

УДК 005.53:005.932:621.91  
УКПШ  
№ держреєстрації 0116U002624  
Інв. №

**Міністерство освіти і науки України**  
Сумський державний університет  
(СумДУ)  
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, тел. (0542) 33-41-08,  
[info@sci.sumdu.edu.ua](mailto:info@sci.sumdu.edu.ua)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
д-р. фіз.-мат. наук, професор

\_\_\_\_\_ А. М. Черноус

**ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ  
В СИСТЕМІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВ  
(остаточний)**

Начальник НДЧ  
канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.

\_\_\_\_\_ Д. І. Курбатов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

Науковий керівник НДР  
д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ В. О. Залога  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

2018

Рукопис закінчено 20 грудня 2018 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол  
від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р. № \_\_\_\_\_

**СПИСОК АВТОРІВ**

Керівник НДР, гол. наук. співроб., д-р техн. наук	_____	В. О. Залога (вступ, додаток А)
	(20.12.2018 р.)	
Відповідальний виконавець, старш. наук. співроб. канд. техн. наук	_____	О. В. Івченко (реферат, вступ, розділ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 висновок)
	(20.12.2018 р.)	
Виконавці:		
Інженер	_____	О. Г. Залога (розділ 1)
	(20.12.2018 р.)	
Мол. наук. співроб.	_____	О. О. Залога (розділ 3, 4)
	(20.12.2018 р.)	
Лаборант	_____	Р. О. Залога (додаток А)
	(20.12.2018 р.)	
Пров. наук. співроб., д-р техн. наук	_____	Д. В. Криворучко (розділи 3)
	(20.12.2018 р.)	
Наук. співроб., канд. філло. наук	_____	В. О. Дорда (розділи 1, 2, 3)
	(20.12.2018 р.)	
Наук. співроб., д-р техн. наук	_____	К. О. Дядюра (розділ 3, 4)
	(20.12.2018 р.)	

Наук. співроб., канд. техн. наук	_____	В. О. Іванов (розділи 1, 2)
Мол. наук. співроб., канд. техн. наук	_____	Д. О. Жигилій (розділи 3, 4, 5)
Мол. наук. співроб., канд. техн. наук	_____	Ю. В. Шаповал (розділ 2)
Мол. наук. співроб., канд. техн. наук	_____	П. В. Кушніров (розділ 3)
Інженер	_____	Т. Г. Давидова (розділ 1)
Інженер, канд. техн. наук	_____	Ю. О. Денисенко (розділ 2, 5, 6, 7)
Інженер	_____	І. Ю. Заїка (розділ 7)
Інженер	_____	К. А. Іванова (розділ 7)
Інженер, канд. техн. наук	_____	В. О. Колесник (розділ 3)
Інженер	_____	Н. О. Кунпан (розділ 7)

Інженер	_____	Н. В. Сущенко
	(20.12.2018 р.)	(розділ 7)
Інженер	_____	Т. А. Ткач
	(20.12.2018 р.)	(розділ 4)
Інженер	_____	В. Г. Фортонюк
	(20.12.2018 р.)	(розділ 1)
Лаборант	_____	Я. В. Багрій
	(20.12.2018 р.)	(розділ 2, 3)
Лаборант	_____	О. В. Бублик
	(20.12.2018 р.)	(розділ 4)
Лаборант	_____	М. О. Косов
	(20.12.2018 р.)	(розділ 3)
Лаборант	_____	Є. С. Лобов
	(20.12.2018 р.)	(розділ 2)
Лаборант	_____	А. С. Павлова
	(20.12.2018 р.)	(розділ 1, 4)
Лаборант	_____	М. Л. Сивоконь
	(20.12.2018 р.)	(розділ 3)
Лаборант	_____	М. В. Сидоренко
	(20.12.2018 р.)	(розділ 4)

Лаборант	_____	В. В. Федоришин
	(20.12.2018 р.)	(розділ 3)
Лаборант	_____	С. П. Холявка
	(20.12.2018 р.)	(розділ 5)
Лаборант	_____	Д. О. Шапошніков
	(20.12.2018 р.)	(розділ ІЗ)

## РЕФЕРАТ

Звіт: 293 с., 70 рис., 48 табл., 89 джерел.

ЛЕЗО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ФІНІШНА ОБРОБКА, ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ, ЕКСПРЕС-МЕТОД, АДГЕЗІЙНА СКЛАДОВА СИЛИ ТЕРТЯ, ІНДЕНТОР, ПОКУПНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ІНФОРМАЦІЯ, СИСТЕМА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

Об'єкт дослідження – сукупність процесів з інструментального забезпечення промислових виробництв подвійного призначення.

Предмет дослідження – теорія оцінки зносу, стійкості, ресурсу та продуктивності різальних інструментів з врахуванням невизначеності цих показників в реальних виробничих умовах.

Мета проекту – є розроблення наукових і методологічних основ оцінювання якості (технологічних властивостей) покупних різальних інструментів та прогнозування їх стану безпосередньо у процесі оброблення.

У ході виконання науково-дослідної роботи на основі логіко-структурного аналізу та опрацювань статистичних даних щодо діяльності машинобудівних підприємств з дрібносерійним та одиничним типом виробництва та за допомогою встановлених принципів і методів формування баз даних створена система техніко-економічних показників якості металорізального інструменту, що купується, з урахуванням невизначеності інформації для конкретних виробничих умов машино-будівного підприємства.

Вирішено проблему створення нових засобів і методів оцінювання якості лез різальних інструментів (далі ЛРІ) для фінішної обробки. На основі дослідження процесу формування контактної зони «інструмент – оброблювана деталь» в умовах адгезії встановлено залежність якості ЛРІ від адгезійної складової сили тертя. Розроблено й практично реалізовано інструментарій щодо кількісного оцінювання якості ЛРІ, основою якого є імітаційне моделювання процесу різання, що враховує трибологічну взаємодію інструментального та оброблюваного матеріалів та радіус округлення леза різального інструменту. Запропоновано стандартні геометричні параметри індентора для визначення адгезійної складової сили тертя, яка може мати місце в процесі різання інструментом при заданих умовах у тому числі з покриттями.

Розроблено нормативне забезпечення процесу кількісного оцінювання якості ЛРІ як типовий стандарт організації «Експрес-метод оцінювання якості леза металорізального інструменту», що дозволяє, в умовах використання сучасних CALS-технологій поліпшити показники ефективності механічної обробки матеріалів.

## ЗМІСТ

С.

Вступ.....	12
1 Сучасний стан нормативного забезпечення та шляхи розвитку питання прийняття рішення щодо вибору лезового різального інструменту для чистової обробки .....	22
1.1 Сучасний стан нормативного забезпечення процесів вибору лезового різального інструменту для чистової обробки .....	22
1.2 Обґрунтування застосування оцінювання якості лез різальних інструментів для чистової обробки в сучасних умовах .....	24
1.3 Визначення показників якості лезових різальних інструментів .....	32
1.4 Методи оцінювання якості лез різальних інструментів.....	37
1.5 Трибологія різання та питання якості лез різальних інструментів.....	39
1.5.1 Трибологія різання.....	39
1.5.2 Дифузійні процеси .....	43
1.6 Сучасні методи вимірювання радіуса округлення різальної кромки .....	44
1.6.1 Спосіб світлового перетину .....	45
1.6.2 Спосіб вимірювання методом відбитку.....	45
1.6.3 Спосіб вимірювання методом обмацування на профілографі- профілометрі.....	46
1.6.4 Спосіб оптичного вимірювання радіусів.....	46
1.6.5 Спосіб вимірювання радіуса різальної кромки за шириною смуги, що світиться.....	46
1.7 Висновок .....	47
2 Дослідження проблеми управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва .....	49
2.1 Управління якістю інструментальної підготовки виробництва сучасного машинобудівного підприємства .....	49

2.2 Сучасний стан управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва в умовах функціонування інформаційних технологій .....	53
2.3 Дослідження методів прогнозування .....	74
2.4 Управління техніко-економічними показниками ІС ІПВ .....	77
2.4.1 Основні засади побудови системи техніко-економічних показників ІПВ .....	77
2.4.2 Сучасний стан проблеми управління витратами на ІПВ .....	79
2.5 Висновок .....	85
3 Теоретичні основи неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різальних інструментів.....	87
3.1 Оцінювання якості лезового різального інструменту для заданих умов оброблення поверхні .....	87
3.2 Визначення показників якості.....	98
3.2.1 Продуктивність різального інструменту .....	98
3.2.2 Мінімальні витрати електроенергії під час механічного оброблення поверхні.....	99
3.2.3 Мінімальна собівартість оброблення.....	100
3.2.4 Стійкість інструменту.....	100
3.3 Розв'язання задачі вибору цільової функції оптимізації .....	101
3.3.1 Комплексний показник якості ЛРІ .....	101
3.3.2 Методика визначення коефіцієнтів вагомості критеріїв оптимальності технологічного процесу .....	104
3.4 Система факторів для оцінювання якості покупних різальних інструментів .....	110
3.5 Визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням .....	113
3.5.1 Дослідження питання трибологічної взаємодії в процесі обробки матеріалів різанням.....	113
3.5.2 Методика дослідження трибологічної взаємодії інструментального та конструкційного матеріалів.....	119



3.5.3 Математична модель індентора для визначення трибологічних властивостей інструментального та конструкційного матеріалів.....	125
3.5.4 Метод визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням .....	130
3.6 Методика визначення шорсткості поверхні деталі після механічної обробки .....	145
3.7 Метод вимірювання радіуса округлення різальної кромки .....	146
3.8 Метод дослідження деформаційної складової тертя .....	149
3.9 Висновок .....	152
4 Експериментальне дослідження неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різального інструменту.....	155
4.1 Експериментальне визначення геометричних параметрів індентора для різних матеріалів.....	155
4.2 Визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням .....	156
4.3 Визначення екстремальних значень критеріїв оптимальності технологічного процесу методами імітаційного моделювання .....	157
4.4 Експериментальне дослідження величини зношування різального леза по задній поверхні.....	159
4.5 Експериментальне визначення показників якості різального інструменту ....	161
4.5.1 Експериментальне визначення параметрів вагомості показників вибору цільової функції для підприємства № 1 .....	161
4.5.2 Експериментальне визначення параметрів вагомості показників вибору цільової функції для підприємства № 2 .....	163
4.5.3 Обчислення комплексних показників якості пластин .....	164
4.6 Оцінювання невизначеності вимірювання під час визначення складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням .....	169
4.6.1 Загальні положення.....	169
4.6.2 Побудова моделі рівняння.....	173
4.6.3 Невизначеність, зумовлена впливом крутного моменту .....	174

	10
4.6.4 Невизначеність, зумовлена обчисленням величини $C_1$ .....	177
4.6.5 Відносна похибка визначення величини $C_2$ .....	178
4.6.6 Невизначеність, зумовлена визначенням значень сили повздожнього стискання.....	179
4.6.7 Невизначеність, зумовлена визначенням значень комплексу пружних сталих матеріалів.....	180
4.6.8 Бюджет невизначеностей .....	181
4.6.9 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності.....	181
4.6.10 Оцінювання розширеної невизначеності.....	182
4.7 Висновок .....	182
5 Розроблення моделі управління якістю інструментальної підготовки виробництва в умовах прогнозування на базі функціонування інформаційних технологій.....	184
5.1 Концептуальна модель інформаційної системи управління ППВ.....	184
Рисунок 5.3 – Модель інформаційної системи управління якістю ППВ (процесний підхід) .....	189
5.2 Розроблення класифікації ТЕП та витрат на якість процесів ІС ППВ.....	189
5.2.1 Класифікація ТЕП .....	189
5.2.2 Класифікація витрат на якість процесів ІС ППВ .....	199
5.3 Математична модель прийняття рішень в інформаційній системі управління якістю інструментальної підготовки виробництва .....	205
5.3.1 Загальна концепція моделі прийняття рішень в ІС ППВ .....	205
5.3.2 Застосування методів оптимізації на графі для реалізації моделі прийняття рішень .....	213
5.3.3 Бальне оцінювання ТЕП на основі застосування теорії нечітких множин.....	216
5.3.4 Застосування марківських ланцюгів при визначенні ймовірності здійснення обраної стратегії .....	229
5.4 Висновок .....	233

6 Експериментальне обґрунтування методу прийняття рішень при управлінні якістю процесів ІПВ .....	236
6.1 Обґрунтування вибору раціонального методу прогнозування техніко-економічних показників інструментальної підготовки виробництва.....	236
6.2 Практична реалізація запропонованої моделі управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва .....	243
6.3 Обґрунтування ефективності впровадження Методики прийняття рішень ...	254
6.4 Висновок .....	260
7 Розроблення рекомендацій щодо впровадження та нормативного забезпечення інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва .....	262
7.1 Алгоритм розроблення і впровадження інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва ...	262
7.2 Розроблення рекомендацій щодо нормативного забезпечення інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва .....	267
7.2.1 Рекомендації щодо нормативного забезпечення інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва.....	267
7.2.2 Розроблення проекту Типової методики прийняття рішень в інформаційній системі інструментальної підготовки виробництва .....	270
7.3 Нормативне забезпечення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різального інструменту .....	272
7.3.1 Загальний алгоритм прийняття рішення .....	272
7.3.2 Нормативне забезпечення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різального інструменту .....	272
7.4 Висновок .....	274
Висновки .....	276
Перелік джерел посилання .....	280
Додаток А Акти впровадження результатів науково-дослідної роботи.....	289

## ВСТУП

Звіт виконувався в рамках НДР № 51.20.01-01.16/18.3Ф.

Проект направлено на створення науково-методологічних основ управління процесом інструментального забезпечення виробництв дрібносерійних багатомономенклатурних підприємств машинобудівного комплексу в умовах використання покупного різального інструменту на основі: проведення входного контролю, що базується на не руйнівному експрес оцінюванні якості лез інструменту й форсованих методів оцінки його стійкості та застосуванні скінчено-елементного аналізу стосовно прогнозування ресурсу інструменту з урахуванням техніко-економічних показників виробництва та виконання вимог виробничого завдання. Реалізації запропонованих науково-методологічних основ стане базою знань для прикладних досліджень з розробки проекту стандарту щодо експрес оцінювання якості лез інструменту, що купується.

**Актуальність теми.** Машинобудівна промисловість відіграє велику роль у розвитку продуктивних сил країни, у роботі з прискорення науково-технічного прогресу та підвищення ефективності національної економіки. Основу машинобудування становить матеріалообробка. Розвиток машинобудування нерозривно пов'язаний з виробництвом нових матеріалів. У всі часи від використання природних і створених людиною матеріалів залежали міцність, надійність і довговічність виконаних з них деталей, виробів та машин. За останні 30–40 років істотно поширилось використання в сучасних конструкціях нових матеріалів з особливими властивостями (жаростійких, зносостійких, підвищеної твердості, композиційних тощо), для обробки яких все ширше в промисловості використовуються нові інструментальні матеріали (порошкові інструментальні сталі, безвольфрамкові тверді сплави, кермети, надтверді матеріали, інструменти з покриттями та ін.); прогресивні технології (швидкісне та надшвидкісне різання, різання з вібраціями, сухе різання, комбіновані види обробки); прогресивне

технологічне обладнання (верстати з ЧПК, багатоцільові верстати (обробляючі центри), роторні верстати тощо).

Вироби, що випускаються сьогодні, працюють, як правило, у відносно важких експлуатаційних умовах. Відомі марки сталей і чавунів вже не задовольняють вимоги, що висуваються до різних виробів багатьох галузей техніки. Умови роботи сучасних машин і приладів висувають вимоги міцності і стійкості матеріалів у дуже широкому діапазоні температур.

Необхідність вирішення найважливіших технічних завдань, пов'язаних з економним витрачанням матеріалів для сучасної техніки, зумовлює подальший розвиток науки про матеріали.

Великими досягненнями в теорії і практиці матеріалознавства ознаменувалося ХХ ст.: були створені високоміцні матеріали для деталей та інструментів; розроблені композиційні та керамічні матеріали, триплекс і ситали; відкриті надпровідники, що застосовуються в енергетиці та інших галузях техніки; створені матеріали за допомогою нанотехнологій; широке застосування одержали полімерні матеріали тощо. Удосконалювалися способи зміцнення деталей пластичним деформуванням, термічною та хіміко-термічною обробками. Найбільш поширеними сьогодні для обробки цих матеріалів є тверджі сплави

Внаслідок свого складу (одно-, двох- або трьохкарідні) чи структури за розмірами зерен (нормальної зернистості, дрібно- або особливодрібнозернисті), а також технології виготовлення твердосплавні інструменти дуже часто мають досить різні фізико-хімічні характеристики, що призводить до великого розкиду зносостійкості, яка для інструментів однієї марки, але різних партій виготовлення, може відрізнятися в десятки разів, а в межах однієї партії виготовлення в кілька разів. Крім того, постійно розробляються і все більше застосовуються різні зносостійкі покриття на леза інструментів, що дозволяють значно поліпшувати якість робочих поверхонь, зносостійкість і їх захист від агресивних середовищ.

Все це призводить до неможливості використання існуючих рекомендацій щодо вибору різального інструменту, інструментального матеріалу та режимів різання для виконання необхідного технічного завдання. Тому актуальною є задача створення надійного методу вибору різального інструменту для виконання заданого технічного завдання, який би задовольняв усі вимоги виготовлення продукції (висока продуктивність, висока якість, економічність тощо) на машинобудівному підприємстві.

Відомо, що в наш час при виготовленні машинобудівної продукції постійно зростає питома вага чистових (фінішних) методів оброблення лезовими різальними інструментами у зв'язку з удосконаленням методів отримання заготовок, які за формою і розмірами значно наближаються до форми і розмірів деталей, що з них виготовляються. Це дозволяє впроваджувати у матеріалообробній галузі енергоефективні та енергозберігальні технології з використанням саме лезових інструментів. Крім того, у багатьох випадках можна виконувати фінішні операції з використанням лезових інструментів замість процесів абразивної обробки, таких як шліфування, хонінгування, суперфінішування, які можуть вимагати використання відповідних змащувально-охолоджувальних середовищ та додаткового термічного оброблення, яке супроводжується, як правило, деформаційними процесами в технологічній системі. Сучасне верстатне обладнання та сучасні інструментальні матеріали, зокрема твердосплавні з покриттями, надають можливість виконувати операції лезового оброблення зі значно більшою продуктивністю та без використання змащувально-охолоджувальних середовищ із забезпеченням при цьому необхідної точності та якості оброблених поверхонь. Аналіз показує, що питома вага лезових інструментів, що використовуються для виконання чистових (фінішних) операцій при виготовленні машинобудівної продукції, постійно зростає.

Успішне вирішення завдання підвищення ефективності машинобудівного підприємства в сучасних умовах, поряд з пошуком нових технічних рішень, вимагає створення комплексної системи забезпечення його

якісними інструментами, різальними зокрема, шляхом оптимізації показників їхньої якості як під час проектування й виготовлення інструментів власними силами, так і під час надійного оцінювання рівня працездатності покупних інструментів, питома вага яких, як показує аналіз, постійно зростає у зв'язку із розширенням номенклатури продукції, що виробляється, та зменшенням кількості виробів у партії (машинобудівне виробництво значною мірою стає дрібносерійним і дуже часто навіть одиничним), а також ступеня забезпечення ними найкращих (високопродуктивних) технологічних і експлуатаційних параметрів під час механічної обробки в умовах конкретного виробництва машинобудівної продукції.

Ураховуючи ту обставину, що машинобудівні підприємства нині значно збільшують обсяги покупного лезового різального інструменту (далі ЛРІ), що потребує оцінювання його якості під час придбання, створення нових засобів і методів оцінювання якості різального інструменту та принципів їх нормативного забезпечення є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого дозволяє підвищити продуктивність і надійність оброблювальної системи; значно скоротити терміни технологічної підготовки виробництва та запуску нових виробів; забезпечити конкурентоспроможність продукції машинобудування.

#### **Мета та завдання роботи.**

Метою проекту є розроблення наукових і методологічних основ оцінювання якості (технологічних властивостей) покупних різальних інструментів та прогнозування їх стану безпосередньо у процесі оброблення.

Завдання, на вирішення яких спрямовано проект:

До числа конкретних фундаментальних задач в рамках загальної проблеми, які було вирішено при виконанні проекту, слід віднести наступні.

1. Дослідження факторів, що впливають на якість інструментального забезпечення машинобудівних виробництв в умовах використання покупного металорізального інструменту.

2. Дослідження сучасного стану нормативного забезпечення процесів управління й оцінювання якості інструментальної підготовки виробництва (далі ІПВ) та впровадження сучасних інформаційних технологій при інструментозабезпеченні машинобудівних підприємств.

3. Створення бази техніко-економічних показників якості металорізального інструменту, що купується, з урахуванням невизначеності інформації для конкретних виробничих умов підприємств оборонного комплексу.

4. Дослідження процесу формування контактної зони інструмент – оброблювальна поверхня в умовах адгезії та встановлення залежності якості лез різального інструменту від адгезійної складової сили тертя. Це дозволить запропонувати рекомендації для розробки експрес методу неруйнівного оцінювання якості леза металорізального інструменту, що купується, для вирішення конкретного виробничого завдання.

5. Проведення теоретичних та експериментальних досліджень застосування скінчено-елементного аналізу стосовно прогнозування ресурсу лезового металорізального інструменту для виконання конкретного виробничого завдання з урахуванням техніко-економічних показників відповідного підприємства оборонного комплексу.

6. Проаналізувати сучасні методи прогнозування й розробити рекомендації щодо їх раціонального вибору для управління якістю процесів життєвого циклу ІПВ.

7. Розробити механізми й інструментарій створення моделі управління якістю ІПВ в умовах інформаційних технологій, що базуються на застосуванні методів прогнозування й оптимізації.

8. Розробити принципи побудови нормативного забезпечення якості процесів ІПВ на основі запропонованої прогнозно-оптимізаційної моделі управління якістю.

**Об'єкт дослідження** – сукупність процесів з інструментального забезпечення промислових виробництв подвійного призначення.



**Предмет дослідження** – теорія оцінки зносу, стійкості, ресурсу та продуктивності різальних інструментів з врахуванням невизначеності цих показників в реальних виробничих умовах.

**Методи дослідження.** Методологічною базою роботи є: наукові основи технології машинобудування; теорія різання матеріалів; теорії пружності, пластичності та руйнування; системний підхід до вивчення й опису об'єкта досліджень з урахуванням взаємозв'язку й взаємного впливу явищ, які супроводжують процеси фінішної обробки; а також методи чисельного моделювання, зокрема, метод скінчених елементів.

Теоретичні дослідження базуються на використанні принципів TQM при управлінні якістю інформаційної системи ІПВ (ІС ІПВ). Для вирішення наукових завдань були використані фундаментальні положення основ теорії управління якістю, теорії ухвалення рішень, кваліметрії, технології машинобудування й інструментального виробництва. Для аналізу, збору та обробки інформації використовувалися методи статистичного аналізу й експертних оцінок.

Досягнення поставленої мети забезпечено раціональним поєднанням теоретичних та експериментальних методів дослідження. Адекватність математичних моделей дійсним системам встановлювалась на основі порівняння результатів натурних і обчислювальних експериментів шляхом їх порівняльного аналізу. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджено експериментальними дослідженнями, які реалізувалися за допомогою існуючих методів обробки статистичних даних, кваліметрії та сучасного програмного забезпечення. Експериментальні дослідження виконувались із використанням теорії планування експерименту, сучасної вимірювальної апаратури та розробленого дослідного обладнання.

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

На основі дослідження процесу формування контактної зони «інструмент – оброблювана деталь» в умовах адгезії встановлено залежність якості ЛРІ від адгезійної складової сили тертя. Для цього вперше:

1) створено систему техніко-економічних показників якості металорізального інструменту в умовах його закупівлі з урахуванням невизначеності інформації для конкретних виробничих умов МП;

2) розроблено з використанням теорії трибологічних процесів в умовах різання методологічні основи неруйнівного експрес методу оцінювання якості ЛРІ, що купується, який дозволяє виконувати його вибір на ринку з урахуванням техніко-економічних показників машинобудівного виробництва та виконання вимог конкретного виробничого завдання;

3) удосконалено метод визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при різанні в частині використання в якості індентора циліндра з оброблюваного матеріалу, а в якості контртіла – безпосередньо робочих поверхонь леза інструмента, що дозволило застосовувати його без руйнування різальної частини інструменту, а також визначення фрикційних характеристик взаємодії оброблюваного матеріалу з покупним інструментом, у т. ч. з невідомим покриттям;

4) запропоновано розрахункову модель для визначення геометричних параметрів індентора, що забезпечують визначення адгезійної складової сили тертя, яка може мати місце в процесі різання інструментом при заданих умовах, зокрема з покриттями на робочих поверхнях, виконаних безпосередньо його виробником.

5) на основі узагальнення вітчизняного та зарубіжного досвіду з управління якістю продукції і процесів машинобудівних підприємств та логіко-структурного аналізу отриманої інформації запропоновано систему ТЕП ІПВ, яка дозволяє організувати ефективну систему збору, опрацювання й ефективного використання техніко-економічної інформації у конкретних виробничих умовах;

б) запропоновано модель інформаційної системи управління якістю інструментальної підготовки виробництва машинобудівного підприємства на основі аналізу прийнятих у CALS-технологіях інструментаріїв на кожному

етапі життєвого циклу відповідної продукції, яка дозволяє ідентифікувати інформаційні потоки з використанням інформаційних технологій;

7) запропоновано узагальнений показник інформаційної системи ІПВ, який дозволяє оцінити результативність та ефективність функціонування даної системи у відповідності з виконанням вимог міжнародних стандартів на системи управління (ISO 9001, OHSAS 18001 та інше);

Одержали подальший розвиток:

1) підхід до класифікації витрат на якість ІС ІПВ машинобудівного підприємства, що дозволило з урахуванням запропонованої типової моделі управління якістю ІС ІПВ в умовах функціонування інформаційних технологій виділити статті витрат на якість процесів ІПВ підприємств машинобудівної галузі та розробити їх універсальну класифікацію;

2) підхід до побудови шкал оцінювання ТЕП, що дозволяє шляхом застосування нечітких множин мати можливість узгоджувати неоднорідні ТЕП ІС ІПВ в умовах використання єдиного інформаційного простору;

3) модель вибору раціональних рішень з управління якістю інструментальної підготовки виробництва машинобудівного підприємства, яка дозволяє на основі використання теорії оптимізації на графі прогнозувати витрати на інструментальне забезпечення основного виробництва з урахуванням виконання обмежень за рівнем якості технологічного оснащення та інструменту по розташовуваним матеріальним і тимчасовим ресурсам в умовах впровадження інформаційних технологій (трирівнева система прийняття раціональних рішень).

### **Практична значимість отриманих результатів.**

Розроблено: 1) методику експериментального визначення інтенсивності зношування різального інструменту шляхом проведення аналізу різального леза з використанням електронного мікроскопа, інтерферометра, а також динамометра для визначення зміни сил в процесі обробки; 2) нормативне забезпечення процесу кількісного оцінювання якості лез різальних інструментів у вигляді типового стандарту організації «Експрес метод

оцінювання якості леза металорізального інструменту», що дозволяє, в умовах використання сучасних CALS-технологій поліпшити показники ефективності механічної обробки матеріалів.

Запропонований коефіцієнт сталого розвитку процесів ІС ІПВ, який базується на використанні статистичних даних, дозволяє врахувати фактори, що впливають на ефективне функціонування ІС ІПВ.

Розроблено: «Типова методика прийняття рішень з управління процесами якістю ІС ІПВ багатомноменклатурних машинобудівних підприємств», Стандарт організації України (СОУ) «Експлуатація технологічного оснащення в умовах функціонування інформаційних систем», а також СОУ «Інструментальна підготовка виробництва в інформаційній системі управління», які є універсальними нормативними документами та базуються на використанні принципів TQM з врахуванням основних засад функціонування CALS-технологій.

Підготовлено чотири державні стандарти України та два проекти остаточної редакції національних нормативних документа та направлені їх справи щодо прийняття до ДП «УкрНДНЦ».

Результати дисертаційної роботи використані під час удосконалення процесу управління якістю інструментальної підготовки виробництв ТОВ «СІНКО», ТОВ «Сумська інжинірингова компанія» та ДП «Сумистандартметрологія» (див. додаток А).

Частина наукових розробок упроваджено в навчальний процес СумДУ під час підготовки магістрів за спеціальностями: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» – дисципліни: «Організація та технології випробувань» та «Нормування та контроль безпечності продукції»; 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування» – дисципліни: «Прогресивні технології виготовлення деталей насосного та компресорного обладнання», «Прогресивні технології виготовлення деталей хімічного та нафтопереробного обладнання» та «Наукові основи нетрадиційних методів обробки різанням» (див. додаток А).

За результатами роботи було підготовлено наступні проміжні звіти:

1. Звіт з науково-дослідницької роботи «Фундаментальні аспекти прийняття рішень в системі інструментального забезпечення машинобудівних виробництв» (проміжний) № держреєстрації 0116U002624. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 174 с.

2. Звіт з науково-дослідницької роботи «Фундаментальні аспекти прийняття рішень в системі інструментального забезпечення машинобудівних виробництв» (проміжний) № держреєстрації 0116U002624. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 79 с.

# **1 СУЧАСНИЙ СТАН НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ВИБОРУ ЛЕЗОВОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ**

За останні роки значно збільшились номенклатура та питома вага матеріалів (композиційних, металів та їх сплавів з особливими властивостями – нових нержавіючих, високотвердих та високоміцних, жароміцних тощо) з-поміж оброблюваних різними технологічними способами (литтям, механічною обробкою (тиском та різанням), зварюванням, термічною обробкою тощо). Для значної більшості з них потрібно виконувати процедуру визначення оптимальних умов оброблення, оскільки практично відсутні затверджені (офіційні) нормативи, рекомендації, інструкції тощо, що у свою чергу потребує, як правило, значних людських, матеріальних і часових витрат на проведення відповідних досліджень.

## **1.1 Сучасний стан нормативного забезпечення процесів вибору лезового різального інструменту для чистової обробки**

Виготовлення продукції або надання послуг машинобудівним підприємством (МП) у відповідній галузі народного господарства України потребує використання певного інструменту, оснащення, пристроїв, визначених технологією виготовлення відповідних виробів. Більше того, в умовах швидкозмінних вимог споживачів особливою метою будь-якого МП стає виконання стратегії «бути швидше», що залежить від гнучкості виробництва, тривалості впровадження нової продукції у виробництво тощо. За останні роки значно збільшилась кількість (питома вага) багатноменклатурних виробництв, як правило, з індивідуальним та дрібносерійним типами організації роботи. Основними особливостями цих підприємств в частині організації їх інструментальної підготовки (ІП) є те, що виготовлення оснащення та інструментів «своїми» силами, тобто шляхом їхнього вироблення в інструментальних та інших цехах, навіть у тих випадках, коли вони вже є, стає настільки нерентабельним, що може не тільки значно знижувати

конкурентну спроможність продукції всього виробництва, але й супроводжуватись його банкрутством.

Одним з ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми є організація ПП виробництва зі значним збільшення питомої ваги покупних інструментів та технологічного оснащення, які виготовляються спеціалізованими підприємствами. Тому розробка принципів організації ПП виробництва машинобудівного підприємства в частині закупки різального інструменту та технологічного оснащення є задачею актуальною й своєчасною.

У роботі проведено дослідження вимог нормативних документів (НД) стосовно питань якості металорізального інструменту, а саме розглянуто питання нормування вимог щодо: 1) якості інструментального матеріалу; 2) додержання геометричних параметрів інструменту; 3) перевірки на міцність конструкцій інструменту; 4) нормування та визначення показників надійності інструменту; 5) методів вхідного та вихідного контролю показників якості інструменту та інше.

Для систематизації результатів досліджень запропоновано реєстр нормативних документів, що регламентують якість металорізального інструменту на різних стадіях його життєвого циклу, який представлено в табл. 0.1.

