аналітичний розділ, що містить аналізи конструктивних та технологічних особливостей деталі.

2) 95 балів за технологічний розділ, в якому виконано проєкт технології механічного оброблення деталі.

3) 98 балів заслуговує спеціальний розділ. Позитивною рисою є наявність елементів наукової новизни. Раніше відомі імітаційно-статистичні методи моделювання контрольних процедур доповнені вперше розробленою алгоритмічною моделлю у форматі програмного коду на базі середовища LabVIEW.

4) 96 балів заслуговує науково-дослідницький розділ. Недоліком є нечітке формулювання наукової новизни.

На 92 балів оцінена якість оформлення.

В цілому представлена на підпис випускна кваліфікаційна робота з може бути оцінена на 96 балів (відмінно).

Керівник кваліфікаційної роботи  
канд. техн. наук, професор кафедри ТММ  
С.Т. Пацера