За результатами проведених досліджень встановлено, що на цей час відсутні:

- однозначно визначенні показники, що регламентують якість покупного металорізального інструменту, які б повною мірою відповідали вимогам до нього залежно від специфічних особливостей підприємства (конкретний оброблюваний матеріал, тип і стан обладнання, кваліфікація персоналу тощо);

- нормалізовані (стандартизовані) методи визначення показників якості (мається на увазі металорізального інструменту, а не якості послуг постачальників), які були б признані як з боку покупця, так і постачальника (виробника цього інструменту).

Таблиця 0.1 – Реєстр нормативних документів (фрагмент) [1]

	Назва НД	Вид інструменту 1					Об'єкт нормування <sup>2</sup>	Примітки (Посилання)
		Ф	С	Р	П	р.л.		
1	ГОСТ 19086-80 Пластины сменные твёрдосплавные многогранные. Технические условия				•		1, 2, 3, 4, 5	ГОСТ 3882-74 ГОСТ 4872-75
2	ГОСТ 9305-93 (ИСО 3860-76) Фрезы фасонные полукруглые выпуклые, вогнутые и радиусные. Технические условия	•					2, 3, 5, 6, 7	Необхідно проводити натурні випробовування
3	ГОСТ 17277-71 Сверла спиральные цельные твёрдосплавные. Технические условия		•				2	Необхідно проводити натурні випробовування
4	ГОСТ 18064-72 Резцы расточные цельные твёрдосплавные со стальным хвостовиком. Технические условия			•			6	Необхідно проводити натурні випробовування

**Примітка.** У табл. 1.1:

Ф – фрезы; С – свердла; Р – різці; П – пластины, р.л. – різальне лезо.

1 – матеріал різальної частини;

2 – дефекти різальної частини;

3 – шорсткість;

4 – лінійні та кутові розміри;

5 – показники надійності;

6 – випробовування на працездатність;

7 – твердість.

## 1.2 Обґрунтування застосування оцінювання якості лез різальних інструментів для чистової обробки в сучасних умовах

До чистової обробки зазвичай відносять лезову обробку, що визначає геометричні розміри, форму і якість обробленої поверхні (поверхневого шару). При цьому досягнення бажаного результату залежить від припуску на обробку і його коливань, жорсткості і точності верстата, технологічних пристосувань, марки і геометричних параметрів різального інструменту, режиму різання тощо.

Досить перспективним є фінішне (чистове, тонке) лезове оброблення у верстато-інструментальній промисловості, наприклад точіння зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей типу шпинделів, осей, валів, калібрів-пробок і багатьох інших з підрізанням торців, зняттям фасок тощо. Такі деталі шліфують, як правило, кругами невеликої ширини, а шліфування торців і фасок в цих деталях



не лише ускладнене, але досить часто і неможливе [2]. Тому заміна шліфування точінням, наприклад при розточуванні отворів діаметрами 30–1000 мм у корпусних деталях типу станин, коробок, бабок на розточувальних верстатах, підвищує продуктивність обробки в 1,5–2,5 рази та дозволяє при розточуванні посадочних отворів і отворів під гільзи в корпусних деталях верстатів забезпечувати точність розмірів 6–7-го квалітетів і шорсткість поверхонь  $Ra = 0,32 - 1,25$  мкм [2].

Питома вага чистових (фінішних) методів оброблення лезовими інструментами при виготовленні машинобудівної продукції постійно зростає завдяки і тому, що за останні роки суттєво удосконалилися методи отримання заготовок (заготовки за формою і розмірами значно наблизилися до форми і розмірів деталей, що з них виготовляються), які дозволяють використовувати у матеріалообробній галузі енергоефективні та енергозберігальні технології. Крім того, сучасні верстати та інструментальні матеріали дозволяють виконувати фінішні операції з використанням лезових інструментів, на відміну від абразивних, без використання відносно шкідливих змащувально-охолоджувальних середовищ. Ураховуючи ту обставину, що одними з основних особливостей фінішного оброблення є досить малі глибини різання ( $t = 0,1-0,4$  мм), подачі  $S$  (наприклад, табл. 1.2), і відповідно, малі (при точінні (обточуванні та розточуванні) залежність ще й від значень кутів у плані (в основній площині)  $\phi$  (табл. 1.3)) товщини зрізів  $a$  ( $a = S \sin \phi$ ) та відносно великі швидкості різання  $V$  (у 2–3 більші, ніж при чорновій обробці цих же матеріалів) до лез різальних інструментів, призначених для чистової (фінішної) обробки, висуваються особливі вимоги [3] щодо гостроти різальних кромки (величин радіусів округлення різальних кромки  $\rho$  у нормальній січній площині) та дійсного (у процесі різання) значення коефіцієнту тертя:

– радіус округлення різальної кромки  $\rho$  повинен бути достатньо малим, тобто не виходити за встановлені межі [3];

– коефіцієнт тертя на робочих поверхнях ріжучого леза, особливо його адгезійна складова, яка суттєво залежить від умов контактування леза зі стружкою та поверхнями на заготовці в процесі різання, тобто від умов різання, не повинне

супроводжуватись суттєвим підвищенням температури різання і відповідно суттєвим зростанням швидкості зношування леза.

Таблиця 1.2 – Рекомендовані інструментальні матеріали та режими різання для обробки певних груп оброблюваних матеріалів [4]

Оброблюваний матеріал	Марка інструментального матеріалу	Режим різання	
		V м/хв	S мм/об
Сталі вуглецеві	T30K4	100–180	0,04–0,08
Сталі леговані	T30K4	120–130	0,04–0,08
Сталі високолеговані	T30K4	100–170	0,08–0,12
Чавун сірий	BK3M	100–160	0,04–0,08
Чавун високоміцний	BK3M	120–160	0,04–0,08

Отже, у зв'язку з цими обставинами до лезових інструментів, що призначаються для фінішного оброблення, досить суттєво посилюються вимоги щодо вибору інструменту з погляду фрикційних параметрів його лез та величин радіуса їх округлення. Для чистової обробки застосовують більш зносостійкі, але можна менш міцні інструментальні матеріали. Наприклад, при обробці жароміцних сплавів на нікелевій основі найкращі результати забезпечує твердий сплав BK10-OM [5], що характеризується його більш високою твердістю і сталістю форми (збереженням форми). Як правило, до інструментальних матеріалів, які використовуються для чистового оброблення, висувається вимога збереження протягом певного часу (періоду стійкості) високої гостроти леза (відносно малих  $\rho$ ). Ця вимога є особливо важливою для процесів обробки з малими товщинами зрізів  $a$ , у тому числі і таких процесів, як чистове або тонке точіння. Взагалі, величина мінімального радіуса округлення різальної кромки  $\rho_{min}$  може дорівнювати умовному радіусу зерна в структурі інструментального матеріалу (рис. 1.3 ). Водночас, умов утримання цього зерна в масі різального клину (леза), коли з'являться сили різання при його проникненні в зрізуваний шар. Тому відповідно

до співвідношення цих сил та міцності інструментального матеріалу формується для конкретних умов своє значення  $\rho_{min}$ . За більших значень величини  $\rho$  можуть не тільки істотно зростати сили різання і крутні моменти, що може призводити до поломки інструмента, але й при несприятливому співвідношенні  $a/\rho$ , особливо при  $a \ll \rho$ , утворення стружки стає взагалі неможливим (рис. 1.2).

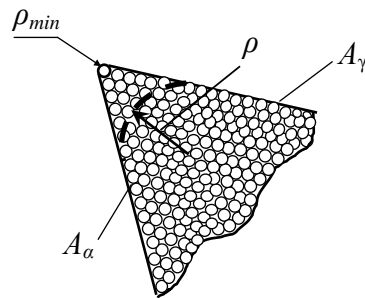


Рисунок 1.1 – Схема формування радіуса округлення різальної кромки  $\rho$  при різанні [3]

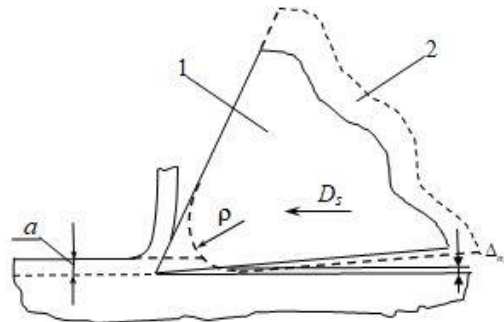


Рисунок 1.2 – Лезо інструмента при  $\rho = 0$  (1) і  $\rho > 0$  (2) [3]

**Примітка.** Залежно від умов обробки для утворення стружки (за даними Є.Н. Маслова, О. О. Топорова та ін.) необхідно мати відношення  $a/\rho > 0,3 - 0,5$ , тобто, чим меншим є  $\rho$ , тим більш гарантованим може бути процес стружкоутворення, тобто можуть бути меншими товщини зрізаного шару і може зростати питома вага видаленого матеріалу. Крім того, збільшення  $\rho$  може призводити до збільшення ділянки контакту задньої поверхні леза із поверхнею різання за рахунок її пружного відновлення, внаслідок чого буде зростати сила тертя на задній поверхні і, відповідно, температура і сили різання, що може супроводжуватись збільшенням ступеня зношування леза інструменту та погіршенням якості обробленої поверхні.

Величина  $\rho$  для більшості інструментальних матеріалів, які є полікристалічними, формується в перші миті початку процесу різання залежно від міцності зв'язків між окремими зернами (конгломератами зерен) і сил, що діють на

лезо в процесі різання при заданих умовах обробки. Таким чином, для заданих умов обробки величина  $r_{\text{тпн}}$  у визначальній мірі залежить від фізико-хіміко-механічних властивостей інструментального матеріалу (його структури, в'язкості, міцності, твердості, тріщиностійкості, величини зерен тощо). У процесі роботи величина  $r$  збільшується, у результаті чого збільшується як зона пластичної деформації (рис. 1.3) і, відповідно, сили і потужність різання, так і зона пружної деформації, а отже, вірогідність пружного відновлення нової поверхні (поверхні різання) на величину  $\Delta_{\text{пр}}$ , що, як правило, приводе до більш інтенсивного зношування задньої поверхні леза інструменту [6]. Крім того, зі збільшенням величини  $r$  може суттєво збільшуватись величина застійної зони, що може супроводжуватись наростоутворенням і, відповідно, погіршенням якості обробленої поверхні [7, 8]. Ураховуючи ту обставин, що товщина зрізу,  $a$ , відповідно, і вплив ступеня гостроти різального леза залежить від подачі і головного кута у плані (див. табл. 1.2 – табл. 1.3), які можуть суттєво впливати на сили та швидкість різання (табл. 1.4 – табл. 1.6), при призначенні режиму різання для чистового (фінішного) оброблення (табл. 1.7) треба обов'язково враховувати гостроту різальних кромek інструментів, що вибираються залежно від властивостей оброблюваного матеріалу.

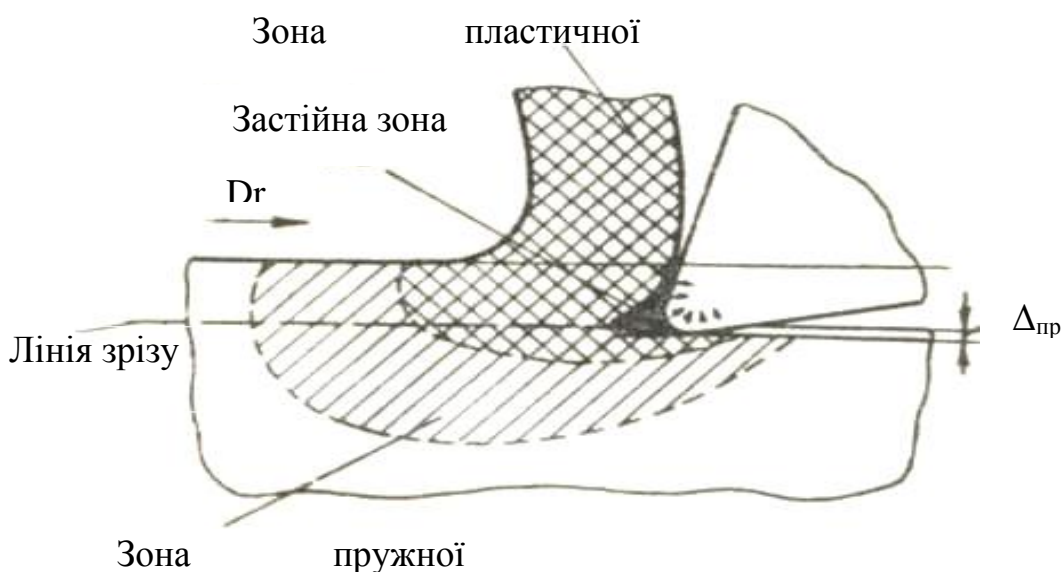


Рисунок 1.3 – Схема стружкоутворення при різанні [6]



Таблиця 1.3 – Вплив зміни головного кута у плані  $\varphi$  на товщину зрізу  $a$ 

Головний кут в $\varphi, ^\circ$  Подача $S, \text{мм/об}$	$a, \text{мм}$			
	0,2	0,12	0,06	0,04
30	0,100	0,060	0,030	0,020
45	0,141	0,085	0,042	0,028
60	0,173	0,104	0,052	0,035
90	0,200	0,120	0,060	0,040

Таблиця 1.4 – Вплив головного кута в плані  $\varphi$  на складові сили різання [9]

Головний кут в плані $\varphi, ^\circ$	Поправочний коефіцієнт		
	$P_z$	$P_y$	$P_x$
30	1,08	1,3	0,78
45	1	1	1
60	0,94	0,77	1,11
90	0,89	0,5	1,17

Таблиця 1.5 – Вплив головного кута в плані  $\varphi$  на швидкість різання  $V, \text{мм/хв}$  [9]

Головний кут в плані $\varphi, ^\circ$	Поправочний коефіцієнт
20	1,4
30	1,2
45	1,0
60	0,9
75	0,8
90	0,7

Таблиця 1.6 – Вплив головного кута в плані  $\phi$  на подачу різання  $S$ , мм/об [9]

Головний кут в плані $\phi$ , °	Поправочний коефіцієнт
30	1,4
45	1,0
60	0,6
90	0,4

Таблиця 1.7 – Рекомендовані режими різання при тонкому і чистовому точінні [9]

Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини	Параметр шорсткості поверхні $R_a$ , мкм	Подача $S$ , мм/об	Швидкість різання $V$ м/хв
Сталь	ТЗ0К4	1,25 – 0,63	0,06 – 0,12	120 – 300
Чавун		2,5 – 1,25		100 – 200
Алюмінієві сплави та бабіт		1,25 – 0,32	0,04 – 0,1	300 – 600
Бронза та латунь			0,04 – 0,08	180 – 500

Тому для чистового (тонкого) точіння рекомендованими значеннями радіусу округлення різального леза можна прийняти  $\rho = 5 - 15$  мкм [5]. Такі параметри різальних лез мають тверді сплави з ультра- та особливо дрібнозернистою структурами. Нині провідні світові виробники різального інструменту рекомендують використати інструмент з цих твердих сплавів не тільки для обробки звичайних конструкційних матеріалів, але й для обробки високоміцних чавунів, загартованих сталей, сплавів на основі нікелю, титану і молібдену, висококремнієвих алюмінієвих сплавів, скло-, вугле- та боропластиків тощо.

У світовій практиці металообробної промисловості все більшого застосування набувають інструментальні матеріали з покриттями, що мають

високу зносостійкість у поєднанні з досить задовільною міцністю при вигині, ударною в'язкістю, витривалістю, тріщиностійкістю. Якщо розглядати покриття як певне проміжне технологічне середовище між інструментальним і оброблюваним матеріалами, то можна сформулювати умови, відповідно з якими за допомогою покриття можна досить ефективно управляти властивостями інструментального матеріалу, характеристиками контактних процесів і стружкоутворенням, зокрема адгезійними явищами та інтенсивністю зношування інструменту. З урахуванням ролі покриття в системі різання як проміжного середовища між інструментальним і оброблюваним матеріалами, можна коротко сформулювати основні вимоги до того чи іншого покриття.

Ураховуючи ту обставину, що, як правило, виробники різального інструменту, пропонуючи працівникам виробництв машинобудівної промисловості відповідні щодо їх запиту різальні інструменти як з покриттями, так і без них, не розголошують ані їх складу, ані їх структури, знання яких дозволяє ефективно управляти вихідними показниками процесів різання, тобто якістю оброблення, суттєво зростає наукова та практична значимість запропонованого неруйнівного способу оцінювання (визначення) якості різального інструменту, який можна придбати на ринку.

### **1.3 Визначення показників якості лезових різальних інструментів**

Основна увага цієї роботи приділяється показникам якості при виборі інструмента для фінішних (чистових) процесів механічного оброблення, тобто саме тих технологічних операцій, на яких формуються основні техніко-економічні показники конкурентоздатної продукції. Відомо [10], що фінішні (чистові) етапи механічної обробки різанням мають специфічні умови – відносно великі швидкості різання, малі глибини та подачі (товщини різання). Такі умови (режими різання) аргументовані необхідністю отримання оброблених поверхонь деталей з параметрами відносно високої точності та малої шорсткості. Очевидно, що при роботі на фінішних операціях інструмент не буде відчувати високих навантажень (малі глибини різання), тобто в цих умовах суттєво зменшується роль вимоги щодо



його міцності. Водночас, у зв'язку з характерними для чистових етапів механічної обробки відносно великими швидкостями різання та малими товщинами зрізів, забезпечення високої працездатності різального інструменту значною мірою залежить від його зносостійкості та гостроти різальної кромки [3, 7, 8]. Тобто для фінішних операцій характерним є суттєво зростаюча, можна стверджувати, вирішальна роль саме тих параметрів, від яких залежать ці два фактори. Відомо, що на зносостійкість різального інструменту головним чином впливає такий його параметр, як коефіцієнт тертя [7], а на радіус округлення різальної кромки – будова (структура) інструментального матеріалу [3] і конструкція та технологія виготовлення різальної частини інструменту. Отже, у роботі прийнято, що саме ці параметри будуть визначальною мірою характеризувати якість різального інструменту.

Якість – це ступінь, з якою сукупність власних характеристик задовольняється вимогами ДСТУ ISO 9000:2007. Якість продукції та послуг організації визначають здатністю задовольняти замовників, а також передбаченим і непередбаченим впливом на відповідні зацікавлені сторони ДСТУ ISO 9000:2015. Наприклад, згідно з ДСТУ ISO 9000:2007, якість різального інструменту характеризується сукупністю властивостей, що зумовлюють придатність інструменту до процесу різання із забезпеченням заданих форм, розмірів і якості поверхонь деталі при певній продуктивності праці, прийнятних витратах трудових, матеріальних і грошових коштів тощо.

Для групи виробів типу лезовий різальний інструмент рекомендується оцінка таких основних показників призначення, як: надійність, ергономічність, естетичність, технологічність, транспортабельність, уніфікація, патентно-правова та екологічна безпека [7, 11].

Показники *призначення* характеризують ступінь відповідності виробу його цільовим призначенням, а також властивості, що визначають основні функції, для виконання яких призначений виріб. Крім того, показники призначення визначають і галузь застосування даного виробу.

Показники *надійності* характеризують властивість виробу виконувати задані функції протягом необхідного періоду часу, зберігаючи при цьому свої експлуатаційні характеристики. Показники надійності мають такі властивості:

- зберігати працездатність упродовж встановленого періоду напрацювання;
- довговічність, тобто властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану;
- ремонтпридатність – властивість об'єкта підтримувати і відновлювати працездатність шляхом технічного обслуговування й ремонту;
- збережуваність – це властивість об'єкта зберігати у вказаних межах значень параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції при зберіганні і після нього, а також при транспортуванні і після нього.

*Ергономічні* показники враховують комплекс гігієнічних, антропологічних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових умовах.

*Естетичні* показники характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання і стабільність товарного вигляду виробу.

Показники *транспортабельності* характеризують здатність продукції зберігати свою придатність в процесі транспортування, а також пристосованість до переміщення, що не супроводжується експлуатацією або використанням.

Показники *уніфікації* характеризують насиченість виробу уніфікованими, запозиченими і покупними складовими частинами, а також рівень уніфікації у порівнянні з іншими виробами.

*Патентно-правові* показники характеризують ступінь відновлення технічних рішень, використовуваних у продукції, їх патентний захист, а також можливість реалізації продукції у країні і за кордоном.

*Екологічні* показники характеризують рівень шкідливого впливу на навколишнє середовище у процесі експлуатації виробу.

Показники *безпеки* характеризують властивості виробу, що гарантують безпеку обслуговуючого персоналу й інших об'єктів при його експлуатації, обслуговуванні, транспортуванні і зберіганні.

Щодо інструменту номенклатура умовно простих властивостей вибирається з урахуванням призначення й умов його використання, а також вимог повноти, операційності, декомпозованості, відновлювальності, мінімальності і вимірюваності.

У низці випадків структуру властивостей доцільно впорядкувати у вигляді дерева. Така впорядкована схема, яка містить тільки найважливіші властивості, наведена у рис. 1.4 .

Треба відмітити, що властивості призначення і надійності тісно пов'язані між собою через продуктивність.

Підвищення продуктивності інструменту (за інших рівних умов) призводить, як правило, до зниження його надійності. Продуктивність процесу різання (продуктивність за основним часом), безвідмовність і довговічність інструменту зумовлені одними й тими ж умовно простими властивостями: міцність і зносостійкість інструменту. У зв'язку з цим можливі два способи аналізу якості конструкції інструменту на стадії проектування: за продуктивністю при постійній надійності і за показниками надійності при одній і тій же продуктивності. За умови дотримання вимоги операційності для аналізу якості інструменту в більшості випадків доцільно використовувати другий спосіб оцінки.

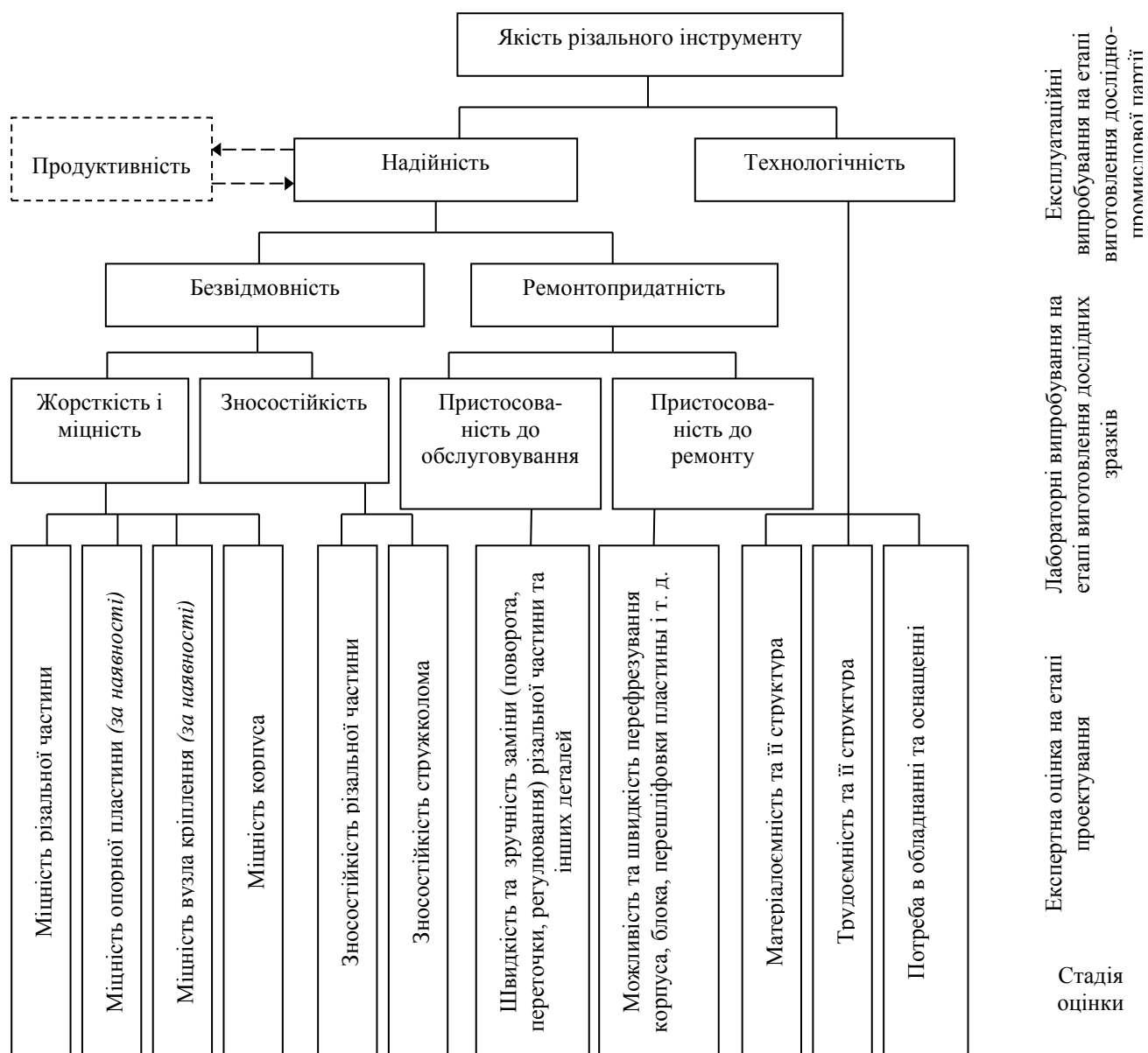


Рисунок 1.4 – Дерево властивостей, які складають якість збірного інструменту [12]

Властивості універсальності і гнучкості впливають на ремонтпридатність, зумовлюючи необхідність і час заміни інструменту або його елементів при зміні відповідних технологічних переходів (операцій) обробки. Ергономічні та естетичні властивості також багато в чому визначають пристосованість інструменту до зміни (заміни) і налагодження. Тому в трансформованій схемі для оцінки якості інструменту на стадії його проектування зазначені властивості враховуються в ремонтпридатності. Властивості уніфікації інструменту значно впливають на

технологічність. Тому в трансформованій схемі властивості уніфікації враховані в трудомісткості.

Деякі властивості, передбачені загальною методикою оцінки якості продукції, з метою зменшення числа врахованих властивостей можна подати як обмежувальні. Наприклад, для різальних інструментів такою обмежувальною властивістю може бути безпека, оскільки саме та конструкція інструменту, наприклад різця, що не забезпечує при утворенні зливної стружки необхідного її дроблення і створює небезпеку для здоров'я верстатника, а на деяких, наприклад, важких верстатах навіть і загрозу його життю, не може бути позитивно оцінена навіть за будь-яких інших переваг.

Серійний випуск інструменту є майже неможливим і без його патентного захисту, який також можна вважати обмежувальною властивістю.

Оскільки в роботі йдеться про чистові етапи обробки, при яких мають місце розглянуті вище специфічні режими різання, можна прийняти, що саме зносостійкість і гострота різальної кромки (малі  $\rho$ ) можуть виступати в процесі оцінювання якості лезового різального інструменту (чому присвячена дисертаційна робота) основними критеріями, що будуть визначальною мірою впливати на подальший вибір покупних лезових різальних інструментів.

#### **1.4 Методи оцінювання якості лез різальних інструментів**

В умовах значного розширення ринку різального інструменту (збільшення номенклатури, поява нових компаній виробників та дилерів тощо) як в Україні, так і в усьому світі постає проблема швидкого визначення якості інструменту та його відповідності визначеним умовам обробки.

Питанням оцінювання якості лез різальних інструментів займалися багато відомих вчених таких, як А. С. Верещака, А. І. Грабченко, В. Л. Доброскок, М. М. Зорев, М. П. Мазур, М. Ф. Полетика, Л. Ш. Шустер та інші. Огляд літератури показав, що існує багато методів оцінювання різних показників якості лез різальних інструментів. Наприклад, у роботі [13] автори запропонували для визначення якості та стійкості робочого шару різального інструменту використовувати такий

показник, як магнітна сприйнятливість, що базується на впливі на пластину зовнішнім джерелом енергії, вимірі результатів цього впливу і визначенні за ним стійкості і якості робочого шару. На різальну пластину діють магнітним полем, вимірюють її магнітну сприйнятливість і контролюють якість і стійкість робочого шару як величину, пов'язану з її питомою магнітною сприйнятливістю. Недоліком цього методу є можливість його використання тільки для надтвердих матеріалів з твердосплавною підкладкою.

У роботі [14] автори запропонували для прогнозування та визначення стійкості різального інструменту використовувати такий показник, як значення амплітуди сигналу акустичної емісії. При прогнозуванні стійкості інструменту виконують різання цим інструментом заготовки з типового для цього інструменту матеріалу на найбільш імовірних в умовах практичної експлуатації режимах обробки. У процесі різання контролюють значення амплітуди сигналу акустичної емісії та проводять її замір у точці другого екстремуму кривої і в певний момент часу. Після другого заміру різання припиняють. Тривалість випробування залежить від необхідної точності прогнозування: чим більша необхідна точність, тим триваліші випробування. Недоліком цього методу є необхідність проведення натурних експериментів з різання, що збільшує витрати на інструментальну підготовку виробництва.

У роботі [15] автори запропонували для визначення якості різального інструменту використовувати такий показник, як коефіцієнт температуропровідності, в якості навантаження пропонується використання рівномірно розподіленого імпульсного нагріву. Спосіб контролю ріжучих властивостей партії твердосплавних інструментів полягає в тому, що впливають на кожен інструмент з партії, реєструють параметр контролю, потім вибірково піддають механічному зносу кілька інструментів з партії, визначають різальні властивості інструментів всієї партії, що відрізняється тим, що з метою підвищення точності і продуктивності контролю вплив на кожен інструмент здійснюють шляхом рівномірно розподіленого імпульсного нагріву, реєструють хронологічну термограму. За параметр контролю обирають коефіцієнт температуропровідності

кожного інструменту, за результатами вибіркового механічного зносу визначають залежність ширини фаски зносу від коефіцієнта температуропровідності, а різальні властивості інструментів усієї партії визначають, використовуючи отриману залежність. Недоліками цього методу є необхідність проведення натурних експериментів та можливість використання цього методу тільки в умовах інструментального виробництва.

З вищесказаного можна зробити висновок, що на цей час існує досить багато методів оцінювання якості лез різальних інструментів, які ґрунтуються на різноманітних теоріях (теорія акустичної емісії, теплового стану інструменту, НДС лева різального інструменту тощо) та передбачають проведення великої кількості експериментів або дозволяють моніторити в реальному часі стан різальної кромки, але всі вони або не можуть бути використані в умовах покупки різального інструменту, або потребують великих витрат часу, енергії чи фінансів, що знижує конкурентоспроможність виробництва.

## **1.5 Трибологія різання та питання якості лез різальних інструментів**

### **1.5.1 Трибологія різання**

Відомо, що процес різання являє собою процес проникнення лева в заготовку з утворенням нової поверхні за допомогою відокремлення від заготовки шару, що зрізується. Лезо взаємодіє із заготовкою по передній поверхні – по поверхні, уздовж якої переміщується стружка, та по заднім поверхнях (головною й допоміжною), які ковзають по поверхнях на заготовці (різання та обробленій). У результаті такої взаємодії на контактних поверхнях виникають сили опору ковзанню, які призводять до виникнення (формування) контактних дотичних напружень  $\tau_N$  (рис. 1.5). Велика кількість експериментальних робіт, проведених J. A. Armarego, T. H. S. Childs, P. L. V. Oxley, Г. С. Андреевим, А. С. Верещакою, Б. Ф. Бобровим, М. М. Зоревим, І. В. Крагельским, Д. В. Криворучко, М. П. Мазуром, М. Ф. Полетикою, Л. Ш. Шустером [8] та іншими дослідниками, дозволяють сьогодні уявити те, що відбувається на контактних поверхнях лева в процесі різання.

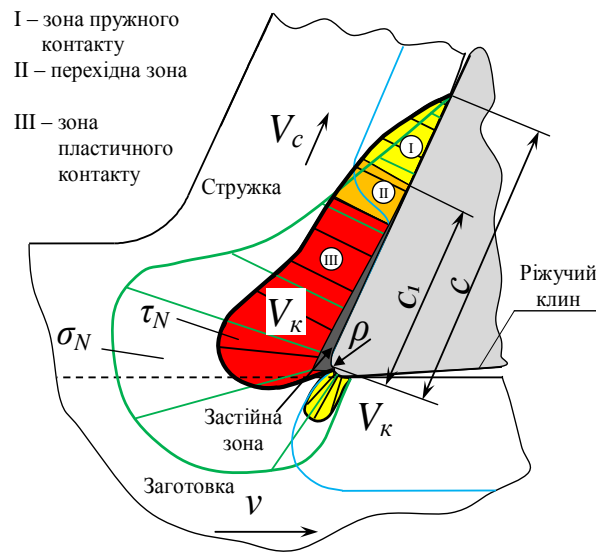


Рисунок 1.5 – Характерний розподіл контактних напружень  $\sigma_N$ ,  $q_F$  та відносної швидкості ковзання  $V_k$  на контактних поверхнях леза [8]

Умови контактної взаємодії інструменту із заготовкою та стружкою неоднозначні. Контактні нормальні напруження  $\sigma_N$ , температура і швидкість ковзання на межі між стружкою та інструментом змінюються в широких діапазонах.

Контактні поверхні позбавлені плівок окислів і мають значну молекулярну й хімічну активність щодо нових (також ювенільно чистих, тобто без окисних плівок) поверхонь, які утворюються в процесі розділення оброблюваного матеріалу на стружку та готову деталь при проникненні леза у заготовку.

Очевидно, що в цих умовах реалізуються різні механізми тертя ковзання стружки і заготовки по робочих поверхнях леза інструменту: механізм внутрішнього тертя, сухого граничного і навіть рідинного (у разі дії температур, близьких до температур плавлення оброблюваного матеріалу) зовнішнього тертя. Останній механізм досить часто виявляється, наприклад, при обробці з високими швидкостями різання, коли можуть виникати надто високі температури різання. Все це проявляється в достатньо великому діапазоні коефіцієнтів тертя, характерних для процесів різання (табл. 1.8).



Таблиця 1.8 – Коефіцієнти тертя для різних видів тертя ковзання

	<b>Вид тертя (зовнішнього)</b>	<b>Коефіцієнт тертя</b>
1	Тертя ювенільних поверхонь	0,8 – 6,0
2	Тертя (сухе) окислених поверхонь	0,4 – 0,8
3	Область прикордонного тертя (рубіжного)	0,2 – 0,6
4	Граничне тертя	0,015 – 0,4
5	Область рубіжного режиму гідродинамічного тертя	0,005 – 0,02
6	Гідродинамічне тертя	0,01 – 0,2

У цей час широко визнаним є уявлення про двоїсту молекулярно-механічну (на заході: адгезійно-деформаційну) природу тертя на контактних поверхнях інструменту в умовах зовнішнього сухого тертя. Найбільш розвиненою і фізично обґрунтованою вважається молекулярно-механічна теорія тертя, розроблена І. В. Крагельським [16] та F. P. Bowden і D. Tabor [17].

Аналіз умов, що практично реалізуються на поверхнях контакту інструменту із заготовкою та стружкою, і механіки процесу тертя дозволяє встановити, що сила опору відносному ковзанню формується в результаті дуже складних контактних процесів. У зв'язку зі зміною контактного тиску, температури і швидкості ковзання на поверхні контакту одночасно може відбуватися взаємодія в різних режимах: зовнішнє, внутрішнє або навіть граничне тертя ковзання. У межах довжини площадки контакту С (рис. 1.5) є ділянки, де реалізуються умови тертя спокою на ділянках пластичного контакту III і частково II (на довжині площадки контакту  $C_1$ ), де розташований загальмований шар (застійна зона), у межах якого стружка рухається не по передній поверхні, а по загальмованому шару, і опір руху стружки визначається опором зсуву в контактному шарі стружки. На цих ділянках зовнішнє тертя ковзання відсутнє, тобто воно замінюється «внутрішнім» тертям між окремими шарами стружки. За такої схеми на площадці контакту, яка має області пружного і пластичного контактів практично хімічно чистих (ювенільних)

поверхонь, в умовах високих температур і тисків різко інтенсифікуються адгезійні та дифузійні процеси.

Оскільки навіть найгладкіші металеві поверхні в субмікроскопічному масштабі є шорсткими і при зіткненні контактують своїми виступаючими ділянками, на яких локальні тиски стають достатніми для забезпечення пластичної деформації. У результаті цієї пластичної деформації оголюються нові поверхні, метали приходять в безпосередній контакт хімічно чистими поверхнями і між ними встановлюються адгезійні зв'язки, тобто за певних умов можуть утворюватися так звані ділянки схоплювання, які при роз'єднанні поверхонь можуть руйнуватися або безпосередньо по новій формації, або з відділенням її з якоїсь із контактуючих поверхонь (стружки, поверхні на заготовці або лезі інструменту). Руйнування містків адгезійних зв'язків може супроводжуватися перенесенням часток матеріалів з однієї поверхні на іншу, величини є, як правило, значно більшими в порівнянні з розмірами атомів. В області контакту леза інструменту із заготовкою в процесі різання завжди утворюються адгезійні зв'язки, які розриваються при розділенні поверхонь. Для виникнення адгезії («містків» міцних металевих зв'язків) необхідно, по-перше, достатнє зближення поверхонь, щоб почали діяти атомні та молекулярні сили, і, по-друге, щоб шляхом пластичної деформації була вилучена поверхнева плівка, яка складається з оксидів і зміцненого (наклепаного) металу, і в результаті цього мав би місце контакт двох чистих металів, тобто без наявності якогось третього (твердого, рідкого або газоподібного) середовища. Відомо, що адгезія є результатом утворення інтерметалічних зв'язків між контактуючими тілами і залежить від їх здатності створювати між собою хімічні сполуки і тверді розчини. Чим більше спорідненість (за хімічним складом) контактуючих матеріалів, тим (за інших рівних умов) імовірність адгезії вища. Очевидно, що зі збільшенням тиску і, у певних межах, температури в зоні контакту (розм'якшення) зростає як імовірність утворення містків схоплювання, так і ступінь їх утримання на контактуючих поверхнях.

### 1.5.2 Дифузійні процеси

Висока температура, явища адгезії, досить великі пластичні деформації й достатньо високі тиски в зоні контакту леза інструменту зі стружкою і поверхнями на заготовці, що, як правило, особливо при високих швидкостях різання, супроводжують процеси механічної обробки, призводять до виникнення такого явища, як дифузійна взаємодія компонентів інструментального й оброблюваного матеріалів. Це явище при певному співвідношенні зазначених факторів може значною мірою впливати на зношування інструменту. Процес дифузії в металах в умовах відносного спокою при кімнатній температурі контактуючих елементів є процесом досить повільним. Водночас при різанні, коли в зоні контакту має місце досить висока температура, швидкість дифузії може збільшитися в кілька сотень, тисяч і навіть мільйонів разів. Цьому суттєво може сприяти і той фактор, що при різанні стружка і нові поверхні на оброблюваній деталі (оброблена і різання) безупинно з великою швидкістю переміщуються щодо поверхонь інструменту (передньої й задньої). При цьому в контакт входять все нові й нові ювенільно (хімічно) чисті ділянки поверхні оброблюваного матеріалу з відносно хімічно чистими (очищеними від окисних плівок і вторинних структур) поверхнями леза інструменту. У результаті швидкість взаємного розчинення матеріалів, що труться, може бути постійно високою, а товщина дифузійних шарів на поверхні різання й у стружці залежно від елемента, що дифундує, в умовах інтенсивного дифузійного розчинення може обчислюватися десятками й сотнями атомних площин і більше.

Можна зробити висновок, що через наявність двох ділянок (ділянка I та частково ділянка II) з різними формами тертя (внутрішнього та зовнішнього), а також адгезійних та дифузійних процесів середній коефіцієнт тертя не можна однозначно ототожнювати ні з коефіцієнтом внутрішнього тертя при пластичному деформуванні матеріалу, ні з коефіцієнтом зовнішнього тертя при ковзанні, характерному ковзанню між контактними поверхнями деталей машин.

## 1.6 Сучасні методи вимірювання радіуса округлення різальної кромки

Різальна кромка являє собою деяку поверхню сполучення передньої і задньої поверхонь. Ця поверхня може бути апроксимована циліндричною поверхнею з деяким радіусом – радіусом округлення різальної кромки  $\rho$ . Стан різальної кромки, зокрема  $\rho$ , істотно впливає на процес стружкоутворення, силу різання та інші показники процесу. Вплив радіуса округлення різальної кромки на процес стружкоутворення розглянуто в роботах М. Е. Abdelmoneim, R. F. Scrutton [18], К. Рубенштейн [11], А. А. Виноградова [19], Д. К. Маргуліса [20], Г. Л. Цвірко [21], Г. Ф. Алейніченко [20], С. Н. Філоненко [22], Е. Н. Маслова [23], Г. І. Грановського [24], В. А. Залози [25], Д. В. Криворучко [26], С. С. Ковальчука [27], Ф. Klocke [28] та інших авторів. У цих роботах показано, що ефективність стружкоутворення значною мірою визначається саме співвідношенням  $a / \rho$ . Існує критичне значення  $a / \rho$ , менше якого стружкоутворення перестає бути стійким, причому величина критичного значення  $a / \rho$  тим більше, чим менше пластичність оброблюваного матеріалу і більше розмір його зерна.

Sathyan Subbiah [29] показала, що при збільшенні радіуса округлення різальної кромки збільшується сила різання. Н. А. Kishawy, I. M. Deiab [30] довели, що при збільшенні радіуса округлення різальної кромки збільшується температура різання, пластичні деформації в зоні різання, зменшується кут зсуву, збільшується сила різання. J. Rech, Y. C. Yen, M. J. Schaff, H. Hamdi, T. Altan, K. D. Bouzakis [31], V. P. Astakhov, J. P. Davim [32] показали, що радіус округлення різальної кромки впливає також і на ресурс інструменту, в певних випадках зменшуючи його.

У загальному випадку задача вимірювання радіуса округлення різальної кромки зводиться до вимірювання радіуса кривизни поверхні сполучення передньої та задньої поверхонь леза. Величина вимірюваного параметру у більшості випадків становить від 2 – 3 до 100 – 200 мкм. У зв'язку з цим характерною особливістю всіх відомих методів є використання мікроскопа, як правило, інструментального або металографічного.

### 1.6.1 Спосіб світлового перетину

Цей спосіб, що був реалізований в різних методиках [33] для вимірювання радіуса округлення, передбачає використання оптичного мікроскопа, рисувального апарату та екрану. Різальний інструмент, що вимірюється, розташовують на предметному столі так, щоб бісектриса кута загострення леза була розташована перпендикулярно столу. Екран розміщується на відстані 300 – 350 мм від окуляра так, щоб збільшення в усіх точках проєційованого зображення було однаковим. Визначення радіусу округлення проводять за допомогою раніше відзнятих шаблонів за відомими величинами радіусів.

Недоліком цього способу є те, що вимірювання виконуються при граничному збільшенні мікроскопа, що призводить до спотворення результату. Більше того, глибина різкості мікроскопів значно менша за вимірюваний радіус, що призводить до отримання нечіткого зображення та зниженню точності вимірювання. Також з усіх можливих значень радіуса на даній ділянці різальної кромки виконується вимірювання тільки його максимального значення.

### 1.6.2 Спосіб вимірювання методом відбитку

У цьому способі досліджуване сполучення вдавлюється в кромку пластини з м'якого металу (наприклад, алюмінію) і вимірювання виконується з цього відбитку металографічним мікроскопом у відповідному перерізі зазначеної пластини. Недоліком такого способу є те, що вимірювання можуть бути виконані тільки в конкретному перерізі зразка, не можна виявити локальну зміну радіуса сполучення. У результаті отримується значення, що значною мірою залежить від таких зовнішніх факторів, як властивості пластини, зусилля вдавнення, орієнтація зразка при вимірюванні тощо [34].

Одним з різновидів розглянутого способу є підхід, запропонований Nakayama Kazuo, Arai Minoru, Wang Xiaodu [35]. Цей спосіб передбачає притиск різальної кромки під прямим кутом до тонкого дроту, виготовленого з м'якого матеріалу, і розгляд отриманого на дроті відбитка. Характерною особливістю способу є можливість оцінювання гостроти кромки за мінімальною силою, при якій утворюється видимий відбиток, або за контуром відбитка, що відтворює

поперечний переріз кромки. Вказується, що запропонований спосіб дозволяє оцінити кромки з шириною фаски близько 0,1 мкм. До його недоліків можна віднести залежність величини радіуса сліду на дроті від діаметра дроту і його шорсткості.

#### 1.6.3 Спосіб вимірювання методом обмацування на профілографі-профілометрі

У цьому способі радіус сполучення вимірюється скануванням досліджуваної ділянки щупом з малим радіусом округлення і реєстрацією профілограми, за якою і визначається радіус округлення. До недоліків способу належить те, що вимірювання проводяться за допомогою щупа, який має свій малий кінцевий радіус заокруглення, який також повинен бути вимірний. Однак часто, зважаючи на його малість, його приймають рівним нулю, що може вносити істотну похибку в результати вимірювань [36].

#### 1.6.4 Спосіб оптичного вимірювання радіусів

У цьому способі досліджуване сполучення сканується лазерним променем в перетині, перпендикулярному лінії перетину площин. При цьому відбитий від поверхні промінь фокусується оптичною системою і реєструється світлочутливою матрицею. Після цього отриманий сигнал обробляється ЕОМ, яка за трьома точками на отриманій дузі розраховує радіус сполучення [37].

Недоліком названого способу є те, що для вимірювання малих радіусів сполучення необхідне застосування оптичних систем зі збільшенням більш  $\times 100$ , світлочувливих матриць високої роздільної здатності, а також потрібно добиватися значно меншої товщини лазерного пучка в порівнянні з очікуваною величиною вимірюваного радіуса сполучення.

#### 1.6.5 Спосіб вимірювання радіуса різальної кромки за шириною смуги, що світиться

Відповідно до цього способу різальну кромку спостерігають за допомогою оптичного інструментального мікроскопа у вигляді світної смужки, ширина якої залежить від радіуса округлення. Одним з недоліків цього способу потрібно назвати його низьку точність, зумовлену можливостями застосовуваного

мікроскопа і неможливість вимірювання радіусів округлення різальної кромки менше 10 мкм.

### **1.7 Висновок**

1. Результати проведеного дослідження діяльності машинобудівних підприємств вказують на те, що однією з тенденцій розвитку сучасного машинобудівного підприємства є так званий аутсорсінг бізнес-процесів, а саме, передача функцій інструментальної підготовки виробництва, у частині проектування та виробництва інструменту та оснащення шляхом купівлі, наприклад, металорізального інструменту, стороннім організаціям, уже займає до 85 % обсягу інструментів та оснащення, що використовується в машинобудівній галузі.

2. Показано, що на вітчизняних підприємствах майже не проводиться оцінювання якості металорізального інструменту, що купується в постачальників. Це пов'язано насамперед з:

- відсутністю нормалізованих (стандартизованих) методик визначення показників їх якості (мається на увазі металорізального інструменту, а не якості послуг постачальників), які були б признані як з боку покупця, так і постачальника (виробника цього інструменту);

- важкістю однозначного визначення показників, що регламентують якість металорізального покупного інструменту, які б повною мірою відповідали вимогам до нього залежно від специфічних особливостей підприємства (конкретний оброблюваний матеріал, тип і стан обладнання, кваліфікація персоналу тощо).

3. Статистичні дані щодо виготовлення та розповсюдження металорізальних інструментів вказують на відносно велику кількість організацій, що виготовлюють та розповсюджують відносно велику номенклатуру інструментів та оснащення і надають різноманітний спектр послуг стосовно інструментальної підготовки виробництва. Водночас аналіз показує, що серед лезового інструменту більше 50 % ринку металорізального інструменту, що купують машинобудівні підприємства, займають тільки різці, фрези та свердла.

4. Показано, що створення нових та вдосконалення наявних засобів і методів оцінювання якості різального інструменту та їх нормативного забезпечення є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого дозволить підвищити продуктивність і надійність технологічної системи, значно скоротити терміни технологічної підготовки виробництва та запуску нових виробів, забезпечити конкурентоспроможність продукції вітчизняного машинобудування.

5. В процесі різання контактна взаємодія не може бути повною мірою охарактеризована лише середнім коефіцієнтом тертя, оскільки мають місце режими як зовнішнього, так і внутрішнього тертя. Опір внутрішньому тертю повністю визначається механічними властивостями оброблюваного матеріалу при локальному напружено-деформованому і тепловому стані в поверхні стружки. Опір зовнішньому тертю складається з деформаційної та молекулярної складової. Деформаційна складова може бути обчислена, тоді як параметри  $\tau_0$  і  $\beta$  молекулярної складової повинні бути визначені експериментально для даної пари «оброблюваний – інструментальний» матеріали в широкому діапазоні контактних температур при їх взаємодії з ювенільними поверхнями. Установлено, що не один з відомих на сьогодні способів вимірювання параметрів тертя не забезпечує виконання цих умов.



## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОЦЕСІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА**

### **2.1 Управління якістю інструментальної підготовки виробництва сучасного машинобудівного підприємства**

Інструментальна підготовка виробництва (далі ІПВ) є ваговою складовою виробничого процесу машинобудівного підприємства. ІПВ створюється з метою управління постачанням необхідного інструмента і оснащення, а також їх зберіганням та експлуатацією. Значення інструментального господарства підприємства визначається тим, що його організація істотно впливає на ефективність основного виробництва. Витрати на технологічне оснащення в масовому виробництві сягають 25–30 % вартості устаткування, у великосерійному – 10–15 %, у дрібносерійному й одиничному – близько 5 %. Частка витрат на оснащення в собівартості продукції становить відповідно: 1, 4–5, 4–6, 6–8 і 8–15 % та більше [3].

Без інструментального забезпечення не можуть функціонувати такі процеси виробництва, як проектування та розроблення продукції, матеріальне забезпечення, виробництво продукції, а також її випробування. Метою створення ІПВ є своєчасне задоволення потреб основного виробництва інструментом і оснащенням з найменшими витратами [4].

В умовах забезпечення конкурентоспроможності сучасні підприємства пред'являють досить жорсткі вимоги до ІПВ. Для виконання цих вимог інструментальне господарство повинно забезпечувати заданий рівень надійності інструменту і оснащення та при цьому формувати свою діяльність з найменшими витратами при постійному прагненні підвищення якості. Слід також враховувати факт, що сучасне інструментальне господарство часто функціонує в умовах постійної зміни номенклатури продукції основного виробництва, що призводить до постійної зміни номенклатури інструменту і оснащення. Також необхідно відмітити, що номенклатура інструменту і оснащення може на порядок перевищувати номенклатуру основних виробів.

Задачі функціонування ІПВ включають [4, 5]:

- визначення потреб основного виробництва в номенклатурі та кількості інструменту й оснащення, а також потреби в інструментальних матеріалах;
- планування забезпечення (придбання чи виготовлення) інструменту й оснащення, в тому числі планування діяльності інструментального цеху з їх виготовлення, ремонту чи відновлення;
- забезпечення необхідних умов організації підготовки технологічного оснащення;
- забезпечення належного зберігання технологічного оснащення, механізація та автоматизація його складання;
- вдосконалення системи обліку наявності та обігу інструменту й оснащення;
- забезпечення нормативного запасу інструменту та оснащення;
- вживання заходів, які направлені на підвищення ефективності та результативності ІПВ, скорочення витрат на інструмент та оснащення;
- технічний нагляд за експлуатацією інструменту й оснащення;
- утилізація відходів ІПВ.

На цей час на машинобудівних підприємствах існують три типи систем організації інструментального господарства.

Централізована система передбачає, що підготовка, придбання, облік, зберігання та ряд інших інструментальних функцій здійснюються одним інструментальним цехом, який розташований в зоні основного виробництва підприємства.

При децентралізованій системі ці функції здійснюють самостійні інструментальні ділянки цехів, які не пов'язані один з одним і знаходяться в безпосередньому підпорядкуванні адміністрації цехів основного виробництва.

Змішана система передбачає централізоване забезпечення основних цехів і децентралізоване для решти цехів і дільниць виробництва.

У роботах О. В. Івченко, Ю. К. Перського [38], [39] зазначено, що структура системи інструментальної підготовки виробництва залежить від ряду

факторів таких, як тип виробництва, рівень обладнання, складність виробів, що виготовляються. До основних підрозділів ІПВ відносяться [40], [41]: служба управління інструментальним господарством (відділ інструментального виробництва, бюро інструментального господарства); інструментальний цех/дільниця; склади інструмента і оснащення (центральный інструментальний склад, центральный абразивний склад); інструментальне господарство виробничих цехів (інструментально-роздавальна комора, абразивно-роздавальна комора, комора пристроїв, дільниця централізованого заточування інструмента, ремонтно-інструментальна дільниця та інше); служба універсально-збірною переналагоджуваного оснащення. В цілому типову структурну схему управління системою ІПВ можна представити у вигляді рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Типова структурна схема управління системою ІПВ

Слід відмітити, що при одиничному типі виробництва машинобудівні підприємства не мають власного інструментального виробництва. На сьогодні існує велика кількість іноземних та вітчизняних спеціалізованих підприємств, які займаються постачанням інструменту й оснащення на машинобудівні підприємства.

В [42] відзначено п'ять варіантів взаємовідносин спеціалізованих підприємств-постачальників інструменту та оснащення з машинобудівними підприємствами України. Перший варіант організації інструментозабезпечення включає в себе тільки постачання інструменту по специфікації, яка видається споживачем. У другому варіанті передбачається також відповідальність за правильний підбір інструмента. У третьому варіанті постачальник послуги інструментозабезпечення доставляє інструмент до верстата, здійснює технічну підтримку процесу виробництва, керує складом і відповідає за постійне поліпшення технічної та економічної складової. Четвертий варіант інструментозабезпечення основного виробництва сторонніми організаціями передбачає утримання у споживача бригади своїх співробітників для оперативного вирішення проблем, що виникають на робочому місці. П'ятий варіант – в додаткові послуги постачальника включається відновлення ріжучих властивостей інструменту, його налаштування поза верстатом, оптимізацію процесу обробки.

Проте більшість спеціалізованих підприємств вирішують тільки питання постачання уніфікованого інструменту та оснащення на основне виробництво. Питання ж проектування, розроблення та виготовлення спеціального інструменту й оснащення вирішується власноруч машинобудівними підприємствами.

Особливістю процесів ІПВ є неоднозначність їх протікання, а також багатозначність їх можливих станів та варіантів прийняття рішень. В момент прийняття рішень стосовно ІПВ дуже важливим є отримання найбільш точних та повних даних (стан обладнання, час постачання). Отримання недостовірних, неповних або неточних даних може викликати ризик невиконання мети ІПВ, а саме погіршення якості, або невиконання строків поставки їх на робочі місця, або збільшення витрат на ІПВ. Звісно це може спричинити погіршення продукції основного виробництва чи зменшити прибуток підприємства та інше. Все це зазвичай призводить до створення на підприємстві страхових запасів інструменту. Результатом управління ризиком дефіциту інструменту виникає

потреба в прогнозуванні. Сутність методів прогнозування [43] полягає в періодичній розробці сценаріїв протікання процесів ІПВ, в визначенні якості процесів ІПВ, їх станів та знаходженні «вузьких місць» в ІПВ. Вагомим фактором у вдосконаленні підходів щодо прогнозування є створення системи інформаційної підтримки ІПВ. Для отримання та аналізу даних при прогнозуванні необхідні значні витрати часу та матеріальних ресурсів. Тому доцільно виконувати цю функцію в інформаційній системі управління якістю процесів ІПВ (ІС ІПВ).

## **2.2 Сучасний стан управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва в умовах функціонування інформаційних технологій**

У результаті аналізу нормативного забезпечення виробничих процесів машинобудівних підприємств було встановлено, що діяльність щодо ІПВ регламентується нормативними документами, вимоги яких розроблені відповідно до положень і принципів забезпечення якості, регламентованими ще в період існування СРСР, наприклад, методичними вказівками [44], вимоги яких розроблені відповідно до положень і принципів забезпечення якості, регламентованими ще в період існування СРСР та орієнтовані на ведення планового народного господарства. В той же час розроблене в роботі [38] нормативне забезпечення враховує вимоги TQM, але не дозволяє використовувати весь потенціал системи ІПВ для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного машинобудівного комплексу в сучасних умовах ведення бізнесу шляхом використання інформаційних технологій.

У ході аналізу світового досвіду в області вдосконалювання нормативного забезпечення управління виробництвом встановлено, що нормативне забезпечення управління системою ІПВ повинно задовольняти вимогам як до управління організаційною структурою, так і до механізмів управління ресурсами, оптимізації процесів даної системи на підприємстві, а також можливості адаптації даних процесів до умов зовнішнього середовища. Це, у

свою чергу, для прийняття управлінських рішень вимагає використання все більшого обсягу оперативної інформації, наслідком чого є формування як нових вимог до створення нормативного забезпечення процесів системи ППВ підприємства, так і зміни принципів здійснення ще діючого в цей час відповідно до [44] застарілого документообігу.

Аналіз сучасних тенденцій в управлінні виробництвом машинобудівної галузі показав, що окрім впровадження інформаційних систем (ІС), одним з основних напрямків у підвищенні ефективності діяльності підприємств є розробка й впровадження систем якості, відповідних до принципів TQM з наступною сертифікацією на відповідність вимогам міжнародних стандартів, наприклад, ДСТУ ISO 9001:2009. В той же час широке впровадження програмних засобів з автоматизації різних робіт як управлінського, так і виробничого характеру обумовлюється використанням інформаційних систем управління виробництвом. Система ППВ, що функціонує на сучасному машинобудівному підприємстві, повинна розглядатися тільки в рамках єдиної інформаційної системи управління підприємством. З точки зору формування інформаційної системи ППВ (ІС ППВ) існуючі на даний момент інтегровані системи питань інструментозабезпечення відводять другорядну роль і не забезпечують інформаційної взаємодії між різними рівнями управління. А інструмент в таких системах виступає в якості ресурсу і не аналізується як керований учасник технологічного процесу.

Існують окремі системи інструментозабезпечення, такі як AutoTAS, Leitz Tool Information Management (TIM), eTMS Tadcon, GTMS, які застосовують підхід до управління Tool Management і відповідають сучасним вимогам ефективного управління. Проте в рамках даного підходу інструмент, а також його інформаційний супровід не розглядається з урахуванням CALS-технології, тобто використовувані математичні моделі управління інструментозабезпеченням, розроблені в рамках Tool Management, не охоплюють усі етапи життєвого циклу інструменту і можуть бути використані в обмежених умовах [45].

Система управління ПІВ, що розроблена в рамках Tool Management, може бути використана для отримання збірок інструментів і карти інструменту, що використовується в розробленні робочих циклів, САМ програмуванні та підготовку інструментів в їх профілях, забезпечення правильної раціоналізації і стандартизації інструменту (рис. 2.2).

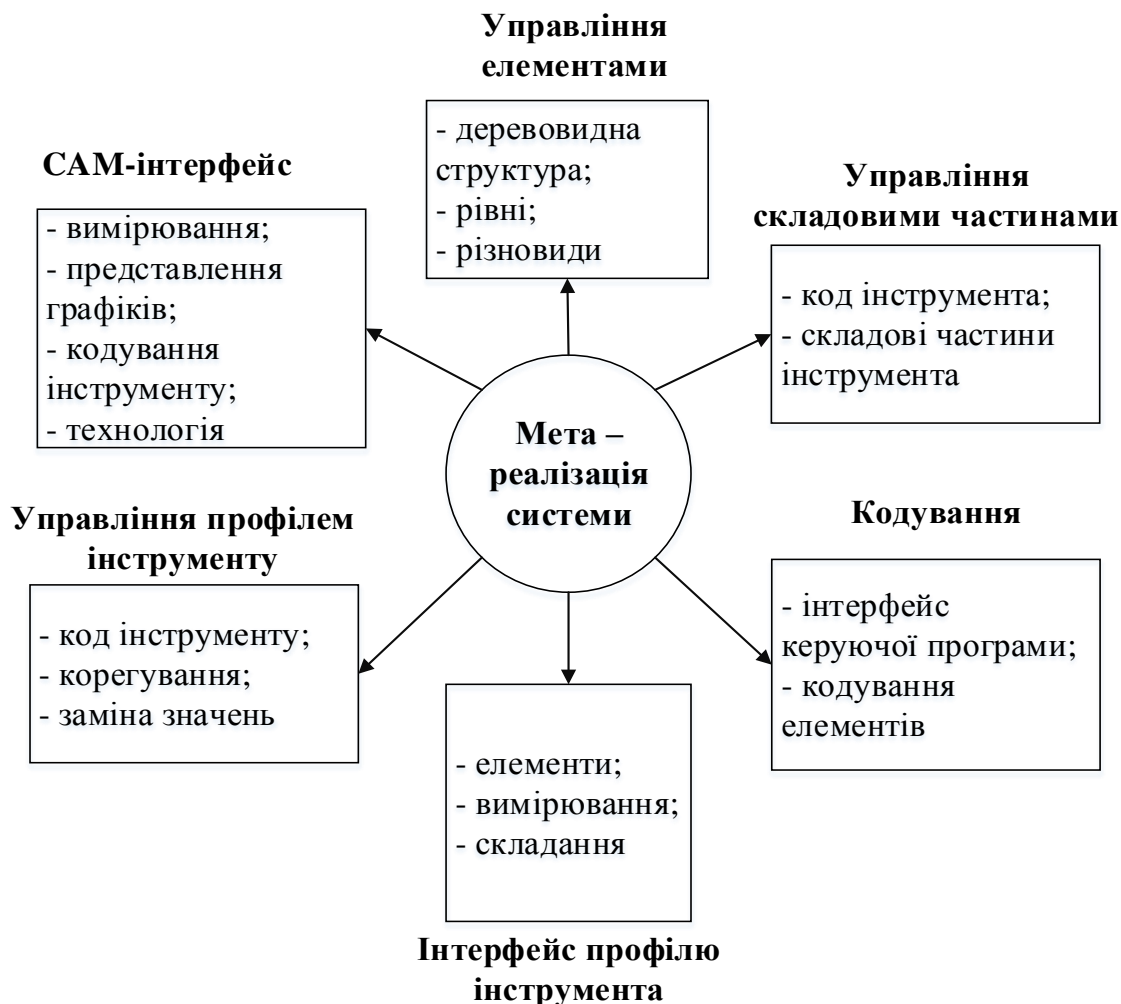


Рисунок 2.2 – Система управління інструментом, розроблена в рамках Tool Management

Функції, що надаються системою, яка функціонує в рамках Tool Management включають:

– організація і створення файлів для представлення елементів, простежування, області застосування;

- автоматичну генерацію кодів елементів, які повинні бути пов'язані з аналоговими функціями програмного забезпечення для управління підприємством;
- ручне або автоматичне створення складальних вузлів, а також автоматична генерація коду складання та геометричних параметрів складання;
- створення шляхів із запчастинами і комплектуючими;
- ідентифікація експлуатації та утилізації;
- графічне представлення окремих елементів і елементів завершеного складеного інструменту;
- генерація карт інструменту та моніторингу елементів, які використовуються;
- інтеграція із системою САМ, що дозволяє передачу складальних креслень і зв'язок між двома середовищами;
- інтеграція з номерами інструменту з програмного забезпечення.

Будь-яка продукція, що випускається підприємством, проходить через етапи, які мають певну послідовність і охоплюють сферу виробництва й послуг. Дані етапи взаємозалежні й становлять життєвий цикл продукції. Етапи ЖЦ утворюють «петлю якості» — концептуальну модель взаємозалежних видів діяльності, що впливають на їхню якість на різних стадіях — від визначення потреб до оцінки їх задоволення. У той же час ЖЦ продукції інструментального господарства промислового підприємства (технологічне оснащення, вимірювальні та різальні інструменти тощо) характеризується деякими особливостями, пов'язаними з використанням даної продукції, у першу чергу, для цілей власного основного виробництва. Крім того на більшості вітчизняних машинобудівних підприємств, як правило, організовується власне проектування та виготовлення спеціалізованих видів технологічної оснастки та інструментів як у спеціальних бюро, відділах, ділянках основних цехів, так і окремих цехах з достатньо великою номенклатурою виробів, які у більшості своїй є складними. Інакше кажучи, система ППВ являє собою «завод у заводі». Власне в цьому і є



специфіка організації нормативного забезпечення ЖЦ інструментів, оснащення та інших виробів інструментального виробництва (ІВ).

Аналіз показує, що застосування Tool Management практично на будь-якому підприємстві при ІПВ по своїй суті зводиться до управління профілями (картками) інструмента та оснащення і не враховує цю специфіку ІПВ.

Окрім Tool Management інструментальне виробництво в наш час є одним із основних споживачів (до 30 %) ринку CAD/CAM-систем і послуг [46]. Тому проблема комп'ютеризації ІПВ, у свою чергу, не повинна обмежуватися питаннями, так званого, наскрізного комп'ютерного проектування й виробництва тільки лише нових виробів. При вирішенні даної проблеми, на наш погляд, повинні враховуватися сучасні світові тенденції в управлінні якістю, плануванні ресурсів і потужностей, а також у підвищенні ефективності й результативності всіх процесів, що забезпечують життєдіяльність підприємства.

Із практики багатьох сучасних підприємств, у т. ч. і закордонних компаній, можна зробити висновок про те, що система менеджменту підприємства на даний час характеризується ступенем використання інформаційних технологій, основу яких становлять модулі, які відповідають вимогам стандартів CALS-технологій [47]. Не дивлячись на те, що CALS-технології впроваджуються вже більше 30 років, існує велика кількість праць, присвячених їх розробці, впровадженню та підтримці [47]. У наш час для управління матеріальними ресурсами на переважній більшості підприємств вже досить ефективно застосовуються модулі ERP-систем і інший інструментарій CALS-технологій (PDM, CRSP, SRM, OLAP, DM та інше) [38].

Вивченням сучасних інформаційних технологій займаються ряд вчених: Г.Г. Верніков, А.І. Левін та Є.В. Судов та ін. Інформаційному забезпеченню на промислових підприємствах присвячені роботи С.А. Волчкова, М.П. Куцевича, В.А. Окулеського та О.В. Синенко, О.Н. Чорної.

CALS-технології представляють собою методологію створення єдиного інформаційного простору на промисловому підприємстві, що забезпечує взаємодію всіх промислових автоматизованих систем (АС). У цьому змісті

предметом CALS є методи й засоби як взаємодії різних АС і їх підсистем, так і самі АС із урахуванням усіх видів їх забезпечення [48].

Для вирішення завдання взаємодії процесів виробництва та інформаційних систем на сьогодні розробляється програмне забезпечення інтегрованих інформаційних систем підприємства на основі концепції систем PLM (Product Lifecycle Management) [49]. Вивчення можливостей вітчизняних і закордонних PLM-систем показало, що в них реалізована інтеграція в єдиний інформаційний простір машинобудівного підприємства CAD/CAM/CAE/PDM-систем, тобто процесів конструкторської й технологічної підготовки виробництва. Для здійснення взаємодії систем, що реалізують процеси основних стадій життєвого циклу (ЖЦ) виробів, що визначають ефективність роботи підприємства, у цей час використовуються методи інтеграції на основі даних бази технічної документації, програмного обміну через структуровані файли даних або API-інтерфейс (Application Programming Interface).

Так К.С. Кульга в своїй роботі [49] запропонував інтегровану інформаційну систему управління (ІСУ) (рис. 2.3), яка забезпечує комплексну автоматизацію функцій CAD/CAM/CAE/PDM/FRP/MRP/MES-систем та програмну інтеграцію ІСУ та ERP-систем в єдиний інформаційний простір машинобудівного підприємства.

Вікіпедія трактує термін CALS як: «...Continuous Acquisition and Life cycle Support – концепція і ідеологія інформаційної підтримки ЖЦ продукції на всіх його стадіях, заснована на використанні єдиного інформаційного простору (інтегрованого інформаційного середовища (ІС)), що забезпечує способи взаємодії всіх учасників цього циклу: замовників продукції (включаючи державні установи і відомства), виробників і постачальників продукції, експлуатаційного і ремонтного персоналу, реалізована у формі міжнародних стандартів, що регламентують правила вказаної взаємодії переважно за допомогою електронного обміну даними» [50].

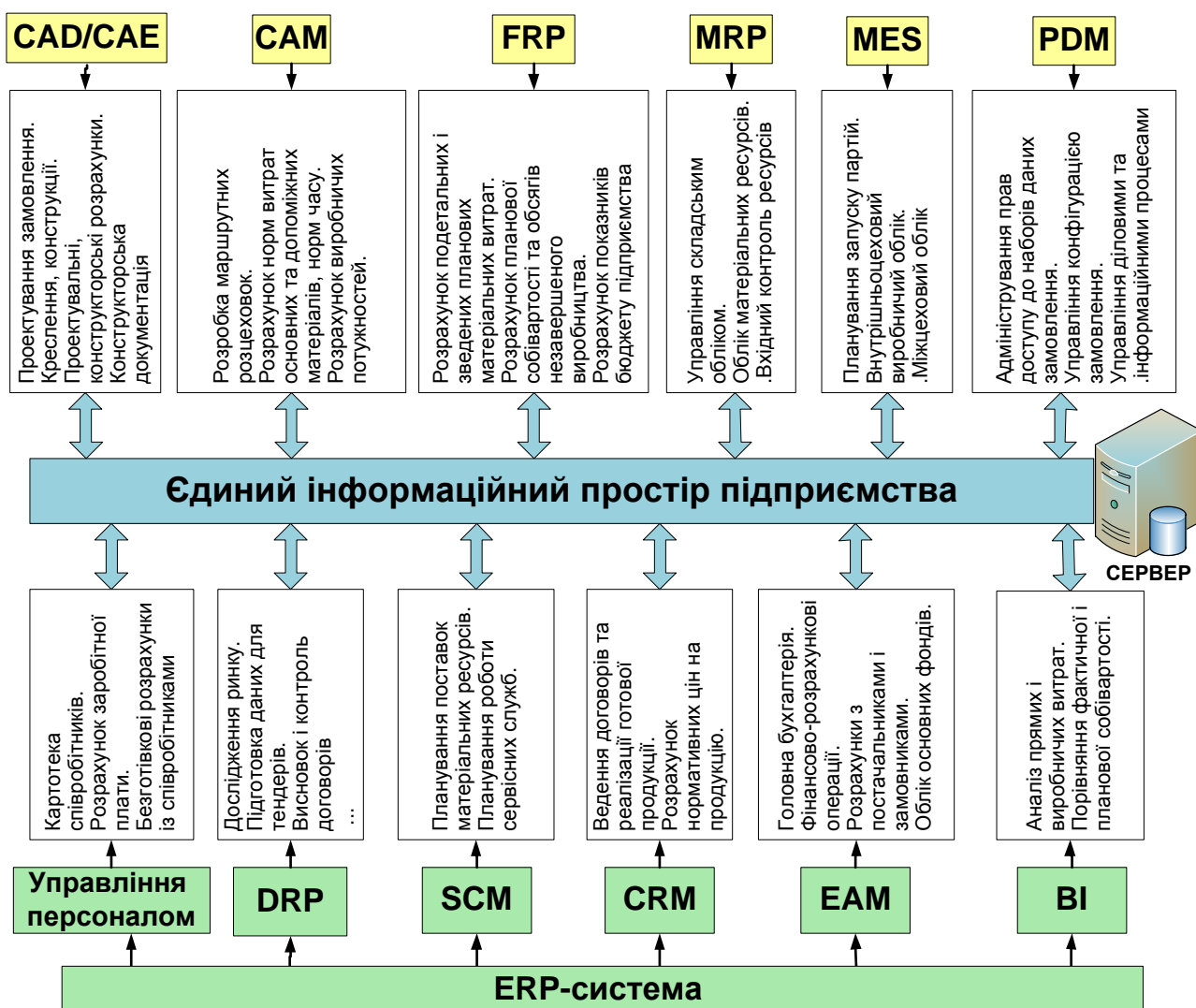


Рисунок 2.3 – Структура ІСУ машинобудівного підприємства.

Стратегія CALS базується на основних принципах: реінжиніринг бізнес-процесів, застосування сучасних інформаційних технологій, застосування методів «паралельної» розробки, стандартизацію в галузі спільного використання даних і електронного обміну даними [51].

Інформаційній підтримці життєвого циклу машинобудівної продукції присвячені роботи А.М. Ковшова, С.В. Назарова та ін.

Життєвий цикл (ЖЦ) виробів включає ряд етапів, починаючи від зародження ідеї нового продукту до його утилізації по закінченню строку використання. До них відносяться етапи маркетингових досліджень, проектування, технологічної підготовки виробництва (ТПВ), власне

виробництва, післяпродажного обслуговування й експлуатації продукції, утилізації.

На всіх етапах учасники ЖЦ прагнуть досягти поставлених цілей з максимальною ефективністю. На етапах проектування, ТПВ і виробництва потрібно забезпечити виконання вимог, пропонованих до продукту, який виробляється, при заданому ступені надійності виробу й мінімізації матеріальних і тимчасових витрат, що необхідно для досягнення успіху в конкурентній боротьбі в умовах ринкової економіки. Поняття ефективності охоплює не тільки зниження собівартості продукції та скорочення строків проектування і виробництва, але й забезпечення її якості, конкурентоспроможності та зручності освоєння й зниження витрат на майбутню експлуатацію виробів.

Досягнення поставлених цілей на сучасних підприємствах, виявляється неможливим без широкого використання автоматизованих систем (АС), заснованих на використанні комп'ютерної техніки, інших сучасних засобів та відповідного програмного забезпечення, призначених для створення, переробки й використання всієї необхідної інформації про вимоги і поточний стан як виробів, так і всіх процесів, що супроводжують виконання заходів, і направлених на забезпечення вимог споживачів продукції. Різноманітність застосовуваних при цьому АС обумовлюється специфікою завдань, що розв'язуються на різних етапах життєвого циклу виробів (рис. 2.4).

Враховуючи ту обставину, що ППВ прямо чи опосередковано відноситься (торкається) всіх без виключення етапів ЖЦ любого виробу, коротко розглянемо під кутом ефективного використання сучасних інформаційних технологій (CALS технологій) структурні складові (процеси) кожного з них (рис. 2.4).

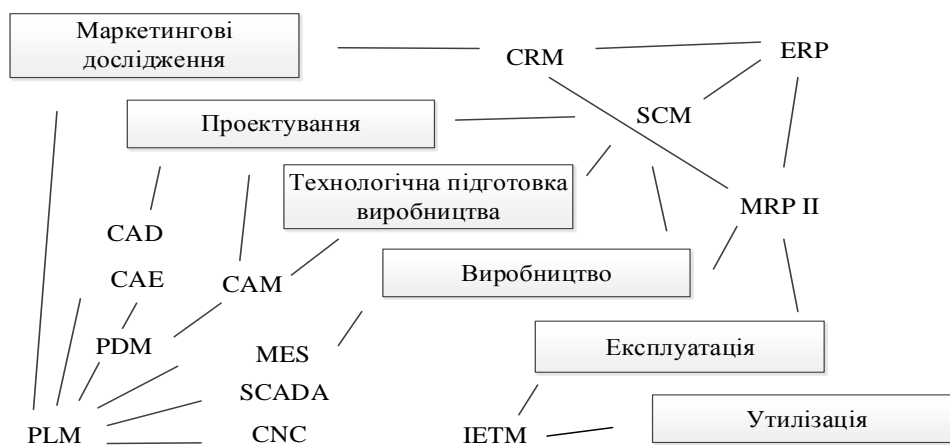


Рисунок 2.4 – Типи автоматизованих систем, що використовуються на відповідних етапах життєвого циклу промислової продукції

Метою маркетингових досліджень в першу чергу є аналіз стану ринку та прогнозна оцінка попиту на продукцію, яку планується виробляти, а також формулювання (встановлення) вимог до технічних характеристик виробів. Забезпечити досягнення цілей цього та ще трьох (проективання, підготовка виробництва, виробництво) подальших етапів ЖЦ дозволяють достатньо успішно забезпечувати системи PLM, які є складовими сучасного інформаційного середовища, функціонування якого забезпечується принципами CALS/PLM, що забезпечують інформаційну інтеграцію всіх процесів на кожній із стадій життєвого циклу продукції. Вивчення можливостей вітчизняних і закордонних CALS/PLM показало, що в них реалізована інтеграція в єдиний інформаційний простір машинобудівного підприємства CAD/CAM/CAE/PDM-систем, тобто процеси конструкторської й технологічної підготовки виробництва.

До числа базових принципів CALS/PLM відносяться [52]:

- системна інформаційна підтримка життєвого циклу виробу на основі використання інтегрованого інформаційного середовища, забезпечуючи мінімізацію витрат упродовж ЖЦ;
- інформаційна інтеграція, виконувана за допомогою стандартизації інформаційного опису об'єктів управління;

- розділення програм і даних на основі стандартизації структур даних і інтерфейсів доступу до них, орієнтація на готові комерційні програмно-технічні рішення, відповідні вимогам стандартів;

- безпаперове представлення інформації, використання електронно-цифрового підпису; вживання розрахованої на багато користувачів бази даних;

- паралельний інжиніринг бізнес-процесів, що припускає виконання процесів розробки і проектування одночасно з моделюванням процесів виготовлення і експлуатації; безперервне вдосконалення підприємницької діяльності (реінжиніринг бізнес-процесів).

Технологія управління всіма процесами включає: управління проектами і завданнями; управління ресурсами; управління якістю; інтегровану логістичну підтримку.

На етапі проектування виконуються проектні процедури – формування принципового рішення, розробка геометричних моделей і креслень, розрахунки, моделювання процесів, оптимізація та інше. Етап проектування включає всі необхідні стадії, починаючи із зовнішнього проектування, вироблення концепції (вигляду) виробу й закінчуючи випробуваннями пробного зразка або партії виробів. Зовнішнє проектування звичайно включає розробку технічної та комерційної пропозицій і формування технічного завдання на основі результатів маркетингових досліджень і/або вимог, пред'явлених замовником.

Автоматизація проектування здійснюється САПР. У САПР машинобудівних галузей прийнято виділяти системи функціонального, конструкторського й технологічного проектування. Перші з них називають системами розрахунків і інженерного аналізу або системами CAE (Computer Aided Engineering). Системи конструкторського проектування називають системами CAD (Computer Aided Design). Проектування технологічних процесів виконується в автоматизованих системах технологічної підготовки виробництва, що входять як складова частина в системи CAM (Computer Aided Manufacturing).

Для вирішення проблем спільного функціонування компонентів САПР різного призначення, координації роботи систем CAE/CAD/CAM, управління

проектними даними й проектуванням розробляються системи, що одержали назву систем управління проектними даними PDM (Product Data Management).

Ці програмні компоненти є зв'язуючою ланкою між технічними (проектуючими) та організаційно-економічними (керівниками) системами підприємства. Системи PDM або входять до складу модулів конкретної САПР, або мають самостійне значення й можуть працювати разом з різними САПР. Функції сучасних систем PDM – супровід документообігу на рівні існуючих варіантів рішень, що особливо актуально в сучасних умовах для виробництва. Тому розвиток ідеології побудови систем автоматизації виробничих процесів вимагає більш глибокого впровадження проектуючих комплексів в потоки конструкторської, технологічної і організаційно-економічної інформації. Електронна модель виробу об'єднує і систематизує дані з різних інформаційних автоматизованих підсистем підприємства (CAD, CAM, ERP та ін.). В моделі повинна відображатися інформація не тільки про виріб, але і пов'язане з ним відповідне середовище (інструменти, пристосування, оснащення, устаткування, персонал та інше).

Впровадження систем PLM дозволяє скоротити тривалість етапу розробки за рахунок підвищення ефективності взаємодії, підвищення кількості повторно використовуваних деталей і запозичених рішень, скорочення витрат на усунення помилкових рішень тощо [38].

Тривалість етапу підготовки виробництва також відчутно скорочується із впровадженням систем PLM у тому випадку, коли ще до початку цього етапу вже мається повна й достовірна специфікація на виріб, що випускається. На цьому етапі розробляються маршрутна й операційна технології виготовлення деталей, реалізовані в програмах для верстатів ЧПК; технологія складання й монтажу виробів; технологія контролю й випробувань. На етапі виробництва здійснюються: календарне й оперативне планування; придбання матеріалів і комплектуючих з їхнім вхідним контролем; усі необхідні види обробки деталей; контроль результатів обробки; складання; випробування та підсумковий контроль.

Стандарт управління рівня MRP (Material Requirements Planning) системи передбачає використання інформаційної системи планування матеріальних ресурсів. В практиці MRP – це програмний продукт, логіка роботи якого спрощено може бути наведена у вигляді схеми, наведеної на рис. 2.5.

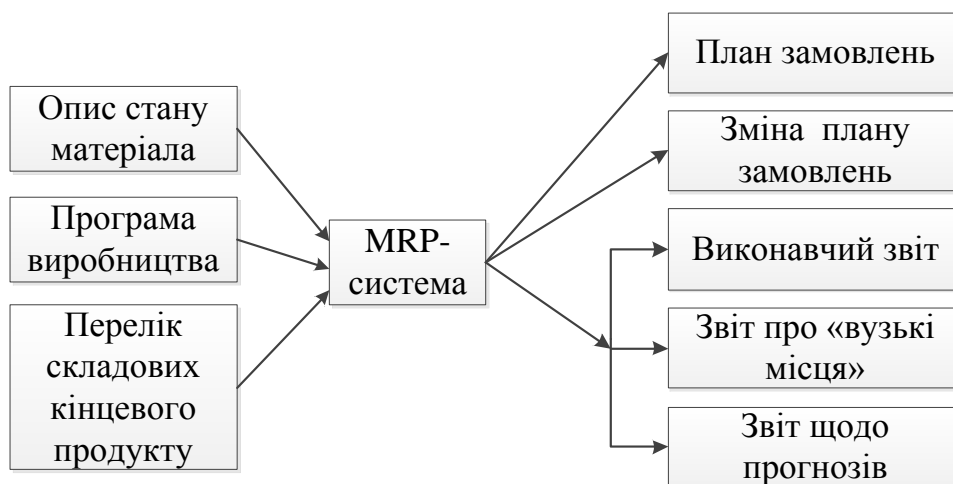


Рисунок 2.5 – Вхідні та вихідні дані системи MRP [39]

Впровадження MRP-систем має значні результати: зниження рівня запасів на 16—30 %, зниження витрат на закупівлі на 7—13 % та зростання ефективності роботи відділів на 11—20 % [53].

По суті, MRP-методологія являє собою сукупність методів та алгоритм оптимального управління замовленнями на готову продукцію, виробництвом та запасами сировини й матеріалів, реалізовану за допомогою автоматизованих комп'ютерних систем. MRP-система дозволяє оптимально завантажувати виробничі потужності і при цьому закуповувати саме стільки матеріалів і сировини, скільки необхідно для виконання поточного плану замовлень і саме стільки, скільки можливо обробити за відповідний цикл виробництва. Тим самим планування поточної потреби в матеріалах дозволяє суттєво розвантажити склади як і сировини й комплектуючих, так і склади готової продукції [54].

Цикл роботи MRP-системи складається з наступних основних робіт (процесів).



1. Аналіз прийнятої програми виробництва та визначення оптимального графіку виробництва на період, який планується.

2. Включення в планування у якості окремих пунктів матеріалів і комплектуючих, не включених до виробничої програми, але вказаних в поточних замовленнях,.

3. Обчислення на основі затвердженої програми виробництва і замовлень на комплектуючі, що не входять до неї, повної потреби для кожного окремого матеріалу відповідно до переліку складових кінцевого продукту.

4. Розрахунок на основі повної потреби у кожному матеріалі, із врахуванням його поточного статусу для кожного періоду часу, чистої потреби у ньому. Якщо чиста потреба в матеріалі на даний момент більша за нуль, то система автоматично генерує замовлення на нього.

5. Внесення, в разі необхідності, змін з метою уникнення передчасного постачання чи затримки постачання в усі замовлення, створені раніше поточного періоду планування.

Для того, щоб виробнича програма була здійсненна, необхідно також, щоб для виготовлення потрібної кількості виробів наявні виробничі потужності змогли обробити потрібну кількість сировини, матеріалів та комплектуючих, які пропонує складений MRP-модулем план замовлень. Власне, MRP-план є основним вхідним елементом модуля планування потреб у виробничих потужностях (CRP-модуля).

Подальшим розвитком цього підходу стали системи MRP-II (Manufacturing Resource Planning – планування виробничих ресурсів). Концепція MRP-II базується на відповідному стандарті MRP-II, розробленому в США та підтримуваному американським суспільством по контролю над виробництвом і запасами – American Production and Inventory Control Society (APICS). APICS регулярно видає документ "MRP-II Standart System", у якому описуються основні вимоги до інформаційних виробничих систем. Система MRP-II включає 16 груп функцій [54]:

1. Планування продажу і виробництва.

2. Управління попитом.
3. Складання плану виробництва.
4. Планування матеріальних потреб.
5. Специфікація продуктів.
6. Управління складами.
7. Планові поставки.
8. Управління на рівні виробничого підрозділу.
9. Планування потреб у потужностях.
10. Контроль входу/виходу.
11. Матеріально-технічне постачання.
12. Планування розподілу ресурсів.
13. Планування та управління інструментальними засобами.
14. Управління фінансами.
15. Моделювання.
16. Оцінка результатів діяльності.

Системи MRP II не позбавлені, однак і певних недоліків, серед яких:

- орієнтація системи управління лише на чинні замовлення;
- слабка інтеграція з системами проектування продукції;
- слабка інтеграція з системами проектування технологічних процесів;
- недостатня насиченість системи управління функціями управління витратами;
- відсутність інтеграції з процесами управління кадрами.

Необхідність усунення перелічених недоліків спонукала трансформувати системи MRP-II в системи нового класу ERP (Enterprise Resource Planning – система планування ресурсів). Системи цього класу більшої міри орієнтовані на роботу з фінансовою інформацією для розв'язання задач управління у великих корпораціях з територіально розпорощеними ресурсами. Сюди включається все, що необхідно для отримання ресурсів, виготовлення продукції, її транспортування і розрахунків із замовниками.

Крім цього в системах ERP реалізовані й нові підходи до застосування графіки, використання реляційних баз даних, CASE-технологій для їхнього розвитку, архітектура обчислювальних систем типу "клієнт-сервер" і реалізації їх як відкритих систем.

Системи ERP реалізують порівняно з MRP-II наступні додаткові модулі:

- прогнозування;
- управління проектами і програмами;
- введення інформації про склад продукції;
- введення інформації про технологічні маршрути;
- управління витратами;
- управління кадрами.

Але система ERP також має як переваги, так і недоліки [55]:

**переваги:** зниження вартості за рахунок підвищення ефективності операцій; зменшення часу виходу продуктів на ринок; зниження витрат та браку; підвищення якості продукції; опрацювання замовлень за замкнутим циклом;

**недоліки:** внутрішня сфокусованість; функції, обмежені виробництвом та адмініструванням; функції продажу, маркетингу та розробки відсутні; ефективність операцій може бути скопійована та поліпшена конкурентами.

Таким чином, система ERP є покращеною модифікацією системи MRP-II. Її мета – оперувати управлінням всіма ресурсами підприємства, а не лише матеріальними, як це було в MRP-II.

Виробничий етап ЖЦ завершується консервацією, пакуванням та транспортуванням готової продукції. На поствиробничих етапах ЖЦ (експлуатація та утилізація) виконуються: монтаж у споживача; обслуговування та ремонт у процесі експлуатації; утилізація.

Для оптимізації управління логістичними ланцюжками була створена концепція SCM (Supply Chain Management), яку підтримує більшість систем класу MRP-II. SCM, покладена як компонент загальної бізнес-стратегії компанії, дозволяє суттєво знизити транспортні й операційні витрати шляхом оптимального структурування логістичних схем поставок.

Інтеграція покупця із ключовими бізнес-процесами підприємства змінює його стратегію та вимагає нову модель управління діяльністю – планування ресурсів, синхронізоване з покупцем (споживачем). Для цього застосовується концепція CSRP (Customer Synchronized Resource Planning). Використовуючи принцип CSRP, дистриб'ютор продукції здатний записати специфічні вимоги до продукту, зафіксувати ціну й автоматично послати цю інформацію в головну організацію, де інформація про вимоги до продукту динамічно перетворюється в детальні інструкції з виробництва й плануванню. Критична для покупця (споживача) інформація динамічно інтегрується в основну діяльність підприємства. Після цього інформація про критичні переваги покупця (споживача) зберігається в центральній базі даних про споживачів, яка може використовуватися підрозділами обслуговування покупців (споживачів), технічного обслуговування, досліджень, планування виробництва тощо.

В наш час для оптимізації процесів виробництва та для підтримки конкурентоспроможності продукції з'явилася необхідність у розробці моделі діяльності підприємства, яка відображає всі механізми й принципи взаємозв'язку різних підсистем у рамках одного бізнесу. Для вирішення завдань моделювання таких систем існують методології й стандарти, до яких відносяться методології сімейства IDEF [27, 42, 43]. Особливість цих стандартів полягає в можливості з їхньою допомогою ефективно відображати й аналізувати моделі діяльності широкого спектру складних систем підприємства. При цьому широта й глибина обстеження процесів у системі визначається самим розробником, що дозволяє не перевантажувати створювану модель зайвими даними.

Розвиток і практичне застосування методології IDEF при впровадженні процесного підходу на підприємствах вносять такі вчені й фахівці, як Г.Г. Верніков, О. Волков, Е.А. Галактіонов, А.В. Дворніков, В.Е. Єлиферов та В.В. Репін, Г.Н. Калянов, Н.В. Кисельова, В.А. Окулесський, Colquhoun G. J., Sarkis J., Qingquan Li, Mayer, R. J. та інші.

На даний момент до сімейства IDEF можна віднести наступні стандарти [56]: IDEF0 – методологія функціонального моделювання; IDEF1 – методологія

моделювання інформаційних потоків усередині системи, що дозволяє відобразити й аналізувати їхню структуру й взаємозв'язки; IDEF1X (IDEF1 Extended) – методологія побудови реляційних структур; IDEF2 – методологія динамічного моделювання розвитку систем; IDEF3 – методологія документування процесів, що відбуваються в системі, яка використовується, наприклад, при дослідженні технологічних процесів на підприємствах; IDEF4 – методологія побудови об'єктно-орієнтованих систем; IDEF5 – методологія онтологічного дослідження складних систем.

Таким чином, впровадження проаналізованих сучасних ІС дозволить одержати оперативний контроль над виробничою системою і підвищити ступінь реакції системи на зміни в технологічних процесах, дозволить скоротити витрати на них та підвищити конкурентоспроможність підприємства.

Аналіз інструментарію систем PDM, CRSP, SRM, OLAP, DM та інше стосовно до кожного етапу ЖЦ продукції показує, що модулі даних систем частково виконують однакові функції. Разом з тим, аналіз показує, що стосовно до системи ІПВ машинобудівного виробництва, дані модулі практично не враховують специфіку й особливості ЖЦ технологічного оснащення й інструментів (рис. 2.6).

У той же час, однією з вимог світового ринку до виробництва будь-якої продукції є забезпечення її якості на всіх етапах життєвого циклу. При цьому управління якістю розглядається як складова частина загальної системи управління підприємством і якість присутня у всіх елементах управління бізнесом як критерій досягнення постійного росту його потенціалу. Крім цього, система управління якістю, що не інтегрована в інформаційну систему менеджменту підприємства, практично не дає переваг при використанні навіть найсучасніших комп'ютерних технологій у виробництві й випуску промислової продукції. Отже, вимоги до нормативного забезпечення як системи ІПВ, так і підприємства в цілому у теперішній час повинні забезпечувати відповідність не тільки принципам TQM, але й вимогам CALS-систем.

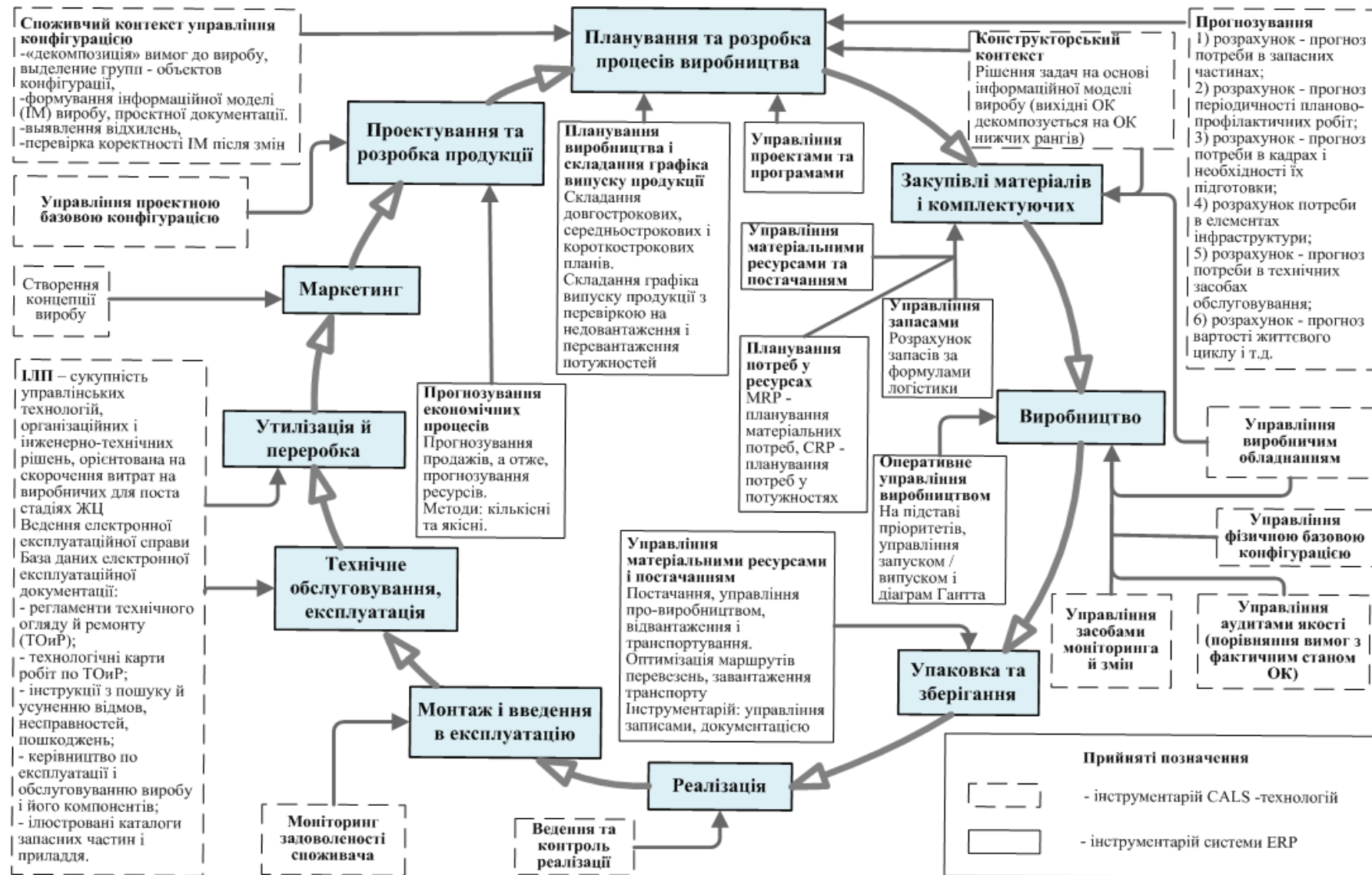


Рисунок 2.6 – Інструментарій ERP-систем і інших інструментів CALS на кожному етапі ЖЦ продукції

Аналіз відповідності вимог стандартів систем ERP й інших інструментів CALS вимогам стандарту ДСТУ ISO 9001:2009 (табл. 2.1) дозволив установити, що сучасні інформаційні системи дозволяють здійснювати ефективну підтримку процесів системи управління якістю машинобудівного підприємства. Крім того, управління інструментозабезпеченням у діючих стандартах CALS технологій розглядається найчастіше як інструментарій основного виробництва для управління ресурсами, запасами, замовленнями тощо. У той же час не слід нехувати на специфіку ППВ, яка полягає в тому, що система ППВ являє собою «завод у заводі», і вимагає використання модулів CALS технологій, що стосуються кожного етапу ЖЦ будь-якої продукції інструментального виробництва.

Одним зі шляхів забезпечення конкурентоспроможності підприємств вітчизняного машинобудівного комплексу є підвищення якості інструментальної підготовки виробництва, основу якого повинно становити впровадження сучасних ІС на базі застосування CALS-технологій. Це забезпечить повноцінне використання нових методів управління, у першу чергу, системи управління якістю та дозволить здійснити ефективну підтримку процесів ЖЦ продукції інструментального господарства

Таблиця 2.1 – Відповідність вимог стандартів систем ERP і інших модулів CALS вимогам стандарту ДСТУ ISO 9001:2009

<b>Розділ стандарту ДСТУ ISO 9001-2001</b>	<b>ERP</b>	<b>CALS (модулі)</b>
1	2	3
1. Область застосування	—	—
2. Нормативне посилення	—	—
3. Терміни й визначення	—	—
4. Системи менеджменту якості	—	—
4.1 Загальні вимоги	—	—

1	2	3
4.2 Вимоги до документації	—	Управління документацією й записами з якості
5. Відповідальність керівництва	—	—
6. Менеджмент ресурсів	Управління матеріальними ресурсами й постачанням	—
6.1 Забезпечення ресурсами	Планування потреб у ресурсах (MRP)	—
6.2 Людські ресурси	—	Комп'ютерні навчальні системи
6.3 Інфраструктура	Планування потреб у потужностях	Управління виробничим устаткуванням
6.4 Робітниче середовище	—	—
7. Випуск продукції	—	—
7.1 Планування випуску продукції	Планування виробництва й складання графіка випуску продукції	—
7.3 Проектування й розробка	—	Управління проектною конфігурацією.
7.4 Закупівлі	Управління запасами	Управління фізичною конфігурацією
7.5 Виробництво й надання послуг	1) MRP 2) Оперативне управління виробництвом	Управління проектною базовою конфігурацією
7.5.1 Управління виробництвом і наданням послуг	—	—
7.5.2 Твердження процесів виробництва й надання послуг	—	—
7.5.3 Ідентифікація й простежуваність	Забезпечується при виконанні модулів системи	Групування вимог, виділення ОК;



1	2	3
		твердження функціональної ДК і ідентифікація ФБК
7.5.4 Власність споживача	—	—
7.5.5 Збереження продукції	—	—
7.6 Управління контрольними й вимірювальними приладами	—	Управління пристроями для моніторингу й вимірів
8. Вимірювання, аналіз і поліпшення	—	—
8.1 Загальні положення	—	—
8.2 Моніторинг і вимірювання	—	—
8.2.1 Задоволеність споживачів	—	Моніторинг задоволеності споживачів
8.2.2 Внутрішні аудити	—	Управління аудитами якості
8.2.3 Моніторинг і вимірювання процесів	—	Моніторинг і вимірювання процесів
8.2.4 Моніторинг і вимірювання продукції	—	Моніторинг і вимірювання продукції
8.3 Управління невід- повідною продукцією	—	—
8.4 Аналіз даних	—	Статистика (аналіз дерева відмов)
8.5 Поліпшення	—	—
8.5.1 Безперервне поліпшення	—	Підтримка процесу поліпшень
8.5.2 Коригувальні дії 8.5.3 Попереджуючі дії	Прогнозування попиту та пропозицій.	Підтримка командної роботи

Аналіз рис. 2.6 і табл. 2.1 показує, що в CALS-технологіях управління інструментальним господарством забезпечується модулями управління ресурсами, запасами, замовленнями та інше. Однак, у ході проведених досліджень було встановлено, що при управлінні ІПВ не досить керуватися тільки лише принципами управління матеріальними ресурсами. Тут необхідно враховувати принципи управління підприємством в цілому, тому що у теперішній час на вітчизняних машинобудівних підприємствах левову частину інструментального господарства ще займає інструмент і оснащення власного виготовлення. Отже, у такому випадку можуть бути застосовні модулі CALS-технологій, що стосуються кожного етапу ЖЦ основної продукції й забезпечення її якості, враховуючи стосовно ІПВ її специфіку.

Також, при аналізі сучасних тенденцій у управлінні підприємством, можна зробити висновок, що нормативне забезпечення системи ІПВ в умовах застосування сучасних досягнень в області інформаційної підтримки виробництва повинне враховувати не тільки вимоги й принципи стандартів серії ДСТУ ISO 9001 версії 2009 року, але й забезпечувати вимоги й принципи стандартів CALS-технологій.

У той же час, дослідження (див. рис. 2.6 і табл. 2.1) показало, що вимоги й принципи до систем ERP і інших інструментів CALS-технологій не забезпечують можливості, аналізу ризиків і попередження можливих збоїв.

Таким чином, одним з напрямків щодо поліпшення діяльності машинобудівного підприємства, пов'язаної з інструментозабезпеченням, є розробка нормативного забезпечення системи ІПВ на основі впровадження інформаційних технологій, які б дозволяли застосовувати на їх базі методи прогнозування й оптимізації процесів.

### **2.3 Дослідження методів прогнозування**

Як зазначалось в п. 2.1 прогнозування є одним із інструментів при управлінні інструментозабезпеченням машинобудівного підприємства. Однією з суттєвих переваг процесу впровадження CALS-технологій є

можливість оперативного управління інформацією та аналіз великих масивів даних, що суттєво розширює можливості застосування методів прогнозування в ІС ІПВ. Прогнозування, в свою чергу, дає можливість розкрити стійкі тенденції або обґрунтувати виникнення істотних змін у процесах, які в даний момент є недоступними для безпосереднього сприйняття й перевірки на практиці, та базується на основі виявлення й правильної оцінки стійких зв'язків і залежностей між минулим, сьогоденням і майбутнім. Таким чином, прогнозування є спеціальним науковим дослідженням перспектив розвитку процесів у майбутньому плановому періоді й дозволяє виявити можливі альтернативні варіанти, нагромадити науковий і емпіричний матеріал для обґрунтованого вибору й ухвалення планового рішення.

Якість прогнозування залежить від правильного вибору методу прогнозування, оцінки ймовірності й інтерпретації результатів прогнозу. Тому для досягнення якості прогнозу необхідне знайомство з методологією прогнозування й можливостями конкретних методів.

В розвиток методологій прогнозування зробили внесок такі вчені, як: І. В. Антохонова, Дж. Бокс, В. П. Боровіков, Г. М. Дженкінс, Дж. Ханк, Є. Г. Непомнящий, Е. Є. Тіхонов, А. П. Чернавський.

На цей час методи прогнозування класифікують за чотирма ознаками: за ступенем формалізації, за періодом попередження, за об'єктом дослідження та за масштабом прогнозування.

В економічно розвинених країнах усе більше поширення одержує використання формалізованих моделей прогнозування. Ступінь формалізації перебуває в прямої залежності від розмірів підприємства: чому крупніше підприємство, тем більшою мірою її керівництво може й повинне використовувати формалізовані підходи у фінансовій політиці. У західній літературі відзначається, що близько 50 % великих підприємств і близько 18 % [57] дрібних і середніх фірм воліє орієнтуватися на формалізовані кількісні методи в управлінні витратами й аналізі фінансового стану підприємства.

Отже на основі узагальнення світового та вітчизняного досвіду можна представити класифікацію методів прогнозування за ступенем формалізації (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Класифікація методів прогнозування по ступеню формалізації

Як видно, сучасні методи прогнозування засновані на використанні різних математичних теорій: функціональний аналіз, теорія рядів, теорія екстраполяції й інтерполяції, теорія ймовірностей, математична статистика, теорія випадкових функцій і випадкових процесів, кореляційний аналіз, теорія розпізнавання образів.

Кожен процес ІПВ характеризується специфічним обсягом завдань, особливим підходом до їхнього вирішення, певним складом і рівнем підготовки та кваліфікації персоналу, матеріальними й фінансовими ресурсами та інше. Специфіка процесів визначає характер, структуру цілей і завдань прогнозування та вибору методів їхнього вирішення. Тому необхідно розробити рекомендації щодо вибору методів прогнозування на кожному етапі ЖЦ процесів ІПВ.

## 2.4 Управління техніко-економічними показниками ІС ІПВ

### 2.4.1 Основні засади побудови системи техніко-економічних показників ІПВ

Створення системи техніко-економічних показників ІС ІПВ є одним із інструментів представлення, конкретизації та реалізації її життєвого циклу. Це надає можливість наочного представлення реальної картини та подальших перспектив розвитку системи ІС ІПВ, оцінки ІС ІПВ, виявлення взаємозв'язків і взаємодії різних факторів техніки та економіки, що впливають на ІС ІПВ, виявлення резервів виробництва інструменту і оснащення, опрацювання заходів для раціоналізації використання ТО та ресурсів для його виготовлення та ін.

Саме поняття техніко-економічні показники (далі – ТЕП) підприємства широко застосовується і має на увазі величини, які характеризують матеріально-виробничу базу підприємств, використання знарядь і предметів праці, організацію виробництва, витрати на виробництво продукції.

Розвитком теорії та методів управління ТЕП займалися ряд вчених, таких, як А. Atkinson, А.Е. Воронкова, С.С. Гоголін, В.А. Залесов, Е.М. Косматов, Д. Нортон, Р. Каплан та ін.

Згідно [58] класичні системи поділяють ТЕП підприємства на загальні (єдині для підприємств усіх галузей), і специфічні (що відображають особливості виробництва окремих галузей). До загальних показників відносять ступінь спеціалізації і механізації виробництва, коефіцієнти електро- та енергоозброєності праці та інші.

Аналіз робіт в сфері оцінки й управління ТЕП показав, що для аналізу і оцінки підприємства і його техніко-економічного рівня використовують основні ТЕП підприємства, до яких відносяться: зниження собівартості і зростання продуктивності праці, виробіток, обсяг реалізації, вартість активів, рівень автоматизації і механізації підприємства; відносне і абсолютне зменшення або збільшення кількості працівників на підприємстві, чистий

прибуток, фондівдача та фондомісткість, продуктивність праці, показники рентабельності, поліпшення рівня виробництва за рахунок технічних новинок та інновацій та ін.

Специфічні ТЕП зазвичай характеризують структурні та якісні зміни продукції, що випускається, рівень і стан технічної оснащеності у галузі, використання обладнання та ін. До цієї групи показників відносять матеріаломісткість при виробництві, продуктивність праці, що виражена в натуральному значенні, обсяги виробництва продукції, що випускається з використанням технічного обладнання і сучасних технологічних процесів.

Плотницька С.І. в роботі [59] підрозділяє ТЕП на такі групи:

- об'ємно-планувальні;
- показники кошторисної вартості;
- показники витрат праці;
- нормативної трудомісткості;
- показники витрати матеріалів;
- показники кошторисної заробітної плати.

Окрім цього, звітність сучасних підприємств недостатньо відображає технічний рівень виробництва. Ще в 1996 р. Р. Каплан й Д. Нортон відмітили, що базування систем ТЕП на використанні винятково економічних (фінансових) показників це важливий недолік: «Фінансові показники говорять багато про що, але не про все з того, що було в минулому, і вони також не здатні надавати адекватну інформацію про те, які дії потрібно почати сьогодні й завтра для створення майбутньої вартості компанії» [60]. Такий вибір сучасних підприємств можна пояснити високою розвиненістю систем внутрішнього обліку, а з іншого боку недостатньою розвиненістю управління, яке базується на використанні нефінансових ТЕП.

Хоча на вітчизняних підприємствах застосовуються деякі ТЕП якості процесів інструментозабезпечення, вони носять безсистемний та розрізнений характер. Тому, на наш погляд, необхідна побудова такої системи ТЕП ПІВ, що відображала би технічний рівень виробництва і в той же час знаходилися б

у взаємозв'язку з економічними (фінансовими) показниками, які характеризують результати виробничо-господарської діяльності підприємства.

Необхідно також враховувати, що збір інформації для розрахунку значень додаткових нефінансових ТЕП вимагає додаткових ресурсів для обробки інформації. Така інформація повинна надходити керівництву в агрегованому вигляді й використовуватися для прийняття рішень. Однак найчастіше така інформація, надходить із системи внутрішнього обліку у великих обсягах, не наочна та не прив'язана до конкретного рішення. Вирішенням цього питання є застосування можливостей CALS-технологій. Як було зазначено в 1.1, однією з переваг інформаційних систем, що будуються на принципах CALS-технологій є скорочення часу на проведення оперативного збору інформації.

Отже техніко-економічні показники підприємства, які збудовані в чітку систему в сукупності з правильною методикою їх обчислення дозволять виконати систематичне порівняння технічного і організаційного рівня ІПВ на підприємстві, виявити резерви виробництва, а також скоротити загальну тривалість процесу планування.

#### 2.4.2 Сучасний стан проблеми управління витратами на ІПВ

Впровадження міжнародних стандартів серії ДСТУ ISO 9000 і побудова промислового виробництва на базі процесного підходу в умовах функціонування інформаційних технологій спонукає сучасні підприємства України чітко контролювати витрати фінансових ресурсів на підприємстві. Тому, одним із важливих елементів системи ТЕП на підприємстві є аналіз і оцінка витрат на якість його процесів.

Витрати на якість процесів ІПВ виступають як внутрішня економічна основа системи якості, що дозволяє визначити наслідки будь-яких управлінських рішень, які приймаються в системі управління якістю.

Заходи щодо забезпечення якості процесів виробництва ґрунтуються на плануванні, обліку, контролі й аналізі витрат на якість. Формування витрат на якість є ключовим і одночасно найбільш складним елементом розвитку підприємства. Саме від його ретельного вивчення й успішного практичного застосування буде залежати рентабельність виробництва й окремих видів продукції, взаємозалежність видів продукції й місць їх у виробництві, виявлення резервів зниження собівартості продукції, визначення цін на продукцію, вирахування національного доходу в масштабах країни, розрахунок економічної ефективності від впровадження нової техніки, технології, організаційно-технічних заходів, а також обґрунтування рішення про виробництво нових видів продукції й зняття з виробництва застарілих.

Також необхідно відмітити, що має місце вживання комбінацій "витрати на якість", "витрати, що відносяться до якості", "витрати, що пов'язані з якістю". До виходу стандартів ДСТУ ISO серії 9001 версії 2009 року багато авторів ототожнювали поняття «витрати на якість» і «витрати на встановлення, досягнення й збереження показників якості». Це приводило до того, що витрати на якість представлялися як сукупні витрати на підприємстві, тому що робота з різного роду показниками якості пов'язана з розробкою продукту, підготовкою виробництва, виробництвом і обігом товару. Сучасне визначення якості продукції, прийняте ДСТУ ISO 9000, стерло раніше існуючі грані між діяльністю, пов'язаною з якістю, і безпосередньо не пов'язаною з ним. Зникнення чітких границь стало ще однією причиною ототожнення витрат на якість із усіма витратами на підприємстві. Дана обставина змушує обмежувати область визначення витрат на якість тим або іншим способом, направляючи зміст визначення на функцію менеджменту якості як одну з функцій діяльності підприємства, хоча й надзвичайно широку й складну. Так, фахівці німецького суспільства якості (DGQ) вважають, що комбінації "витрати, що відносяться до якості" або "витрати, пов'язані з якістю" більш відповідають елементам витрат, об'єднаних під цим позначенням. Ще більш точно сутність витрат даного типу можна охарактеризувати поняттям



"витрати, пов'язані з функціями менеджменту якості". Без такого уточнення в зміст поняття "витрати на якість" можна ввести витрати на будь-яку діяльність, тому що прямо або побічно всі роботи на підприємстві мають відношення до якості. Крім функціональної класифікації, використовуються й інші визначення витрат на якість, такі, як "витрати на відповідність і невідповідність" і "втрати, пов'язані з незадовільною якістю". Термін "витрати на відповідність і невідповідність" також може бути віднесений до різних об'єктів: продукції й процесу. Так, Ф. Кросбі пропонував ураховувати витрати на відповідність і невідповідність продукції з метою економії засобів на процесах, що роблять дефектну продукцію, поліпшення яких коштувало дорожче втрат від дефектів і тому вважалось неефективним. Такий підхід є досить консервативним стосовно управління якістю, але дозволяє виділити пріоритетні напрямки капіталовкладень. Тому що посилення позицій споживача на ринку в другій половині ХХ століття зробило одним з основних принципів менеджменту якості принцип постійного вдосконалювання, в умовах твердої конкуренції визначення витрат на відповідність і невідповідність продукції втрачає важливість. Однак, цей підхід знайшов благодатний ґрунт для поширення в області менеджменту процесів і в цей час витрати, пов'язані з якістю, визначаються як витрати на відповідність процесу й витрати, викликані невідповідністю процесу. Даний підхід запропонований і в міжнародних стандартах ISO серії 9000. Тут мова йде вже не тільки про витрати, але й про витрати, пов'язані з якістю, наприклад, втрати частки ринку або іміджу підприємства. Розширений підхід Ф. Кросбі виходить за рамки визначення витрат, пов'язаних з якістю продукції, і більше орієнтований на якість технології і якість підприємства в цілому. Розширення границь визначення витрат приводить до існування крайньої точки зору, згідно з якою, облік витрат не має змісту, тому що з позицій загального менеджменту якості на якість продукції й задоволення споживача впливає робота кожного працівника підприємства. Згідно із цією точкою зору, усі витрати на підприємстві можна віднести до витрат, пов'язаних з якістю, а до управління

цими витратами прирівняти традиційне управління витратами на підприємстві.

Якщо розглянути витрати підприємства, можна відмітити, що ряд вчених пропонують укрупнені класифікації витрат, поділяючи їх тільки за декількома ознаками, інші навпаки, пропонують більш розгорнуту й більш повну класифікацію витрат. При цьому вони не приділяють належної уваги класифікації витрат по сфері виникнення, по зв'язку з обсягом виробництва, місцям виникнення, часу виникнення, центрам відповідальності, рівню контролю й регулювання та ін. В умовах забезпечення конкурентоспроможності підприємств на сучасному ринку ці класифікації витрат мають велике практичне значення в діяльності підприємства.

Необхідно взяти до уваги факт, що класифікація витрат західних підприємств залежить від потреби в інформації для управління, не рідко, навіть усередині одного підприємства існують різні класифікації витрат виходячи з потреби управління. Класифікацію витрат розробляють із метою вивчення поведінки собівартості, здійснення обліку витрат виробництва, визначення взаємозв'язку між обсягом, собівартістю й прибутком, вирахування точки критичного обсягу виробництва, оперативного планування й контролю над витратами і т.д.

Спеціальне визначення витрат, пов'язаних з якістю, Г.Г. Азгальдов визнає необхідним "лише в невеликому числі випадків, тому що всі витрати враховуються економікою підприємства". Від такої помилки застерігав Дж. Джуран, помітивши, що "витрати на виготовлення придатної продукції не входять у витрати на якість". Ґрунтуючись на вищевикладеному Г.Г. Азгальдов запропонував три основні підходи до визначення терміна "витрати, пов'язані з якістю".

При першому підході, витрати, пов'язані з якістю, мають відношення до дефектів і невідповідностям продукції. Даний підхід застосовують підприємства із системою бухгалтерського обліку, яка використовує традиційні методи визначення витрат, що виділяють окремі стандартні й нові

для них види робіт із забезпечення якості в особливу діяльність. Облік за даною ознакою класифікації характерний для перших етапів становлення й розвитку системи менеджменту якості.

При другому підході ключовою ознакою для віднесення витрат до даної категорії є їх віднесення до невідповідностей.

Третій підхід погоджує витрати з досягненням і підтримкою задоволеності споживача. Сумарні витрати при цьому розбиваються на категорії: на забезпечення й управління якістю; на контроль і оцінку якості, включаючи оцінку задоволеності споживача; на внутрішні й зовнішні відмови будь-якого виду, що приводять до незадоволеності споживача. Даний підхід можуть використовувати підприємства, що калькуюють витрати по всім життєвому циклу продукції, усім центрам відповідальності й усім функціям, виконуваним на виробництві. Витрати, пов'язані з якістю, А. Фейгенбаум розділяє на дві групи: витрати, понесені виробником, і витрати інших осіб. Система обліку витрат, пов'язаних з якістю, розширюється й охоплює, крім основних виробничих підрозділів, допоміжні підрозділи, відповідальні за безвідмовність функціонування процесів на підприємстві. Для розглянутих підходів характерне відношення до витрат, пов'язаних з якістю, як до витрат, пов'язаних з незадовільною якістю. У сучасній теорії менеджменту якості ставка робиться не на роботу з незадовільною якістю, тому що рівень дефектності або невідповідностей продукції наближається на провідних промислових підприємствах до значень, близьких до нуля, а на виявлення й задоволення вимог споживача для попередження його незадоволеності. При цьому усе більш значну частку в загальних витратах становлять витрати на попередження невідповідностей вимогам споживача і його незадоволеності.

Отже, узагальнивши вітчизняний та зарубіжний досвід в управлінні витратами на якість можна виділити основні системи класифікації витрат на якість (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Ознаки класифікації, що використовуються у світових та

національних системах класифікації витрат на якість.

Система класифікації витрат на якість	Найменування ознак класифікації
1	2
за Шухартом-Демінгом	витрати на планування; витрати на облік; витрати на аналіз; витрати на аудит, контроль
за А. Фейгенбаумом	витрати на попередження; витрати на оцінку рівня якості; втрати від браку
за Т.М. Полховською	витрати на рівні керування; на стратегічному рівні; на тактичному рівні; на оперативному рівні.
за стандартом BS 6143:1992 та Ф. Кросбі	витрати на відповідність; витрати як наслідок невідповідності.
за Дж. Джураном	витрати на забезпечення якості (корисні витрати; збитки); витрати на вдосконалення якості
за В.Д. Мацутою	витрати на основні процеси; витрати на забезпечуючі процеси; витрати на керуючі процеси.
за Б.І. Герасимовим, Н.І. Лавренченко	витрати, що відносяться до зовнішніх користувачів; витрати, що відносяться до внутрішніх користувачів
за Wikipedia	витрати прямі та непрямі ; витрати постійні та змінні
	витрати на якість продукції; витрати на якість діяльності; на якість фірми
за К.М. Рахліним та Л.Е. Скрипко	витрати на покращення якості, на забезпечення якості та на управління якістю; витрати поточні (постійні) та одноразові; витрати виробничі, невиробничі; витрати прямі, непрямі; витрати, що піддаються прямому обліку, не піддаються прямому обліку та витрати, що не доцільно враховувати; витрати на якість при розробці продукції, при виготовленні та при експлуатації; витрати планові та фактичні; витрати по підприємству, по виробництву, по видах продукції; витрати на продукцію, процеси або послуги; витрати при оперативному, бухгалтерському та цільовому обліку
ABC-метод	витрати на проектування, на закупівлю, на виробництво та ін.

## 2.5 Висновок

В результаті проведеного аналізу робіт, які присвячені застосуванню інформаційних технологій в ІПВ можна зробити наступні висновки:

Основне значення створення інформаційних систем управління на машинобудівних підприємствах – підвищення конкурентоспроможності як продукції, так і підприємства в цілому за рахунок ефективного управління інформаційними ресурсами. Це досягається завдяки автоматизації основних і допоміжних процесів та інформаційної інтеграції. Тому для одержання оперативного контролю над виробничою системою, підвищення ступеню реакції системи ІПВ на зміни і, таким чином, підвищення ефективності виробничого процесу необхідно запропонувати концептуальний підхід до створення моделі інформаційної системи управління якістю ІПВ.

Сучасні методи прогнозування засновані на використанні різних математичних теорій. Кожен процес ІПВ характеризується особливою специфікою, яка визначає характер, структуру цілей і завдань прогнозування та вибору методів їхнього вирішення. Тому необхідно розробити рекомендації щодо вибору методів прогнозування на кожному етапі ЖЦ процесів ІПВ.

Системи управління підприємством розглядають витрати на управління інструментальною підготовкою виробництва в ракурсі управління матеріальними ресурсами, статті витрат беруться із системи бухгалтерського обліку. Тому в роботі необхідно запропонувати підходи до формування класифікації витрат на якість промислового підприємства, та на їх підставі сформулювати класифікацію витрат на якість ІПВ.

Таким чином, на сьогодні існує науково-прикладна задача, яка полягає в необхідності вдосконалення методологічних принципів створення моделі управління витратами на якість процесів ІПВ для вирішення питання прийняття раціональних рішень з оперативного управління якістю ІПВ, розробленні принципів формування інструментарію для управління якістю процесів ІПВ в умовах функціонування інформаційних технологій, з метою

підвищення ефективності та конкурентоспроможності машинобудівних підприємств в цілому.

## 3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НЕРУЙНІВНОГО ЕКСПРЕС-МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЛЕЗ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

### 3.1 Оцінювання якості лезового різального інструменту для заданих умов оброблення поверхні

Для того, щоб вибрати для заданих умов оброблення тієї чи іншої поверхні, які обумовлюються відповідним технічним завданням виробника промислової продукції, найкращий різальний інструмент із представлених на відповідному ринку, треба обов'язково спочатку визначити ті умови, у яких куплений (вироблений своїми силами) інструмент повинен працювати. Найкращими з усіх можливих умов різання, які реально може використовувати виробник промислової продукції, якому потрібен цей інструмент, будуть тільки оптимальні (або близькі до оптимальних) умови різання, тобто такі, що можуть забезпечити виробнику промислової продукції в сучасних ринкових умовах існування суспільства найбільший прибуток.

Сучасний підхід до вирішення завдання вибору оптимальних умов різання ґрунтується на використанні методів математичного програмування. Відповідно до цього підходу постановка задачі оптимізації режимів різання полягає в тому, що за визначеними вимогами до виготовленої деталі і відомими параметрами системи ВПД необхідно знайти параметри процесу різання, які забезпечують екстремальне значення прийнятого критерію оптимальності для процесу оброблення. Математичне формулювання задачі, що розглядається, може бути записане так [38]:

$$\begin{aligned}
 & \text{extr}W(\bar{X}); \\
 & \bar{X} \in D; D = \{\bar{X} : f(\bar{X}) \leq b; i = \bar{l}, n\} \\
 & \bar{X} = \begin{pmatrix} V \\ S \\ l \\ \alpha \\ \gamma \end{pmatrix}; V > 0; S > 0; l > 0; \alpha > 0,
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

де  $W(\bar{X})$  – прийнятий критерій якості режиму різання (частина критерію оптимальності технологічного процесу, що залежить від умов різання, наприклад, найбільша продуктивність процесу оброблення, найменші витрати на різальний інструмент, найвища якість обробленої поверхні тощо):

$X$  – параметри умов різання, що являють собою мірний вектор з відповідними координатами;

$V$  – швидкість різання;

$S$  – подача;

$L$  – глибина різання;

$\alpha$  – задній кут;

$\gamma$  – передній кут,

$D$  – множина допустимих умов різання, що визначається обмеженнями, накладеними на елементи процесу різання (наприклад, технічні можливості верстату, якісні показники інструменту (необхідні міцність, стійкість тощо), заробітна плата верстатника і таке інше) у вигляді таких нерівностей:

$$F(\bar{X}) \leq b, \quad (3.2)$$

де  $F(\bar{X})$  – деяка функція умов різання (частина критерію оптимальності технологічного процесу, що залежить від умов різання).

Як цільову функцію  $W(\bar{X})$  у математичній моделі (3.1) зазвичай використовують або економічні критерії, або технологічні.

Залежно від конкретної виробничої ситуації економічними критеріями оптимальності можуть бути: мінімальна технологічна собівартість, максимальна продуктивність оброблення, максимальний ресурс інструменту тощо.

Змінна частина технологічної собівартості  $C$ , що залежить від налагодження і режиму різання, при роботі одним інструментом визначається за формулою [61, 8]:



$$C = \tau_0 + \tau_\omega \frac{\tau_0}{T} + 3 \frac{\tau_0}{T}, \quad (3.3)$$

де  $\tau_0$  – основний технологічний час, під яким розуміють час, затрачений на безпосередню зміну геометричної форми і розмірів заготовки, що є метою даного переходу;

$$\tau_\omega = \tau_0 + \tau_{зм} \frac{\tau_0}{T} + \sum \tau, \quad (3.4)$$

де

$$\sum \tau = \tau_{дит.} + \tau_{об.} + \tau_n,$$

де  $\tau_{дит.}$  – час перерв і відпочинку, допоміжний час, затрачений на встановлення заготовки на верстаті, зняття її або готової деталі з верстата, вимірювання деталі, пуск і зупинку верстата та інше;

$\tau_{об.}$  – час організаційного і технічного обслуговування робочого місця.

При токарній обробці за один прохід основний технологічний час у хвилинах дорівнює :

$$\tau_0 = \frac{L}{nS}, \quad (3.5)$$

де  $L$  – розрахункова довжина робочою ходу в напрямку руху подачі, вона дорівнює сумі довжини  $l$  оброблюваної поверхні, шляху  $l_{вр}$  врізання головної різальної кромки інструмента у зрізуваний шар і шляху  $l_{пер}$  перебігу (у разі обробки «на прохід»), не обхідного для виходу інструмента з контакту із заготовкою, мм;

$n$  – частота обертів заготовки,  $хв^{-1}$

$S$  – подача, мм/об.

Собівартість однієї хвилини роботи оброблювальної системи:

$$E = E_n + E_p,$$

де  $E_n$  – собівартість однієї хвилини роботи верстата;

$E_p$  – собівартість однієї хвилини роботи робітника-верстатника.

$Z_i$  – витрати, пов'язані з експлуатацією інструмента за його період стійкості:

$$Z_i = \tau_{2\mu} E_n + \frac{(C_m - C_{\text{відх}}) K_n}{j}, \quad (3.6)$$

де  $\tau_{2\mu}$  – час, затрачуваний на зняття інструмента, що затупився, заміна зношеного леза (вершини) і регулювання положення інструмента відносно оброблюваної деталі (у разі потреби), тобто час простою верстата у зв'язку зі заміною інструмента [19, 12, 1];

$E_n$  – номінальна заробітна плата верстатника за хвилину;

$C_m$  – початкова вартість інструмента;

$C_{\text{відх}}$  – вартість відходів інструмента;

$K$  – коефіцієнт, що враховує випадкову втрату інструмента ( $K = 1,05$ );

$j$  – число вершин (лез) у непереточуваної пластини.

Продуктивність оброблення  $P$  визначають через штучний час, який підраховують за формулою:

$$P = \frac{1}{\tau_0} \quad (3.7)$$

Ресурс  $Q$  інструмента виражений у кількості заготовок, оброблених за період стійкості, визначають за формулою:

$$Q = \frac{T}{\tau_0}. \quad (3.8)$$

У загальному випадку перераховані критерії оптимізації досягаються знаходженням комбінації трьох параметрів режиму різання: глибини різання  $t$ , подачі  $S$  і швидкості різання  $V$ . Якщо задана точність обробленої деталі допускає видалення припуску за один прохід, то глибину різання приймають рівною припуску. Це викликано тим, що зміна глибини різання впливає на рекомендовану швидкість різання менш сильно, ніж зміна подачі.

*Визначення подачі і швидкості різання.*

Якщо зв'язок між цими параметрами і періодом стійкості монотонний і при заданій глибині різання може бути описаний ступеневою функцією, формула набуває вигляду:

$$T = \frac{C_{r1}}{V^m S^d}, \quad (3.9)$$

де константа у чисельнику дорівнює:

$$C_{r1} = \frac{C_{r0}}{t^p}. \quad (3.10)$$

Визначимо значення подачі і швидкість різання, за яких технологічна собівартість буде мінімальною. Підставивши вираз періоду стійкості у формулу, будемо мати:

$$C = \frac{A_1}{VS} + \frac{A_2}{C_{r1}} V^{m,-1} S^{q-1}. \quad (3.11)$$

Як видно з цього виразу, мінімуму технологічної собівартості відповідає певна комбінація значень подачі і швидкості різання, причому оскільки  $m_1 > q$ , то швидкість різання на зміну собівартості впливає сильніше, ніж подача.

Поверхня  $C = f(V, S)$  отримана при точінні заготовки  $D = 80$  мм,  $l_3 = 100$  мм зі сталі 45 наведена на рис. 2.1.

Спільне розв'язання рівнянь  $\frac{dC}{dV} = 0$  і  $\frac{dC}{dS} = 0$  внаслідок ступеневої форми виразу (2.11) не дозволяє аналітично відшукати комбінацію подачі і швидкості різання, яка забезпечує мінімум технологічної собівартості, але вона може бути знайдена чисельними методами на ЕОМ.

Аналогічно чинять і при відшукуванні комбінації  $V$  і  $S$ , що відповідає максимальній продуктивності. У цьому випадку формулу штучного часу можна записати так:

$$\tau_{on} = \frac{A_3}{VS} + \frac{A_4}{C_{r1}S} V^{m,-1} S^{q-1} + \sum \tau. \quad (3.12)$$

Підставивши у формулу (3.12) вираз періоду стійкості, одержимо вираз для обчислення ресурсу інструмента:

$$Q = \frac{C_{r1}}{A_3 V^{m,-1} S^{q-1}}. \quad (3.13)$$

Звідси випливає, що ресурс інструмента зменшується як при збільшенні швидкості різання, так і подачі, причому вплив швидкості різання на  $Q$  сильніший у зв'язку з тим, що  $m_1 > q$ .

При заданій глибині різання  $t = t_i$  формула набуває виду:

$$T = \frac{C_{r1} V^k}{e^{k,V} S^q}. \quad (3.14)$$

Визначимо значення подачі і швидкості різання, за яких технологічна собівартість буде мінімальною. Підставивши вираз періоду стійкості у формулу (2.11), будемо мати:

$$C = \frac{A_1}{VS} + \frac{A_2}{C_{r1}} \frac{e^{k,V} S^q}{V^{k+1}} \dots \quad (3.15)$$

Поверхня, що відповідає обробці заготовки  $D = 80$  мм  $l_3 = 100$  мм зі сталі 12Х18Н10Т наведена на рис. 3.2. Для відшукування оптимальної комбінації  $V$  і  $S$  знайдемо часткові похідні  $\frac{dC}{dV}$  і  $\frac{dC}{dS}$ , прирівняємо їх до 0. Після перетворень одержимо:

$$\frac{A_1 V^2}{e^{k,V}} + \frac{A_2}{C_{r1}} S^q [k_1 V - (k + 1)] = 0 \quad (3.16)$$

$$A_1 + \frac{A_2 e^{k,V}}{C_{r1} V^1} (q - 1) S^q = 0 \quad (3.17)$$

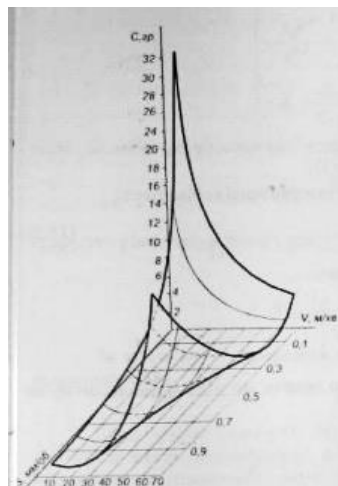


Рисунок 3.1 – Залежність технологічної собівартості оброблення від швидкості різання і подачі за умови, що зв'язок  $T - V$  – монотонний [40]

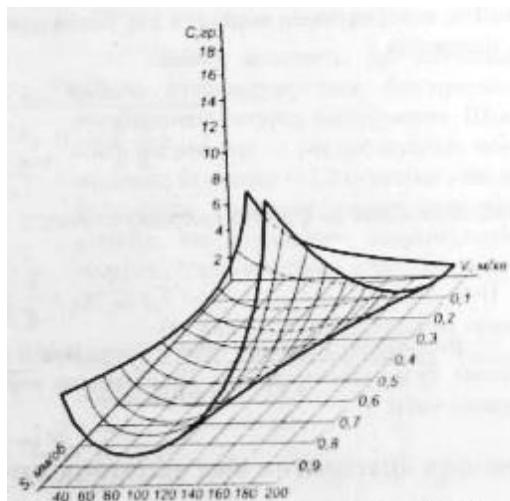


Рисунок 3.2 – Залежність технологічної собівартості оброблення від швидкості різання і подачі за умови, що зв'язок  $T-V$  – не монотонний [40]

Отже, проаналізувавши сучасні підходи до встановлення найбільш раціональних (близьких до оптимальних) режимів обробки з'ясовано, що можуть бути прийняті різні цільові функції оптимізації цих режимів залежно від конкретних виробничих умов (рис. 3.3).

### ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ



Рисунок 3.3 – Цільові функції оптимізації режимів обробки залежно від конкретних виробничих умов

Під час проектування нових технічних процесів металооброблення часто відсутні необхідні вихідні дані про собівартість і продуктивність, у зв'язку з чим не виявляється можливим використати зазначені критерії при розрахунку оптимальних режимів різання.

У роботі пропонується метод оптимізації режимів різання за двома критеріями, якими обрано інтенсивність різання (кількість металу, знятого за одиницю часу)  $R$  і стійкість інструменту  $T$ . Вибір параметрів  $R$  і  $T$  зумовлений тією важливою роллю, що вони відіграють при проектуванні технологічних процесів металооброблення, а також їхнім зв'язком з економічними показниками процесу різання. У принципі, будь-який критерій, зокрема економічний, може бути виражений функціями  $R$  і  $T$  [10], тобто при певних комбінаціях цих параметрів можна досягти мінімуму машинного часу, максимуму продуктивності або мінімуму собівартості.

Відповідно до теорії багатокритеріальної оптимізації [62] розв'язком задачі є допустимий оптимальний (близький до оптимального) режим різання  $\bar{X}_0 (V, S, t)$ , який характеризується тією властивістю, що не знайдеться жодного іншого допустимого режиму різання, який може забезпечити для заданих умов оброблення (вхідних факторів) одночасне збільшення параметрів  $R$  і  $T$  у порівнянні з тими значеннями, що відповідають режимам, рекомендованим різними виробниками інструментів або їхніми представниками – дилерами, дистриб'юторами тощо.

Для розв'язання поставленої задачі у розглянутому методі використовуються характеристичні функції – інтенсивність різання, стійкість інструмента,  $R$ - $T$ - $F$  [38, 61]. Основною властивістю  $R$ - $T$ - $F$  є те, що функція описує всі можливі для даного процесу екстремальні комбінації параметрів  $R$  і  $T$ . Якщо вважати змінними тільки два параметри режиму різання – швидкість різання і подачу, – а глибину різання допускати заздалегідь заданою, то в цьому випадку, відповідно до розробленої методології, аналітичний вираз для  $R$ - $T$ - $F$  одержується із наступного рівняння:

$$\frac{\partial R(V,S)}{\partial V} \times \frac{\partial T(V,S)}{\partial S} \times \frac{\partial R(V,S)}{\partial S} \times \frac{\partial T(V,S)}{\partial V} = 0 \quad (3.18)$$

Аналогічним способом функція  $R-T-F$  може бути отримана не тільки для двох, а також і для більшого числа параметрів процесу різання [38].

Отримані оптимальні параметри процесу різання повинні бути перевірені на можливість їх реалізації в конкретних умовах виробництва, тобто на їх приналежність області  $D$  допустимих значень параметрів. Ця область формується комплексом технологічних обмежень, що накладаються на процес різання технічними вимогами до якості поверхні деталі, жорсткості системи ВПД, технічними можливостями верстата та інше. Наприклад, для токарного оброблення:

обмеження за потужністю верстата –  $N_p \leq N_{\text{верст}}$

обмеження за допустимою висотою мікронерівностей –  $R_z \leq R_{z\text{доп}}$

обмеження за максимальною силою подачі –  $P_x \leq P_{\text{хверст}}$

обмеження за максимальним числом обертів верстата –  $n \leq n_{\text{верст}}$

обмеження за мінімальним числом обертів верстата –  $n \geq n_{\text{верст}}$

обмеженням за максимальною подачею верстата –  $S \leq S_{\text{верст}}$

обмеження за мінімальною подачею верстата –  $S \geq S_{\text{верст}}$

Кожне із цих обмежень є функцією параметрів оптимізації, і всі разом вони утворюють область  $D$  допустимих значень умов різання [63]. Оптимальні умови різання визначаються, виходячи з можливих комбінацій між параметрами  $\bar{X}_0$ , що відповідають екстремуму критерію оптимізації і областю допустимих значень  $D$ .

Найбільш доцільний період стійкості інструменту може бути різним залежно від конкретних умов виробництва.

Стійкість і швидкість різання при максимальній продуктивності є функціями показника відносної швидкості різання і часу, необхідного для зміни інструменту. Зменшення шляхом підбору найкращого інструментального матеріалу і шляхом здійснення заходів щодо скорочення часу установки і регулювання інструменту сприяють збільшенню  $V_n$ , а отже, і гранично досяжної продуктивності верстата.



Стійкість інструменту і швидкість різання за найбільшої продуктивності забезпечують мінімальний час, що витрачається робочим (верстатником) на виконання операції. При цьому загальні витрати, пов'язані з виконанням операції, можуть бути досить значними, оскільки ще не враховуються витрати на різальний інструмент, електроенергію, додаткову заробітну плату тощо. При призначенні режиму різання треба чітко з'ясувати, чому режими максимальної продуктивності виявляються неекономічними для виробництва і що доцільно застосовувати, коли виконувана операція є вузьким місцем виробництва?.

Режими різання кожної операції повинні ґрунтуватися на умовах мінімальних витрат суспільної праці. Це відповідає мінімальній собівартості виконуваної операції.

Собівартість промислової продукції утворюється з вартостей, витрачених на виробництво продукції: сировини, матеріалів, палива, енергії, амортизаційних відрахувань, заробітної плати та інших витрат, пов'язаних з виробництвом і реалізацією продукції.

Елементи заводської собівартості можна в першому наближенні розділити на дві групи.

1. Елементи собівартості, величини яких на одиницю виробу змінюється залежно від швидкості різання і стійкості інструменту  $A_{\text{пер}}$  – основна і додаткова виробничі заробітні плати з нарахуваннями; витрати, пов'язані з роботою устаткування і з вартістю інструменту, з витратами на його експлуатацію і таке інше.

2. Елементи собівартості, величина яких не залежить від застосованих режимів різання і може бути прийнята постійною на одиницю виробу (матеріали, напівфабрикати, енергія, паливо, послуги інших організацій, витрати на охорону праці і на освоєння нових виробів, внутрішньозаводський транспорт тощо).

При розгляді питання економічної стійкості і швидкості різання, очевидно, достатньо проаналізувати першу групу елементів собівартості.

### 3.2 Визначення показників якості

При оптимізації процесу різання звертають увагу на такі його параметри: режим різання –  $V, s, t$ ; геометрію леза –  $\gamma, \alpha, \varphi, \lambda, \beta, r_B, \rho$ ; стійкість інструменту –  $T$ ; машинний час –  $\tau$ ; параметри шорсткості обробленої поверхні –  $Ra, Rz$ ; температуру різання –  $\theta$ ; коефіцієнт усадки стружки –  $K$ ; складові сили різання –  $P_x, P_y, P_z$ ; напруга –  $\sigma$ ; знос леза –  $h$ ; форму і зміни висоти наросту на вершині леза –  $h_H$ ; властивості оброблюваного й інструментального матеріалів –  $O, I$ .

Найбільший інтерес становить корисний ефект від експлуатації ЛРІ (див. рис. 3.3).

У роботі як корисний ефект від експлуатації різального інструменту розглядається:

- максимальна продуктивність;
- мінімальні витрати електроенергії;
- мінімальна собівартість.

#### 3.2.1 Продуктивність різального інструменту

Продуктивність різального інструменту можна розглядати в одиницях обробленої площі поверхні деталі за одиницю часу (хв.)  $\Pi_F$ , мм<sup>2</sup>/хв, або в одиницях об'єму зрізаної стружки в одиницю часу (хв.)  $\Pi_W$ , мм<sup>3</sup>/хв;

$$\begin{aligned} \Pi_F &= S \cdot V \cdot T; \\ \Pi_W &= t \cdot S \cdot V \cdot T' \end{aligned} \quad (3.20)$$

де  $t$  – глибина різання, мм;  
 $S$  – подача, мм/об;  
 $T$  – стійкість різального інструменту, хв;  
 $V$  – швидкість різання, м/хв.

Зворотною величиною продуктивності є змінна частина штучного часу з розрахунку на одиницю площі  $t_{u_F}$ , хв/мм<sup>2</sup> або з розрахунку на одиницю об'єму зрізаної стружки  $t_{u_W}$ , хв/мм<sup>3</sup>;

$$t_{u_F} = \frac{1}{\Pi_F} \left(1 + \frac{t_B}{T}\right). \quad (3.21)$$

$$t_{u_W} = \frac{1}{\Pi_W} \left(1 + \frac{t_B}{T}\right), \quad (3.22)$$

де  $t_B$  – комплексний показник, який визначається з наступного виразу:

$$t_B = \frac{1}{K_{сеп}} \sum_{i=1}^N t_{Bi} K_i, \quad (3.23)$$

де  $K_{сеп}$  – середнє число періодів стійкості (для твердосплавних непереточуваних пластин воно дорівнює кількості різальних кромek (граней);

$t_{Bi}$  – час зміни, переустановлення та інше;

$K_i$  – число переустановлень.

Отже, максимальна продуктивність дорівнює мінімальному штучному часу.

Під час різання зі змінною за часом різання подачею та глибиною різання  $t = const$  – площа оброблювальної поверхні в м<sup>2</sup>:

$$\Pi_F = 10^{-3} vTS. \quad (3.24)$$

### 3.2.2 Мінімальні витрати електроенергії під час механічного оброблення поверхні

Визначаються за таким виразом:

$$N_e = M_H \cdot K_{инм} \cdot \frac{L \cdot \pi \cdot d}{S \cdot 1000 \cdot v} \cdot i, \quad (3.25)$$

де  $N_e$  – норма споживання електроенергії, кВт;  
 $M_H$  – номінальна потужність устаткування, кВт;  
 $K_{инм}$  – коефіцієнт використання номінальної потужності устаткування;  
 $L$  – довжина обробки, мм;  
 $S$  – подача різання, мм/об;  
 $v$  – швидкість різання, мм/хв.

### 3.2.3 Мінімальна собівартість оброблення

Як мінімальну собівартість оброблення запропоновано використовувати змінну частину технологічної собівартості  $C$ , що залежить від налагодження і режиму різання при роботі одним інструментом, що визначається за виразами (3.3 – 3.6).

### 3.2.4 Стійкість інструменту

Як зазначалося вище, під час оцінювання якості ЛРІ в процесі їх експлуатації особливу увагу необхідно акцентувати на показниках надійності, зокрема на стійкості ЛРІ, яка залежно від групи призначення різального інструменту може бути нормована відповідно до таблиці.

З вищевикладеного виходить, що разом із загальноприйнятим показником безвідмовності різального інструменту – середнім періодом стійкості – для забезпечення надійності технологічної системи необхідно розглядати такий показник, як робоча стійкість ЛРІ, що розраховується за наступним виразом [12]:

$$T = \left[ \frac{C_v}{vt^x S^y (HB / 200)^z} \right]. \quad (3.26)$$

### 3.3 Розв'язання задачі вибору цільової функції оптимізації

#### 3.3.1 Комплексний показник якості ЛРІ

Для серійного виробництва, як показано вище, характерна багатоваріантність критеріїв оптимальності. Питання вибору критерію оптимальності неоднозначне. Складність полягає в тому, що критерії часто не можна порівняти між собою – показники, що оптимізуються, виражаються в різній формі: економічні витрати, час, ризик тощо. Окрім цього, існує недостатня інформація про конкретну ситуацію. Вибирати критерій оптимальності і призначати режими обробки доводиться в умовах невизначеності.

На практиці особа, що ухвалює рішення (технолог, оператор верстата, робітник) робить свій вибір на основі особистого досвіду. На сьогодні на вітчизняних підприємствах бракує кваліфікованих фахівців здатних ухвалювати подібні рішення.

Одним із можливих шляхів для подолання таких труднощів є використання експертних систем. Для вирішення завдання вибору критерію оптимальності в роботі [38] пропонується використовувати байесівську схему логічного висновку. Подібні схеми (з різними модифікаціями) знайшли застосування в сучасних експертних системах, що використовують теорію вірогідності.

Ураховуючи зміни, що відбуваються останнім часом у світовій економіці, вимагають від вітчизняних машинобудівних підприємств принципово нових підходів до підвищення конкурентоспроможності продукції, що випускається. Стає закономірним, що замовник орієнтує виробника на короткостроковий випуск виробів необхідними йому партіями з високим рівнем якості при відносно невисокій вартості. Виробництво і продукція орієнтовані на індивідуальні проекти замовника.

Сучасний підхід до розв'язання задачі вибору оптимальних умов різання ґрунтується на використанні методів математичного програмування. Відповідно до цього підходу постановка задачі оптимізації режимів різання полягає в тому, що за цими вимогами до виготовленої деталі і відомими параметрами системи ВПД

необхідно знайти параметри процесу різання, що забезпечують екстремальні значення критеріїв оптимальності технологічного процесу, зокрема:  $C^{\min} \rightarrow \min$  – технологічна собівартість, грн;  $P_F \rightarrow \max$  – продуктивність різального інструменту, мм<sup>2</sup>/хв;  $T \rightarrow \max$  – період стійкості, хв;  $H_e \rightarrow \min$  – витрати електроенергії, кВт/год. Це призводить до ситуаційного управління якістю експлуатації РІ.

У роботі запропоновано комплексний показник якості ЛРІ, що визначається за формулою:

$$Q^{LPI} = \sum_{i=1}^N B_i \cdot Q_i, \quad (3.27)$$

де  $Q_i$  – відносний показник якості ЛРІ, що характеризує відношення екстремального значення критерію оптимальності технологічного процесу до базового значення;

$B_i$  – значення коефіцієнта вагомості критеріїв оптимальності технологічного процесу.

Запропоновано в якості базового показника критерію оптимальності технологічного процесу визначати ЛРІ, що мають мінімальне значення технологічної собівартості або ті, що вже використовувалися на підприємствах з визначеними для відповідних матеріалів режимами обробки. Значення коефіцієнта вагомості критеріїв оптимальності технологічного процесу визначається за допомогою експертного методу – ранжування для кожного окремого підприємства на певний період часу та залежить від вибраного стратегічного напрямку його розвитку.

Визначення цільових функцій оптимізації технологічного процесу пропонується виконувати за двома складовими: змінною та постійною частинами, що, відповідно, залежить та не залежить від режимів різання. Ураховуючи, що під час оцінювання ЛРІ для всіх об'єктів оцінювання величини  $T^{cut} = const$  (стійкість,

хв);  $t^{cut} = const$  (глибина різання, мм);  $D = const$  (діаметр заготовки, мм);  $L = const$  (розрахункова довжина робочого ходу в напрямку руху подачі, мм), математична модель ситуаційного управління технологічним процесом набуде вигляду:

$$\begin{aligned} C^{\min} &= C^{\text{const}} / A^{\text{var}}; \\ P_F &= 10^{-3} T^{\text{cut}} \cdot A^{\text{var}}; \\ H_e &= H_e^{\text{const}} / A^{\text{var}} \end{aligned} \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned} C^{\text{const}} &= [(\pi \cdot D \cdot l) / 1000] \times (1 / T^{\text{cut}}) \times \\ &\times [T^{\text{cut}} \cdot (E_{\text{mach}} + E_{\text{oper}}) + T_{\text{sub}} \cdot (1 + E_{\text{oper}}) + K_{\text{loss}} \cdot (C_t - C_w) / (j_r + 1)]; \\ H_e^{\text{const}} &= M_H \cdot K_{pt} \cdot C^{en} \cdot l \cdot \pi \cdot D / 1000; \\ A^{\text{var}} &= V^{\text{cut}} \cdot S^{\text{cut}} \end{aligned} \quad (3.29)$$

де  $T_o$  – основний технологічний час, хв.;

$E_{\text{mach}}, E_{\text{oper}}$  – собівартість однієї хвилини роботи верстата та робітника-верстатника, відповідно, грн;

$T_{\text{sub}}$  – час простою верстата у зв'язку із заміною інструмента, хв;

$C_i$  – витрати в грн, пов'язані з експлуатацією інструмента за його період стійкості  $T^{cut}$ , хв;

$K_{\text{loss}}$  – коефіцієнт, що враховує випадкову втрату інструмента (для ЗНП);

$C_t, C_w$  – початкова вартість інструмента та вартість відходів інструмента, грн;

$j_r$  – кількість робочих граней (вершин, кромки) ЗНП.

Математичне формулювання задачі з визначенням екстремальних значень критеріїв оптимальності технологічного процесу має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} C^{\min} = f(t^{\text{cut}}; S^{\text{cut}}; V^{\text{cut}}) \rightarrow \min \\ \Pi_F = f(t^{\text{cut}}; S^{\text{cut}}; V^{\text{cut}}; T^{\text{cut}}) \rightarrow \max \\ H_e = f(t^{\text{cut}}; S^{\text{cut}}; V^{\text{cut}}) \rightarrow \min \\ T^{\text{cut}} = f(t^{\text{cut}}; S^{\text{cut}}; V^{\text{cut}}; \rho; H_{\text{excr}}) \geq T_{\text{ac}}^{\text{cut}} \\ R_a = 0, 2 \cdot R_z = f(S^{\text{cut}}; \varphi; \varphi_1) \leq R_a^{\text{ac}} \end{array} \right. , \quad (3.30)$$

де  $T^{\text{cut}}$  – характеризує комплекс властивостей, пов'язаних з показниками надійності і довговічності;  $R_z$  – висота мікронерівностей на обробленій поверхні після механічної обробки (мкм).

### 3.3.2 Методика визначення коефіцієнтів вагомості критеріїв оптимальності технологічного процесу

#### Експертне опитування

Основні операції процесу експертного опитування при оцінюванні показників якості такі:

- 1 Узгодження показників.
- 2 Визначення обмеженого (необмеженого) переліку показників якості продукції.
- 3 Здійснення експертного опитування.
- 4 Обробка даних експертного опитування.
- 5 Аналіз результатів експертного опитування.

Якщо експертне опитування здійснюють щодо обмеженого переліку показників якості, кожний експерт призначає рангові оцінки значущості показників якості згідно з переліком.

Якщо експертне опитування здійснюють за умови, коли перелік показників якості не обмежують, кожний експерт пропонує свій перелік показників якості продукції та ранги, що їм відповідають.

Якщо експерти здійснюють рангове оцінювання обмеженого переліку показників якості, то найважливіший показник якості позначають рангом  $R=1$ , а найменш значущий – рангом  $R=n$ . Якщо експерт вважає декілька показників



рівнозначними, то їм призначають однакові ранги. Наприклад, якщо показник, на думку експерта, розміщений на четвертому, п'ятому і шостому місцях, то кожному з них призначають ранг  $(4+5+6)/3=5$ . Сума рангів показників якості постійна і дорівнює:

$$\sum_{i=1}^n R_i = \frac{1}{2} \cdot n \cdot (n+1). \quad (3.31)$$

Приклад такої оцінки показників якості наведено в табл. 3.1.

У випадку експертного оцінювання необмеженого переліку показників якості вважають, що показники якості, яким експерт не призначив оцінки, мають однаковий найнижчий ранг. Тоді при одній відсутній оцінці їй призначають ранг  $R=n$ , при двох –  $R=(n-1/2)$ , при трьох –  $R=(n-1)$ , при чотирьох –  $R=(n-3/2)$  та інше. Приклад такої оцінки показників якості наведено в табл. 3.2.

Приклад рангових оцінок показників якості з урахуванням оцінок, які не призначені експертами, наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.1 – Рангові оцінки показників якості (приклад обмеженого переліку показників якості)

Експерт	Показник якості $Q_i$								$\sum_{i=1}^n Q_i$	$T_j$
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$	$Q_8$		

Таблиця 3.2 – Рангові оцінки показників якості (приклад необмеженого переліку показників якості)

Експерт	Показник якості $Q_i$										$\sum_{i=1}^n Q_i$	$T_j$
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$	$Q_8$	$Q_9$	$Q_{10}$		
1												

Таблиця 3.3 – Рангові оцінки показників якості з урахуванням оцінок, які не

призначені експертами

Експерт	Показник якості $Q_i$										$\sum_{i=1}^n Q_i$	$T_j$
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$	$Q_8$	$Q_9$	$Q_{10}$		

Обробка даних експертного опитування

Обробка даних експертного опитування полягає у визначенні узгодженості думок експертів і підрахунку зведених характеристик опитування щодо кожного показника. Порядок обробки даних такий.

6 Розрахунок коефіцієнта узгодженості думок експертів.

7 Визначення статистичної значущості узгодженості думок експертів.

Оцінкою коефіцієнта узгодженості думок експертів є коефіцієнт конкордації Кендела

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (3.32)$$

де  $m$  – кількість експертів;

$S_i$  – сума рангових оцінок експертів згідно з кожним показником;

$\bar{S}$  – середня сума рангів усіх показників;

$T_j$  – показник однаковості.

Коефіцієнт конкордації Кендела набуває значень в інтервалі  $0 \leq W \leq 1$ .

Сума рангових оцінок експертів згідно з кожним показником

$$S_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad (3.33)$$

Середня сума рангів усіх показників

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n R_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = \frac{1}{2} m(n+1). \quad (3.34)$$

Показник однаковості

$$T_j = \sum_{j=1}^u (t_j^3 - t_j), \quad (3.35)$$

де  $t_j$  – кількість оцінок з однаковим рангом  $j$ -го експерта;

$u$  – кількість груп рангів з однаковими оцінками  $j$ -го експерта.

Узгодженість думок експертів вважають прийнятною, якщо значення коефіцієнта конкордації  $W \geq 0,6$ . Значущість коефіцієнта конкордації  $W$  оцінюють за критерієм  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = Wm(n-1). \quad (3.36)$$

Коефіцієнт конкордації  $W$  – статистично значущий, якщо

$$\chi^2 > \chi_{(1-\alpha);f}^2,$$

де  $f$  – число ступенів вільності,  $f = (n-1)$ ;

$\alpha$  – рівень значущості.

Зазвичай приймають рівень значущості  $\alpha = 0,05$ . Тоді довірна імовірність  $P = (1-\alpha) = 0,95$ .

Значення критерію  $\chi_{0,95;f}^2$  наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Значення критерію  $\chi^2_{0,95;f}$ 

$f$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\chi^2_{0,95;f}$	3,84	5,99	7,82	9,49	11,07	12,59	14,07	15,51	16,92	18,31	19,68

Аналіз результатів експертного опитування

Аналіз результатів експертного опитування передбачає:

8 Розрахунок коефіцієнтів вагомості показників якості.

9 Вибір визначальних показників якості.

10Визначення показника якості складу експертної групи.

11Визначення ступеня узгодженості думок експертів відносно окремих показників якості продукції.

Коефіцієнт вагомості кожного показника якості

$$g_i = 2 \frac{mn - S_i}{mn(n-1)}. \quad (3.37)$$

Істотно значущими вважають показники, для яких є правильною нерівність  $g_i > 1/n$ . Саме ці показники є визначальними показниками якості продукції.

Підвищення узгодженості думок експертів при  $W < 0,6$  досягають за рахунок проведення повторних турів опитування експертів або шляхом усування експертів, думки яких не узгоджуються з думками інших експертів. При проведенні повторного туру опитування експертів знайомлять з результатами попереднього туру. Подальше опрацювання результатів опитування експертів здійснюють відповідно до розглянутої методики.

Усувають тих експертів, результати оцінки якості яких різко відрізняються від оцінок інших експертів або шляхом перегляду результатів таблиці експертного опитування, або з використанням інших методик, наприклад, за умови підрахунку

коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена між оцінками окремих експертів  $R_{ij}$  і середніми оцінками інших експертів  $\bar{R}_{(i)}$ .

Коефіцієнт рангової кореляції

$$r_j = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_{(i)})^2}{n(n^2 - 1)}. \quad (3.38)$$

При  $r_j \leq 0,5$  можна вважати, що оцінки певного експерта не корелюють із загальними оцінками і такого експерта усувають.

Узгодженість думок експертів з окремих показників оцінюють за коефіцієнтом варіації

$$C_{Ri} = \frac{\sigma_{Ri}}{\bar{R}_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.39)$$

де  $\sigma_{Ri}$  – середнє квадратичне відхилення рангових оцінок  $i$ -го показника;

$\bar{R}_i$  – середня рангова оцінка  $i$ -го показника.

Середнє квадратичне відхилення рангових оцінок експертів для визначеного показника

$$\sigma_{Ri} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_i)^2} \quad (3.40)$$

Чим менше значення коефіцієнта варіації  $C_{Ri}$ , тим вища узгодженість думок експертів щодо окремих показників. Оцінки узгодженості думок експертів такі:

- $C_{Ri} < 0,10$  – узгодженість висока;
- $C_{Ri} = 0,10 \dots 0,15$  – узгодженість вища за середню;

- $C_{Ri} = 0,16 \dots 0,25$  – узгодженість середня;
- $C_{Ri} = 0,26 \dots 0,35$  – узгодженість нижча за середню;
- $C_{Ri} > 0,35$  – узгодженість низька.

Отже, запропонована методика визначення параметрів вагомості показників якості ЛРІ задовольняє обов'язковій умові  $\gamma_i > 0$ , порушення якої (під час обертання  $\gamma_i = 0$ ) призводить до усунення можливості обліку числового значення відповідного показника якості ЛРІ, оскільки  $p_i$  в степені 0 завжди дорівнює 1.

### 3.4 Система факторів для оцінювання якості покупних різальних інструментів

Якість інструментальної підготовки машинобудівного підприємства в умовах закупівлі металорізального інструменту залежить від численних факторів, між якими існує відношення типу «причина – наслідок (результат)». Структури або характер цих багатофакторних відносин можливо визначити завдяки систематичним спостереженням. Для цього в роботі пропонується застосувати один із «семи простих статистичних інструментів якості» – причинно-наслідкову діаграму.

Згідно з прийнятою структурою розроблена система факторів, що впливають на якість інструментальної підготовки машинобудівного підприємства в умовах закупівлі металорізального інструменту.

У розробленій системі (рис. 3.4) запропоновано перший рівень градації зазначених факторів (основні гілки діаграми) поділити на чотири рівні (групи факторів), причому одну групу (*економічні фактори*) пропонується використовувати як критерії оптимізації робіт з інструментальної підготовки машинобудівного підприємства, а три (*технічні характеристики виробництва, технічне завдання, якість інструменту*) можуть виступати як обмежувальні фактори.

*Технічні характеристики виробництва* – є лімітуючими (обмежувальними) факторами, пов'язаними з можливостями конкретного машинобудівного

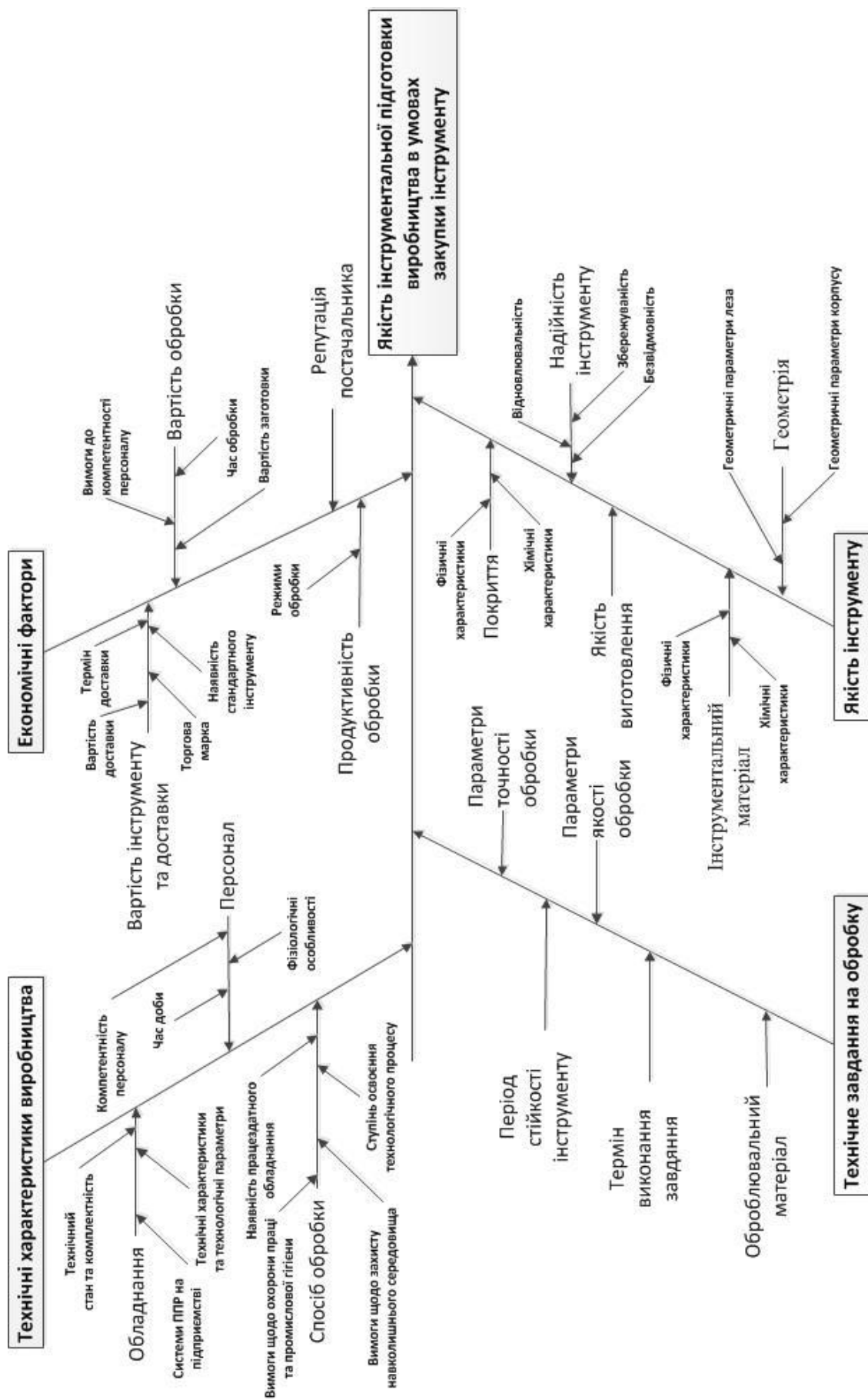


Рисунок 3.4 – Система факторів, що впливають на якість інструментальної підготовки машинобудівного підприємства в умовах закупівлі металорізального інструменту

підприємства, що купує металорізальний інструмент (технічні характеристики наявного на підприємстві обладнання, зокрема його стан; ступінь освоєння технології та способи обробки, що використовуються на підприємстві; компетентність персоналу підприємства тощо).

*Технічне завдання* – характеризують вхідні данні для конкретного технічного завдання, яке необхідно реалізувати при інструментальній підготовці виробництва (вид оброблювального матеріалу, вимоги до точності й якості виробу, стійкості інструменту тощо).

*Якість інструменту* – характеризують показники, що зумовлюють якість інструменту, який застосовується для вирішення конкретного завдання, що повинна реалізувати інструментальна підготовка виробництва (надійність інструменту, конструктивні та геометричні (геометрія леза) параметри інструменту, умови його експлуатації тощо).

*Економічні фактори* – фактори, що зумовлюють витрати на інструментальну підготовку виробництва при вирішенні конкретного технічного завдання (бажані вартості інструменту та його доставки, вартість обробки, пріоритети підприємства щодо призначення раціональних режимів обробки тощо).

Проаналізувавши систему факторів, що впливають на якість інструментальної підготовки машинобудівного підприємства в умовах закупівлі металорізального інструменту, було встановлено, що одним з найвагоміших є фактор, пов'язаний з технічним завданням на обробку, а саме період

стійкості інструменту, що визначальною мірою залежить від трибологічних властивостей взаємодії інструментального та оброблювального матеріалів.

У цій роботі запропонована блок-схема проведення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різальних інструментів (рис. 3.5). Результатом цього методу є імітаційна модель процесу різання, що враховує трибологічну взаємодію інструментального та оброблюваного матеріалів та радіус округлення леза різального інструменту.



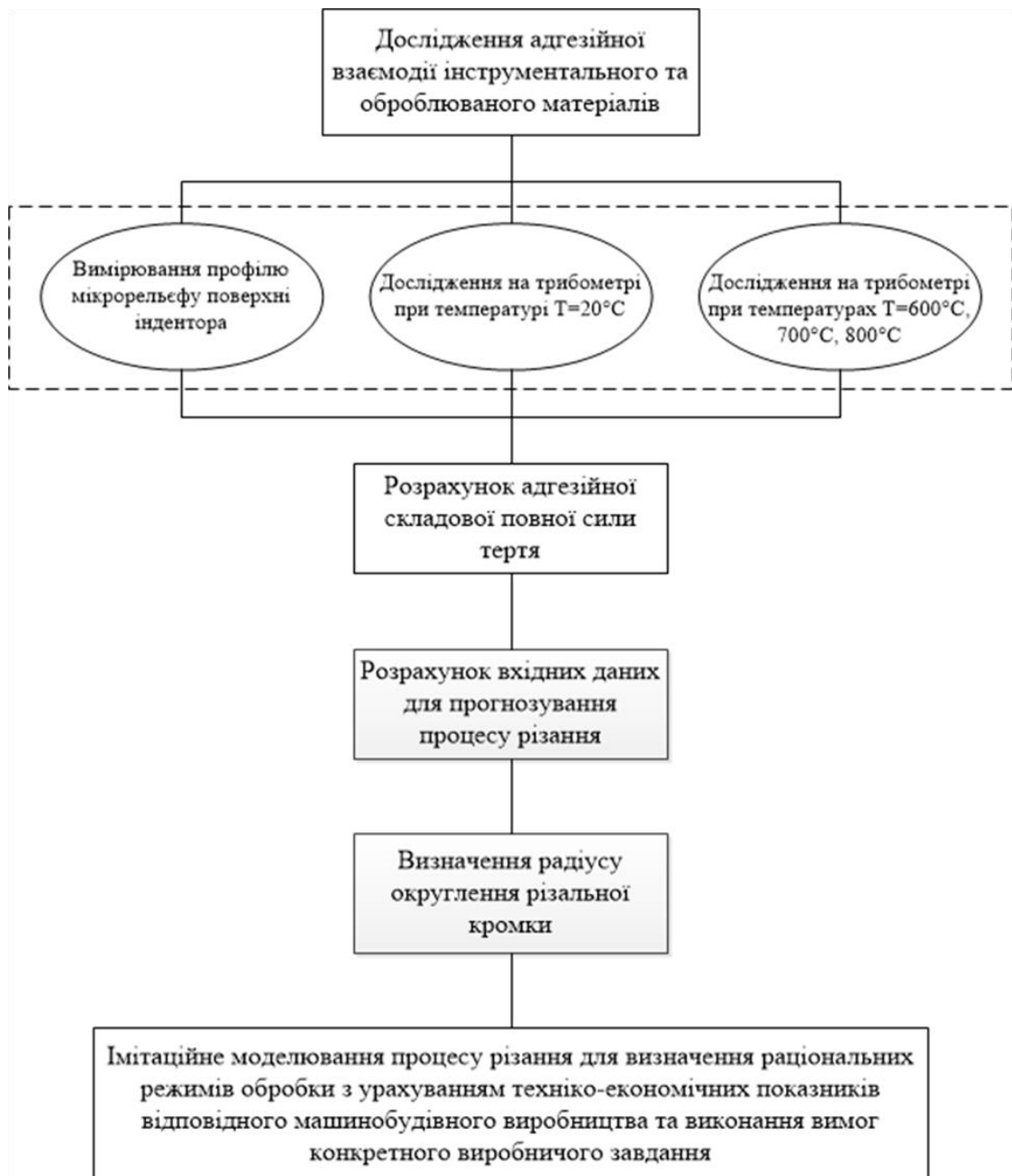


Рисунок 3.5 – Загальна блок-схема проведення експрес-оцінювання якості різального інструменту

### 3.5 Визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням

#### 3.5.1 Дослідження питання трибологічної взаємодії в процесі обробки матеріалів різанням

Загальні уявлення про механіку стружкоутворення при різанні металів можна коротко охарактеризувати схемою, наведеною на рисунку 3.6. Відомо [64], що

процес перетворення зрізаного шару в стружку в загальному випадку являє собою процес спрямованого руйнування матеріалу заготовки лезом шляхом створення напружено-деформованого стану в зрізаному шарі і заготовці, що супроводжується пружними і пластичними деформаціями, утворення тріщин і подальшого руйнування, яке залежно від стану матеріалу за умов обробки може бути або в'язким, або крихким [65]. При цьому лезо безпосередньо контактує зі зрізаним шаром, стружкою і заготовкою, що призводить до виникнення контактних процесів на його поверхнях, а на ділянці, розташованій біля різальної кромки, формування застійної зони, яка за певних умов може перетворитися в наріст.

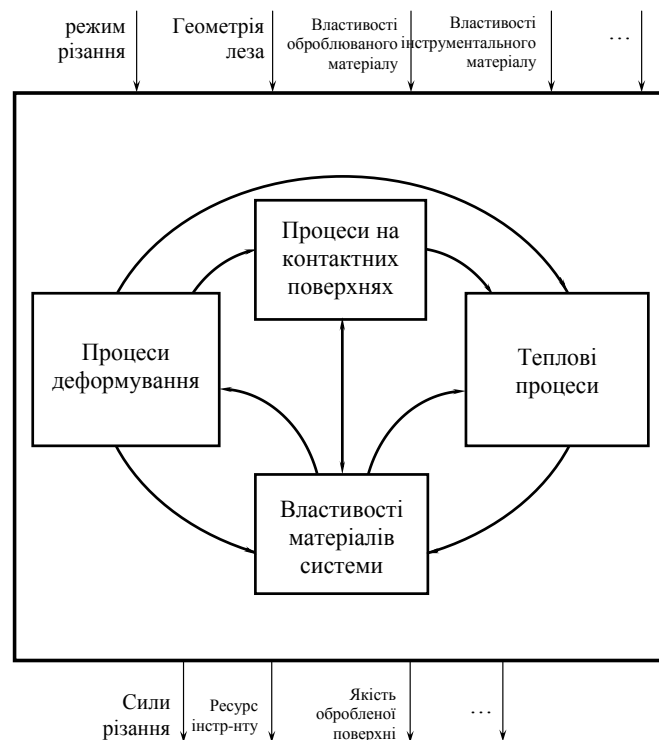


Рисунок 3.6 – Прийнята фізична модель процесів в зоні стружкоутворення

У системі різання за описаних вище процесів відбувається робота, що витрачається на деформування і руйнування матеріалу зрізаного шару при перетворенні його на стружку, і робота переважно пов'язана з тертям на контактних поверхнях [66, 67, 68]. Згідно з першим законом термодинаміки, уся робота сил різання  $A_p$  витрачається на збереження енергії пружної деформації  $\Delta U$  (у прирізцевих шарах стружки, поверхневому шарі заготовки, контактних шарах

інструменту) і виділення теплоти в системі  $Q$  [69], що приводить до процесів поширення теплоти в системі різання і підпорядковується рівнянню теплопровідності і теплового балансу [70]. Згідно з дослідженнями Г. І. Іванова та П. А. Ребіндера, частка поглиненої енергії пружної деформації  $\Delta U$  в процесі різання при традиційно застосовуваних швидкостях становить 3%, а решта переходить в теплоту, яка виділяється в основному в зонах А, Б, В (рис. 3.7), а також по поверхнях контакту інструмента із заготовкою та стружкою.

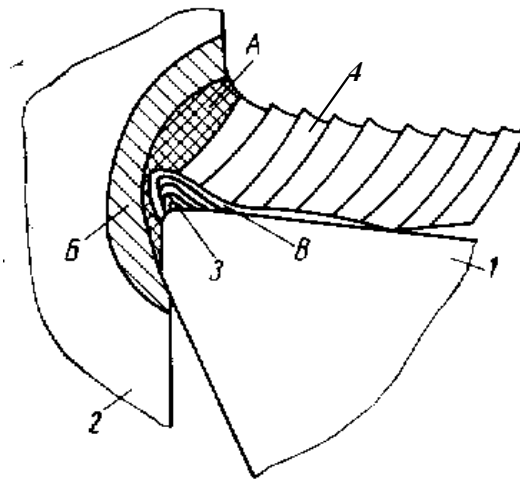


Рисунок 3.7 – Схема зони стружкоутворення при різанні матеріалів:  
1 – інструмент; 2 – заготовка; 3 – нарїст; 4 – стружка

Навіть найгладкіші металеві поверхні в субмікроскопічному масштабі є шорсткими і при зіткненні контактують своїми виступаючими ділянками. На цих ділянках локальні тиски стають достатніми для забезпечення пластичної деформації. Унаслідок цієї пластичної деформації оголюються нові поверхні, метали безпосередньо контактують хімічно чистими поверхнями і між ними встановлюються адгезійні зв'язки.

Авторадіофотограми відносно нерухомих поверхонь під навантаженням, спрямованим нормально до площини розділу, показують, що в тому випадку, коли металеві поверхні притуляються одна до одної, за певних умов можуть утворюватися містки зв'язків (схоплювання, адгезія) (рис. 3.8), які складаються з контактуючих матеріалів (нова формація). При роз'єднанні поверхонь ці містки

зв'язків можуть руйнуватися або безпосередньо по новій формації, або з відділенням її з якоїсь із контактуючих поверхонь (рис. 3.8). Отже, руйнування містків адгезійних зв'язків може супроводжуватися перенесенням з однієї поверхні на іншу металевих частин, величини яких значно більші порівняно з розмірами атомів. Подібні експерименти свідчать про те, що на ділянці контакту завжди утворюються адгезійні зв'язки, які розриваються при поділі поверхонь. Для виникнення адгезії ("містків" міцних металевих зв'язків) необхідне, по-перше, достатнє зближення поверхонь, щоб почали діяти атомні і молекулярні сили, і, по-друге, щоб шляхом пластичної деформації була вилучена поверхнева плівка, яка складається з оксидів і зміцненого (наклепаного) металу, і внаслідок цього мав місце контакт двох чистих металів, тобто без наявності будь-якого третього (твердого, рідкого або газоподібного) середовища. Відомо, що адгезія є результатом утворення інтерметалічних зв'язків між контактуючими тілами і залежить від їх здатності створювати між собою хімічні сполуки і тверді розчини. Чим більша спорідненість (за хімічним складом) контактуючих матеріалів, тим (за інших рівних умов) ймовірність адгезії вища. Очевидно, що зі збільшенням тиску і, у певних межах, температури в зоні контакту (розм'якшення) зростає як ймовірність утворення містків схоплювання, так і ступінь їх утримання на контактуючих поверхнях (див. рис. 3.8). Для оцінювання деформаційних і адгезійних процесів, що супроводжують фрикційну взаємодію поверхонь, що переміщуються відносно одна одної в умовах високих тисків і температур, характерних для процесів різання, розглянемо ті ділянки передньої поверхні, де реалізуються умови тертя спокою, тобто утворюється застійна зона (див. рис. 3.8). На цій ділянці можливі переміщення в застійній зоні характеризуються внутрішнім тертям (адгезійна складова коефіцієнта тертя), а контакт стружки, що переміщується по частині застійного шару і передній поверхні, характеризується зовнішнім тертям (див. рис. 3.8), тобто деформаційною складовою коефіцієнта тертя. Співвідношення між цими складовими коефіцієнта тертя значною мірою визначає напружений стан системи різання, сили і температуру різання, зношування леза та ін. Водночас, потрібно зазначити, що загальноприйнятим

вважається, по-перше, те, що частка деформаційної складової в середньому коефіцієнті тертя, як правило, незначна, не перевищує 10-15 %, і нею можна знехтувати, і, по-друге, розділити експериментальним шляхом ці складові неможливо. Для експериментального визначення складових коефіцієнта тертя найбільшого застосування набули схеми, запропоновані Л. Ш. Шустером і Ю. М. Внуковим.

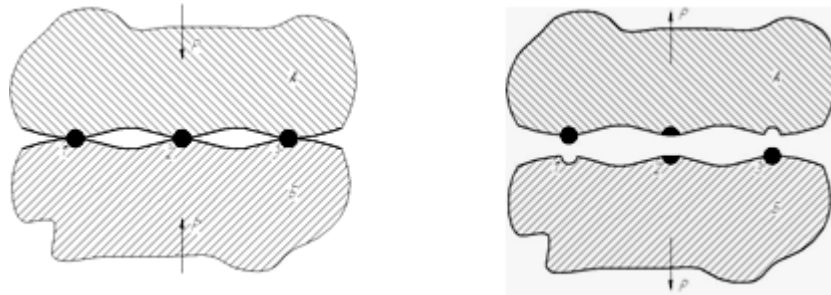


Рисунок 3.8 – Схема утворення та руйнування адгезійних містків зв'язків

За схемою, запропонованою Л. Ш. Шустером (рис. 3.9, а), адгезійна складова відсутня, оскільки тиск менший критичного, при якому утворюються містки адгезійних зв'язків, і площа адгезійного контакту  $F_a$  практично близька до нуля. З рисунка 2.8 видно, що на початку шляху площа контакту  $F$  дещо зростає за рахунок зменшення висоти мікронерівностей і при «вирівнюванні» мікропрофілю контактуючих поверхонь за рахунок як зменшення висоти мікронерівностей поверхні зразка, який виготовлений з оброблюваного матеріалу і має меншу твердість, так і «заповнення» цим матеріалом мікрозападин на поверхні індентора, виготовленого з матеріалу інструмента, вона стабілізується. Отже, за допомогою схеми, запропонованої Л. Ш.Шустером, можна визначити тільки молекулярну і деформаційну складові коефіцієнта тертя, оскільки при такій схемі навантаження внутрішнє тертя відсутнє.

За схемою, запропонованою Ю. М. Внуковим (рис. 3.9, б), тиск на зразок з оброблюваного матеріалу і індентор (з матеріалу інструменту) перевищує критичне значення  $P_{кр}$ , що дозволяє досягти виникнення великої кількості містків адгезійних зв'язків. Тому при  $P > P_{кр}$  після «вирівнювання» мікропрофілю контактуючих

поверхонь, площа контакту зростає за рахунок адгезійних зв'язків і досягає значення  $F_a = F_{кр}$ , тобто за практичної відсутності ділянок із зовнішнім тертям. Отже, між поверхнями зразка та індентора виникає «прошарок», який отримав назву застійної зони, у якій можливі переміщення з коефіцієнтом внутрішнього тертя (адгезійна складова).

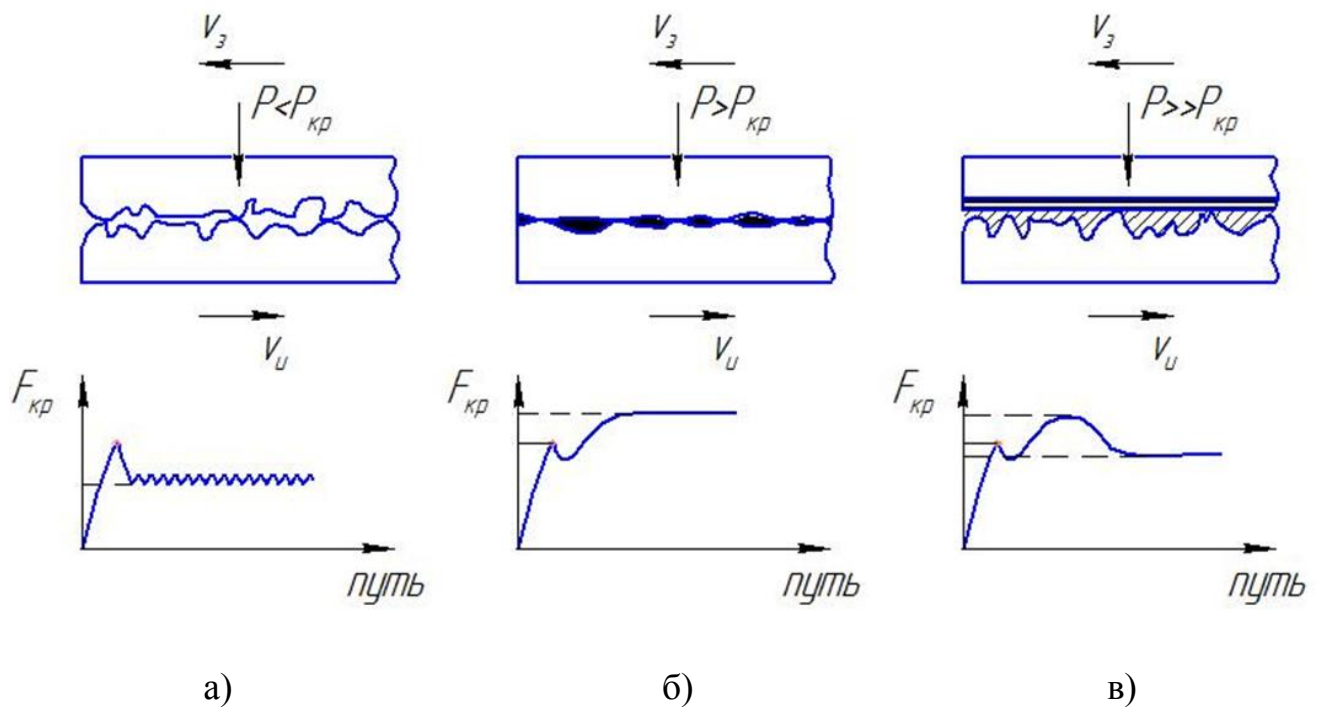


Рисунок 3.9 – Формування контактної зони в умовах адгезії: а) за Л. Ш. Шустером; б) за Ю. М. Внуковим; в) за Д. В. Криворучко

За схемою ж, запропонованою в Сумському державному університеті Д. В. Криворучком, тиск між індентором і зразком значно перевищує критичний тиск  $P \gg P_{кр}$ . Особливість такої схеми навантаження полягає в тому, що за рахунок великих тисків застійна зона з досить великою міцністю «прикріплюється» як до поверхні зразка, так і до поверхні індентора, особливо за наявності мікрощапин на ній, заповнених матеріалом зразка. Якщо міцність цих зв'язків вища міцності матеріалу застійної зони, то при відносному переміщенні зразка та індентора руйнування відбувається по застійній зоні, внаслідок чого площа адгезійного контакту з внутрішнім тертям (адгезійна складова) зменшується

(рис. 3.9, в), а частка ділянок, на яких має місце зовнішнє тертя (деформаційна складова), зростає.

### 3.5.2 Методика дослідження трибологічної взаємодії інструментального та конструкційного матеріалів

Основною проблемою відомих способів вимірювання адгезійної складової є неможливість стабілізації мікрорельєфу поверхні контртіла (менш міцного тіла) зі збереженням режиму зовнішнього тертя. Для дослідження причин цього явища виконано моделювання ковзання гладкого контртіла відносно шорсткого індентора за схемою м'якого навантаження (навантаження силою постійної величини).

Динаміка контактної взаємодії продемонстрована на рисунку 3.10. Після впровадження індентора з силою  $P$  відбувається відносне ковзання двох тіл. Нерівності, «занурені» в поверхню контртіла, призводять до її деформації і зміцнення. Зі збільшенням відносного зсуву відбувається руйнування поверхні контртіла за рахунок видалення деформованих частинок його матеріалу з поверхні і збільшення фактичної площі контакту. Під дією постійної за величиною нормальної сили процес впровадження нерівностей в контртіло повторюється, хоча і на меншу глибину. З кожним циклом фактична площа контакту збільшується, пластична деформація поверхні збільшується. Весь процес супроводжується руйнуванням поверхні. У певний момент часу досягається рівновага, яка характеризується стабілізацією фактичної площі контакту, але постійним руйнуванням поверхні контртіла – внутрішнім тертям. Отже, при реалізації м'якої схеми навантаження фактично неможливо забезпечити стабілізацію фактичної

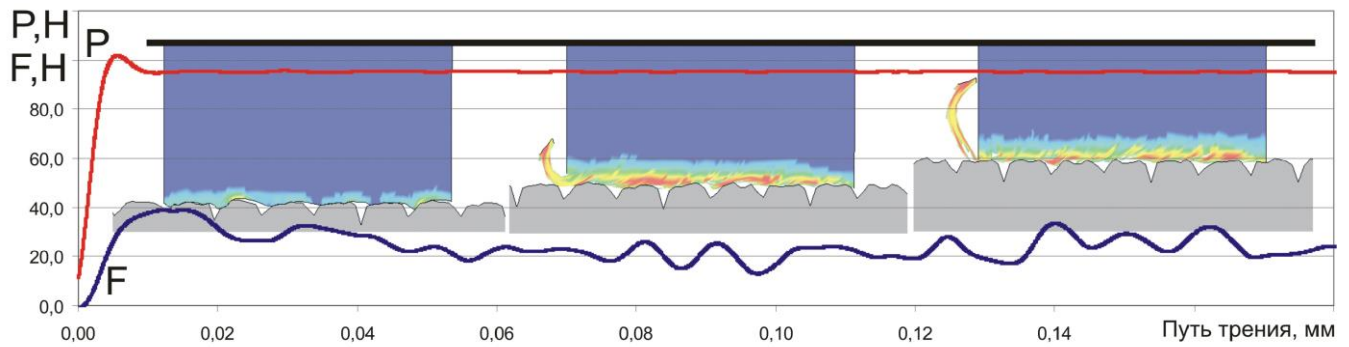


Рисунок 3.10 – Зміна поверхні контакту в процесі відносного ковзання індентора по контртілу за м'якої схеми навантаження (розподіл пластичних деформацій: синій колір – 0; червоний колір – 2.0)

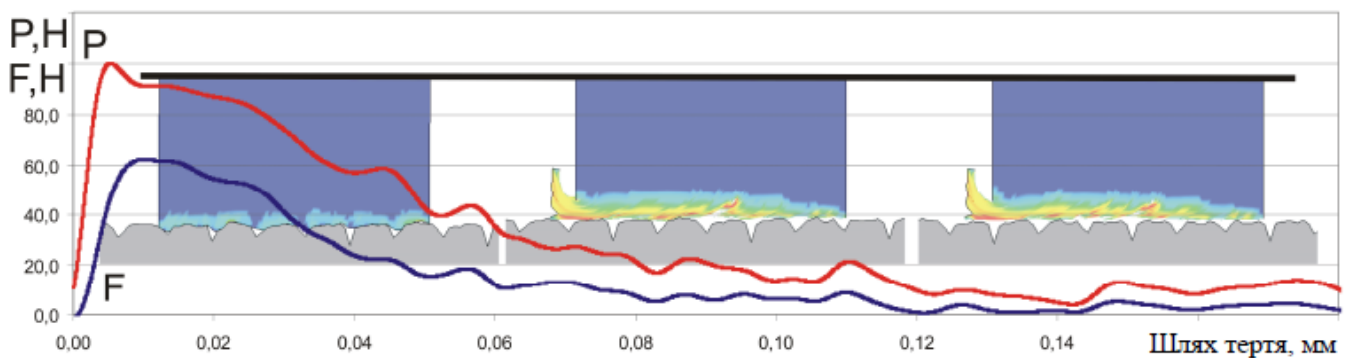


Рисунок 3.11 – Зміна поверхні контакту в процесі відносного ковзання індентора по контртілу за жорсткої схеми навантаження (розподіл пластичних деформацій: синій колір – 0; червоний колір – 2.0)

площі контакту за відсутності руйнування поверхні контртіла (внутрішнього тертя), яке істотно знижує точність ідентифікації адгезійної складової сили тертя ковзання.

Для розв'язання цієї проблеми запропоновано використовувати жорстку схему навантаження поверхні контакту переміщенням індентора з одночасним контролем нормальної сили і моменту тертя. Проведене моделювання динаміки контактної взаємодії тіл показало (рис. 3.10), що після проникнення індентора в поверхню контртіла на глибину, яка забезпечує задану нормальну силу, і початку ковзання, також як і за м'якої схеми навантаження, у перші моменти часу відбувається пластична деформація поверхневих шарів контртіла з подальшим їх



руйнуванням. Однак за жорсткого навантаження відносно положення індентора і контртіла по нормалі один до одного залишаються незмінними і визначаються початковим впровадженням. Тому подальшого впровадження нерівностей індентора у вже укріплену поверхню контртіла на глибину, здатну спричинити руйнування поверхні, не виникає і спостерігається ковзання з незмінною фактичною площею контакту, нормальною силою і силою тертя. Цей стан триває до втрати поверхнею контртіла здатності чинити опір руйнуванню через накопичення руйнувань. Видима стабілізація дає можливість визначити всі необхідні параметри для ідентифікації адгезійної складової.

Запропоновано такий алгоритм (рис. 3.11): а) за нормальної температури проводяться випробування на адгезіометрі, який реалізує тертя сферичного індентора з інструментального матеріалу відносно зразка з оброблюваного матеріалу при різних тисках в умовах жорсткого навантаження; б) визначається середня дотична напруга опору ковзанню; в) за відомими параметрами  $R_p$ ,  $t_m$  мікрорельєфу індентора розраховується  $\mu_d$  для прийнятих умов випробувань; г) визначаються  $\tau_0$ ,  $\beta_0$  шляхом вирахування деформаційної складової дотичного напруження та екстраполяції отриманих залежностей на нульовий тиск і їх апроксимації рівнянням:

$$\tau_i = \tau_a + \tau_d, \tau_d = \mu_d \cdot \sigma_n, \tau_a = \tau_0 + (\beta_0 - k_b \cdot \max(0; T - T_k)) \cdot \sigma_{nr}, \quad (3.41)$$

за умови  $T < T_k$ ; д) проводять випробування на адгезіометрі при температурах  $T = 600^\circ \text{C}$ ,  $700^\circ \text{C}$  і  $800^\circ \text{C}$  за одного тиску і розраховують константи  $k_b$ ,  $T_k$ , апроксимуючи отриману залежність рівнянням (3.40).

Опираючись на досвід Л. Ш. Шустера, у роботі не виконували випробування при підвищених температурах для випадків, коли температура контактної взаємодії очікувалася менше ніж  $700^\circ \text{C}$ . У першому наближенні константи  $k_b$  і  $T_k$  можуть бути визначені за формулою  $T_k \approx 700^\circ \text{C}$ ,  $k_b = \beta_0 / 300$ .

Прототип пристрою, який забезпечує вимірювання моменту тертя методом обертання відносно плоского контртіла, з жорсткою схемою навантаження

сферичного індентора, реалізований на базі вертикально-фрезерного верстата 6P12 (рис. 3.12). Вибір базової системи для реалізації пристрою зумовлений необхідністю забезпечення високої жорсткості механізму навантаження в напрямку осі дії нормальної сили з можливістю одночасного додавання обертання навколо цієї ж осі. Жорсткість використаного верстата становить  $j_z = 55 \text{ мкм} / \text{кН}$ .

Пристрій працює таким чином. На столі верстата співвісно з віссю шпинделя встановлюється вимірювальний пристрій (динамометр), що дозволяє одночасно вимірювати нормальну до його базової площини силу і крутний момент. На базову поверхню динамометра встановлюють контртіло у вигляді пластини товщиною не менше 5 мм з паралельними бічними поверхнями. У цангові патрони закріплюється оправка з конічним центральним отвором, виконаним з метою мінімізації биття, сумісно з оправкою безпосередньо на фрезерному верстаті. Індентор з відполірованої сфери діаметром 6-9 мм з відхиленням від округлості не більш 5 мкм, заздалегідь знежиреної спиртом і обробленої активованим вугіллям, розміщується між поверхнею контртіла, обробленого аналогічним способом, і конічною оправкою (рис. 3.12). Базування індентора здійснюється по конічній поверхні центрального отвору. Гільза шпинделя нерухомо встановлюється в бабці шпинделя. Навантаження здійснюють переміщенням консолі верстата вздовж осі z. Сила навантаження контролюється динамометром (рис. 3.13). Вимірювання моменту тертя здійснюється при обертанні з частотою 31,5 об / хв шпинделя. Мала частота обертання унеможлиблює розігрівання контактної поверхні. Крутний момент на індентор передається через контактну поверхню сферичної оправки, радіус якої в кілька разів більший радіусу лунки, що утворюється.

У перші моменти часу момент тертя інтенсивно зростає, а нормальна сила дещо зменшується через інтенсивну деформацію контактної поверхні та зміни її мікрорельєфу. Далі інтенсивність цих процесів сповільнюється і, у певний момент часу, настає стабілізація величини фактичної площі контакту – момент тертя і нормальна сила залишаються постійними в межах точності вимірів. У цей момент вимірювання припиняють, швидко розвантажуючи систему. Отриманий відбиток і

поверхня індентора без істотних налипань свідчать про те, що при випробуванні між індентором і зміцненою поверхнею контртіла має місце зовнішнє тертя.

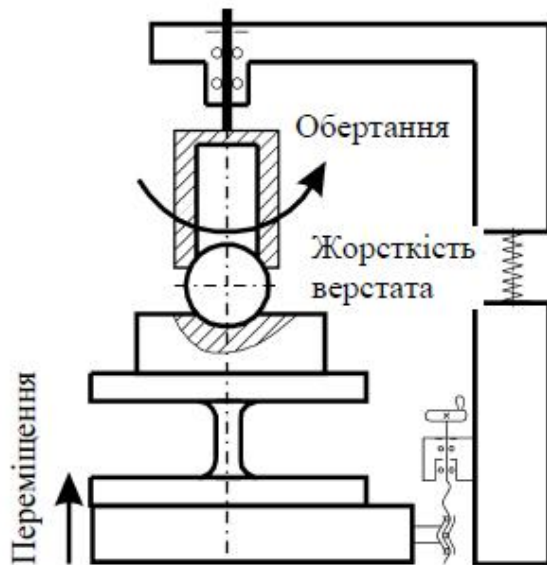


Рисунок 3.12 – Схема навантаження



Рисунок 3.13 – Динамометр

Вимірювання параметрів мікрорельєфу індентора  $R_p$ ,  $t_m$ , необхідних для розрахунку деформаційної складової сили опору ковзанню є складним технічним завданням, оскільки індентор є сферою досить малого радіуса. Застосування традиційного профілометра в цьому випадку неможливе у зв'язку з неможливістю створення достатньої бази для вимірювальної голки.

У роботі запропоновано новий метод вимірювання параметрів профілю мікрорельєфу поверхні методом сканування поверхні пучком електронів в растровому електронному мікроскопі з реєстрацією відбитих електронів витягнутими вздовж осі сканування двома сенсорами, розміщеними по різні сторони від оптичної осі електронного мікроскопа. Відомо, що кут відбиття електронів пропорційний куту нахилу поверхні відбиття і атомному номеру хімічного елемента на цій поверхні. Знаходження різниці сигналів зазначених сенсорів дає можливість виключити вплив атомного номера. Вона буде пропорційна тільки куту профілю поверхні (першої похідної профілю поверхні),

яка сканується. Орієнтація сенсорів в напрямку осі сканування забезпечує виділення похідної тільки в напрямку сканування.

Це дає можливість відновити профіль мікрорельєфу в кожному рядку зображення зі співвідношення

$$\bar{y}_{i+1} = \left. \frac{d\bar{y}}{dx} \right|_{x_{i+1}} \Delta x + \bar{y}_i, \quad (3.42)$$

де  $\bar{y}_i$  – умовна висота мікровиступів в точці;

$\Delta x$  – розмір точки зображення, що визначається заданим масштабом зображення.

Абсолютна висота мікровиступів може бути визначена з виразу

$$y_i = k \cdot \bar{y}_i, \quad (3.43)$$

де  $k$  – масштабний коефіцієнт, що визначається за даних величин контрасту, струмів першої, другої і третьої лінз за зразком шорсткості.

Параметри мікрорельєфу визначалися за стандартними формулами, визначеним у ГОСТ 2789. Для розрахунку параметрів мікрорельєфу розроблена програма в середовищі Matlab.

Основними недоліками цього методу визначення адгезійної складової середнього коефіцієнту тертя є важкість виготовлення сферичного індентора (шару) з інструментального матеріалу (твердого сплаву), а також, у зв'язку з тим, що індентор виготовляється з інструментального матеріалу, неможливим є використання методу без руйнування різальної частини інструменту, а також для випадків, коли необхідно визначити фрикційні характеристики взаємодії оброблюваного матеріалу з покупним інструментом, що має покриття.

Тому запропоновано метод визначення адгезійної складової середнього коефіцієнту тертя, де індентор виконується з оброблюваного матеріалу, а

контртілом є безпосередньо поверхні непереточуваної твердосплавної пластини (рис. 3.14, 3.15).

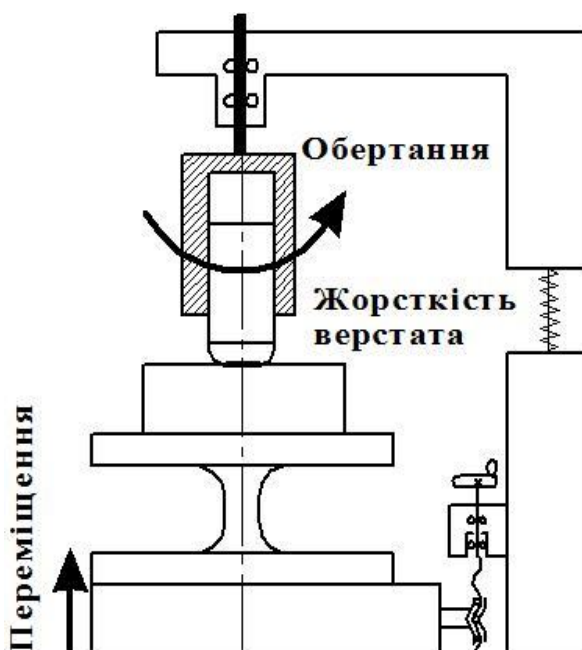
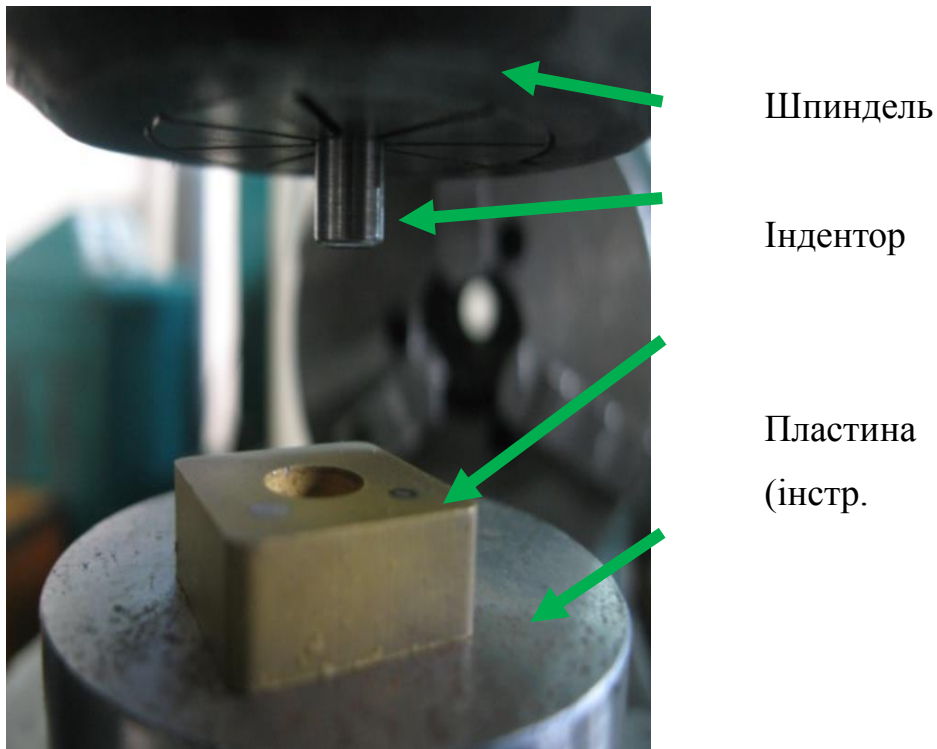


Рисунок 3.14 – Схема навантаження з індентором з оброблюваного матеріалу

### 3.5.3 Математична модель індентора для визначення трибологічних властивостей інструментального та конструкційного матеріалів

Проведений аналіз технологічності конструкції індентора показує, що для отримання необхідних результатів, найбільш зручним для використання та економічно вигідним для виготовлення є індентор циліндричної форми із оброблюваного матеріалу.

Для визначення геометричних параметрів індентора запропоновано використовувати три параметри – довжина, діаметр та радіус округлення торця (робочої поверхні).



Шпindelь

Індентор

Пластина  
(інстр.

Рисунок 3.15 – Динамометр з індентором з оброблюваного матеріалу

Аналіз схеми навантаження індентора (рис. 3.16) показує, що для визначення зазначених параметрів необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} d \geq d_{\text{кр}} - \text{допустимі навантаження} \\ l \leq l_{\text{кр}} - \text{формула Ейлера} \\ r \leq r_{\text{кр}} - \text{діаметр відбитку} \end{array} \right. , \quad (3.44)$$

де  $d$  – діаметр індентора;  $l$  – довжина індентора;  $r$  – радіус округлення торця індентора.

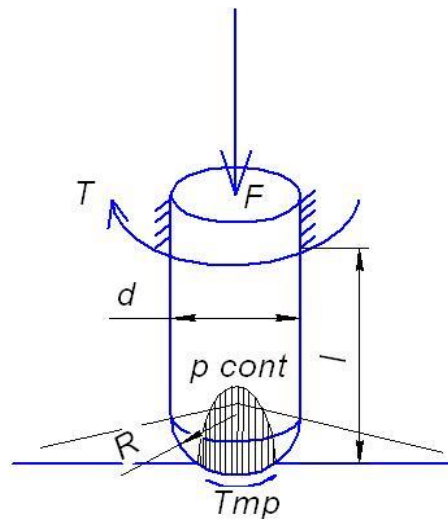


Рисунок 3.16 – Схема навантаження індентора

Головними обмежувальними факторами для визначення геометричних параметрів індентора є: стійкість, яка обмежує довжину індентора; міцність, яка впливає на його діаметр; твердість оброблюваного матеріалу, що зумовлює розміри плями контакту. Важливим є те, що при сталому процесі  $T = T_{мер}$ .

*Визначення довжини індентора (стрижня).*

Для вирішення завдання визначення стійкості стрижня необхідно розглянути вплив умов закріплення його торців на величину критичної сили, що легко зробити шляхом порівняння виду зігнутої осі стрижня при різних випадках закріплення з формою зігнутої осі при шарнірному закріпленні обох кінців стрижня (рис. 3.17).

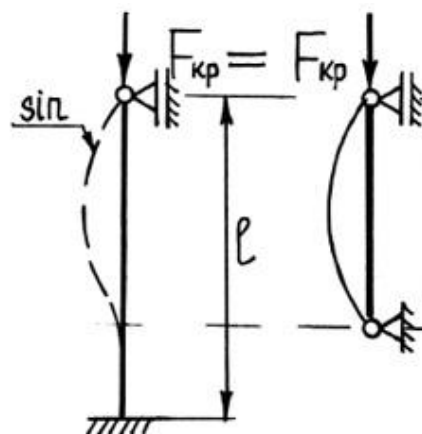


Рисунок 3.17 – Розрахункова модель стійкості індентора: зліва направо реальна та принципова схеми реакцій на навантаження

Стійкість деформованого тіла у вигляді стрижня залежить від величин його діаметра, довжини та прикладеного до нього навантаження [71]. Навантаження, яке викликає втрату стійкості первісної форми тіла (стрижня), називається критичним навантаженням та позначається через  $F_{кр}$ .

У нашому випадку при  $F > F_{кр}$  стрижень втрачає стійкість, тобто прямолінійна форма рівноваги перестає бути стійкою (рис. 3.17).

Довжина стрижня визначається за формулою:

$$\frac{\pi d}{2,8} \sqrt{\frac{E}{[\sigma]}} \leq l \leq \sqrt{0,03189 \frac{\pi^3 E d^4}{F n_{уст}}}, \quad (3.45)$$

де  $E$  – модуль Юнга першого роду (поздовжній модуль пружності), МПа;

$F$  – стискаюча сила, Н;

$d$  – діаметр круглого прямого циліндричного стрижня, мм;

$[\sigma]$  – допустимі напруження, МПа;

$n_{уст}$  – коефіцієнт запасу стійкості.

*Визначення діаметру стрижня.*

Для визначення діаметру індентора необхідно враховувати міцність матеріалу.

Стрижень перебуває під дією складного напруженого стану стиснення з крутінням. Напружений стан нескінченно малого елемента в небезпечній точці на бічній циліндричній поверхні стрижня.

Діаметр стрижня визначається за формулою:

$$\sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d^2}\right)^2 + 3 \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} \leq [\sigma], \quad (3.46)$$

де  $F$  – стискаюча сила, Н;

$T$  – крутний момент Нм;

$d$  – діаметр круглого прямого циліндричного стрижня, мм;

$[\sigma]$  – допустимі напруження, МПа;

$R_m^T$  – мінімальне значення тимчасового опору за розрахункової температури, МПа;



$R_{p0,2}^T$  – мінімальне значення межі текучості за розрахункової температури, МПа;

$R_m^t$  – мінімальна межа тривалої міцності за час  $t$  за розрахункової температури, МПа.

Для вирішення поставленого завдання пропонується подати його як багатокритеріальну задачу з оптимізації, де як параметри оптимізації будуть використовуватися діаметр, довжина і радіус округлення торця.

$$z = \begin{cases} d \rightarrow \min; \\ l \rightarrow \min; \\ r \rightarrow \max \end{cases}, \quad (3.47)$$

Наближення діаметра та довжини стрижня до мінімального значення зумовлюється розмірами пластини (контртіла) для забезпечення зручності проведення експериментів. Радіус округлення робочого торця наближається до свого максимально допустимого значення для отримання зони контакту індентора з контртілом достатнього розміру для проведення подальших досліджень.

Для розв'язання багатокритеріальної задачі з оптимізації геометричних розмірів індентора розглянемо фактори, що зумовлюють обмеження на ці параметри.

Так для визначення довжини індентора прийняті обмеження пов'язані: 1) зі стійкістю стрижня (див. вираз 3.43); 2) з довжиною приєднувальної частини стрижня, яка зумовлена системою кріплення використовуваного пристрою верстату. Аналіз виразу 3.43 вказує на те, що довжина індентора перебуває у функціональній залежності від діаметру.

Визначення радіуса округлення торця зумовлено 2-ма параметрами: 1) діаметром плями контакту, що буде аналізуватися; 2) твердістю індентора та контртіла (леза інструменту). Аналіз цих обмежень показує, що твердістю матеріалів можна знехтувати, а необхідним та достатнім є діаметр плями контакту в межах від 2 до 5 мм для його дослідження за допомогою інструментального мікроскопа. В інших випадках необхідно керуватись інструментальними обмеженнями наявних приладів.

Тому цю задачу можна подати в такому вигляді

$$z = d \rightarrow \min; \quad (3.48)$$

*Визначення радіуса округлення робочого торця.*

Для розрахунку радіуса округлення робочого торця стрижня використовується модель двох дотичних сферичних тіл з радіусами  $R_1$  та  $R_2$ , де  $R_1 = r$ , оскільки перша поверхня є сферичним торцем індентору, а  $R_2 \rightarrow \infty$ , оскільки друга поверхня контакту (поверхня контртіла) є площиною.

Для цього випадку радіус площини контакту визначається за формулою:

$$\begin{aligned} r_{cont} &= 0,9086 \sqrt[3]{\eta F \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}; \\ r_{cont} &= 0,9086 \sqrt[3]{\eta F \frac{1}{\lim_{R_1 \rightarrow R} \frac{1}{R_1} + \lim_{R_2 \rightarrow \infty} \frac{1}{R_2}}}}; \\ 3\text{мм} &\leq 0,9086 \sqrt[3]{\eta F R} \leq 5\text{мм}. \end{aligned} \quad (3.49)$$

де  $F$  – сила, що стискає поверхні;

$\eta = (1 - \nu_1^2)/E_1 + (1 - \nu_2^2)/E_2$  – пружна постійна дотичних тіл, де  $\nu_1$ ,  $\nu_2$ ,  $E_1$  та  $E_2$  відповідно коефіцієнти Пуассона і поздовжні модулі пружності (модуль Юнга першого роду) першого та другого тіл.

У зв'язку із необхідністю закріплення індентора у цанговому патроні, розташованому на шпинделі верстату, рекомендовано виготовляти індентор довжиною  $2L$  та з робочими радіусами на обох торцях, щоб забезпечити можливість проведення двох дослідів за умові використання лише одного індентора.

**3.5.4 Метод визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням**

Для оцінювання адгезійної складової визначаються зовнішній радіус зовнішнього кільця відбитку контакту  $R_{\max}$  та биття індентора в патроні  $\Delta$  в мм, а також площі плям областей I та II адгезійного контакту  $A_j$  в  $\text{мм}^2$  та радіальні

координати їх центрів мас  $r_j$  в мм, момент сил супротиву обертанню індентора  $T$ , Н·мм та осьова сила притиснення індентора до пластини  $F$ , Н (рис. 3.18).

Такий слід виходить, якщо центр плями контакту зміщений на половину биття  $\Delta/2$  відносно загального центру сліду, тобто в процесі контакту область I постійно покрита плямою контакту, а II – періодично. Пляма контакту здійснює планетарний рух, у якому дуже малий вплив переносної швидкості на напрям абсолютної.

На кожній поверхні контакту виникає дотичне напруження  $\tau_{adhesion} = \tau_0 + \beta \cdot \sigma_N$  в напрямку проти вектора абсолютної швидкості майданчиків адгезійного зчеплення циліндра з поверхнею пластини, де  $\tau_0$  – постійна частина сили адгезійного опору,  $\beta$  – постійна, що враховує збільшення сили опору за рахунок збільшення кількості містків схоплювання з ростом фактичної площі контакту при збільшенні нормальних напружень  $\sigma_N$ .

Функція розподілу контактних нормальних напружень  $\sigma_N(r)$ , МПа по ділянці контакту з радіальною координатою  $r$  визначається з задачі Герца:

$$\sigma_N(r) = p_0 \cdot \sqrt{1 - r^2/a^2} \quad (3.50)$$

де  $p_0 = \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{9} \cdot \frac{F}{\eta^2 \cdot R^2}}$  – максимальне нормальне контактне напруження, МПа,

$a = \sqrt[3]{(3/4) \cdot \eta \cdot F \cdot R}$  – радіус відбитку контактної області, мм.



визначається виключно  $R_{\max}$  и  $\Delta$ , а не розташуванням груп плям адгезійного контакту, таким чином області I и II візуально можуть не виділятися).

$$a_i^I(R_i^I) = \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^I} = \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]},$$

$$R_i^I = h_i^I;$$

$$h_i^I = \frac{h^I}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right);$$

$$h^I = R_{\min} = R_{\max} - \Delta.$$

$$a_i^{II}(R_i^{II}) = \frac{\sum_j A^{(j)II}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^{II}} = \frac{\sum_j A^{(j)II}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]},$$

$$R_i^{II} = R_{\min} + h_i^{II};$$

$$h_i^{II} = \frac{h^{II}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right);$$

$$h^{II} = R_{\max} - R_{\min} = \Delta.$$

Уведемо позначення (рис. 3.19):

$$R_i^I = (R_{\max} - \Delta) \cdot (i - 1/2) / n^I, \quad i = 1 \dots n^I;$$

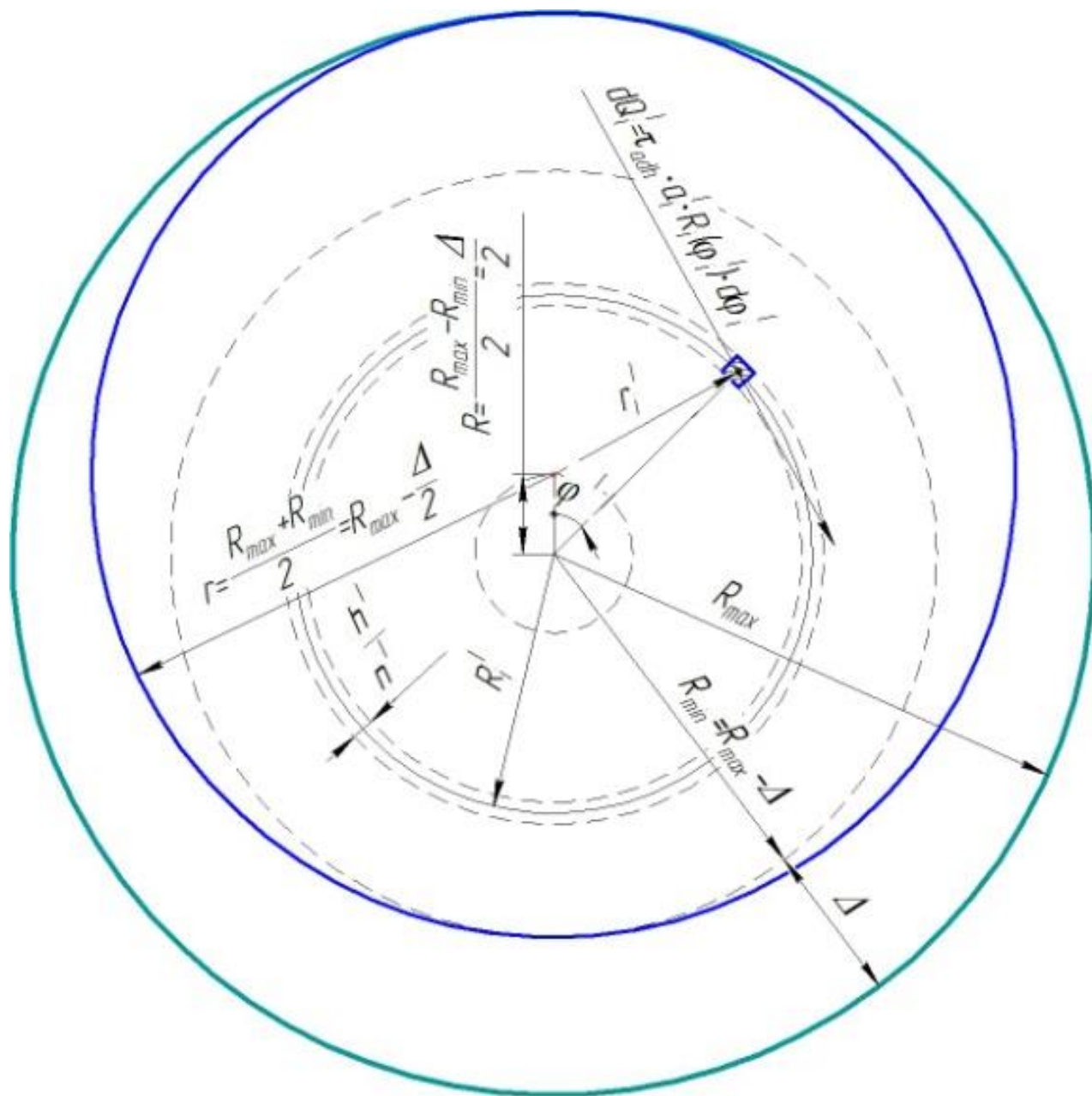
$$R_i^{II} = R_{\min} + h^{II} \cdot (i - 1/2) / n^{II}, \quad i = 1 \dots n^{II}.$$

Звідки в мм<sup>2</sup>/мм:

$$a_i^I(R_i^I) = \sum_j A^{(j)I} / (2 \cdot \pi \cdot R_i^I); \quad (3.51)$$

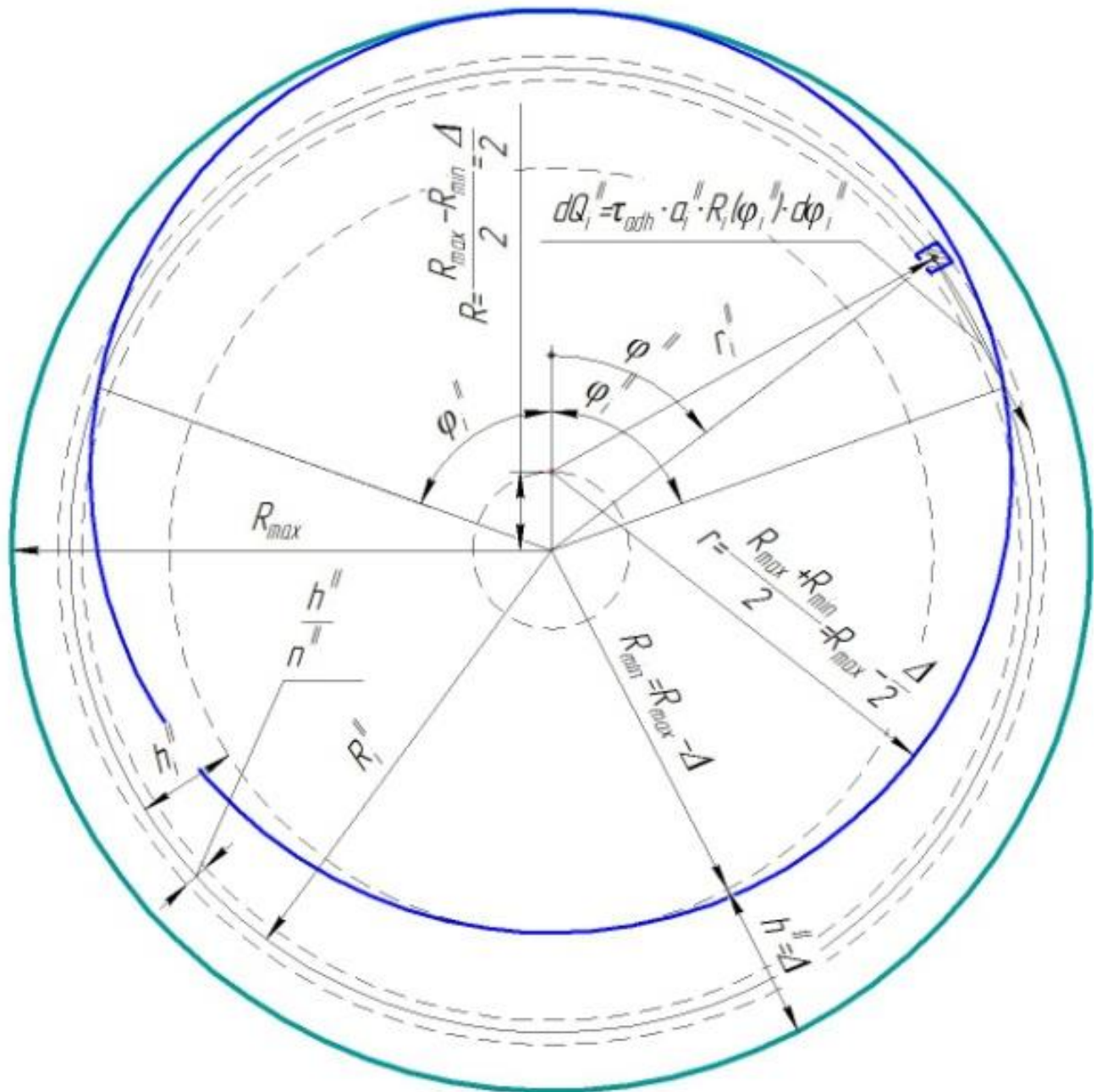
$$a_i^{II}(R_i^{II}) = \sum_j A^{(j)II} / (2 \cdot \pi \cdot R_i^{II}). \quad (3.52)$$

де  $n_I$  та  $n_{II}$  – кількість кілець усередненої погонної щільності площ ділянок в обох областях (визначається гладкістю графіку  $a(h_i)$ ),  $i$  – номер такого кільця ( $i = 1 \dots n_{I/II}$ ).



a)

Рисунок 3.19 – Внесок нескінченно малого елемента умовно виділеного кільця в момент опору від адгезійної складової тертя для: а) I-ї області відбитку контакту; б) II-ї області відбитку контакту



б)

Продовження рис. 3.19

Розглянемо  $i$ -те кільце з усередненою погонною щільністю площ площадок  $a(h_i)$ . Уведемо полярну систему координат  $r_i(\varphi)$ . Виділимо нескінченно малий елемент  $i$ -го кільця довжинами залежно від області

$$dl_i^l = R_i^l \cdot d\varphi = h_i^l \cdot d\varphi^l = \left[ \frac{h^l}{n^l} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\varphi^l = \left[ \frac{R_{min}}{n^l} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\varphi^l = \left[ \frac{R_{max} - \Delta}{n^l} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\varphi^l$$

та

$$\begin{aligned} dl_i^{II} &= R_i^{II} \cdot d\varphi^{II} = (R_{min} + h_i^{II}) \cdot d\varphi^{II} = \left[ R_{min} + \frac{h^{II}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\varphi^{II} = \left[ R_{min} + \frac{R_{max} - R_{min}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\varphi^{II} = \\ &= \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\varphi^{II} \end{aligned}$$

Розглянемо геометрію трикутників рис. 3.19.

За теоремою косинусів:

$$\begin{aligned} r_i^I(\varphi^I) &= \sqrt{R_i^{I^2} + R^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot R \cdot \cos \varphi^I} = \sqrt{h_i^{I^2} + \left( \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \right)^2 - 2 \cdot h_i^I \cdot \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \cdot \cos \varphi^I} = \\ &= \sqrt{\left[ \frac{h^I}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \frac{h^I}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^I} = \\ &= \sqrt{\left[ \frac{R_{min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^I}. \end{aligned}$$

Або з урахуванням введених позначень:

$$r_i^I(\varphi^I) = \sqrt{R_i^{I^2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^I}. \quad (3.53)$$

Тоді для  $r_i^{II}(\varphi^{II})$

$$\begin{aligned} r_i^{II}(\varphi^{II}) &= \sqrt{R_i^{II^2} + R^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot R \cdot \cos \varphi^{II}} = \sqrt{\left( R_{min} + h_i^{II} \right)^2 + \left( \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left( R_{min} + h_i^{II} \right) \cdot \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \cdot \cos \varphi^{II}} = \\ &= \sqrt{\left[ R_{min} + \frac{R_{max} - R_{min}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{min} + \frac{R_{max} - R_{min}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^{II}} = \\ &= \sqrt{\left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^{II}}. \end{aligned}$$



$$r^2 = R_i^{II^2} + R^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot R \cdot \cos \varphi_i^{II};$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_i^{II} &= \frac{R_i^{II^2} + R^2 - r^2}{2 \cdot R_i \cdot R} = \frac{\left[ R_{min} + \frac{h^{II}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left[ \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \right]^2 - \left[ \frac{R_{max} + R_{min}}{2} \right]^2}{2 \cdot \left[ R_{min} + \frac{h^{II}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \left[ \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \right]} = \\ &= \frac{\left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left[ \frac{\Delta}{2} \right]^2 - \left[ R_{max} - \frac{\Delta}{2} \right]^2}{2 \cdot \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \left[ \frac{\Delta}{2} \right]}; \\ \varphi_i^{II} &= \arccos \left\{ \frac{\left[ R_{min} + \frac{h^{II}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left[ \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \right]^2 - \left[ \frac{R_{max} + R_{min}}{2} \right]^2}{2 \cdot \left[ R_{min} + \frac{h^{II}}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \left[ \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \right]} \right\} = \\ &= \arccos \left\{ \frac{\left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left[ \frac{\Delta}{2} \right]^2 - \left[ R_{max} - \frac{\Delta}{2} \right]^2}{2 \cdot \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \left[ \frac{\Delta}{2} \right]} \right\}. \end{aligned}$$

Або з урахуванням введених позначень:

$$\begin{aligned} r_i^{II}(\varphi^{II}) &= \sqrt{R_i^{II^2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^{II}}; \\ \varphi_i^{II} &= \arccos \left\{ \frac{R_i^{II^2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - \left[ R_{max} - \frac{\Delta}{2} \right]^2}{2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2}} \right\}. \end{aligned} \quad (3.55)$$

Тоді нормальний тиск контакту в полярній системі координат, пов'язаної з центром плями сліду контакту, складуть:

$$\begin{aligned}
\sigma_N(r_i^I(\varphi^I)) &= 0,5784 \cdot \frac{\sqrt{N}}{\sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2} \cdot R_{sph}^2} \cdot R_{sph}^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(r_i^I(\varphi^I)\right)^2}{0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)} \cdot N \cdot R_{sph}}} = \\
&= 0,5784 \cdot \frac{\sqrt{N}}{\sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2} \cdot R_{sph}^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left[\sqrt{\left[\frac{R_{min}}{n^I} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right)\right]^2 + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} - 2 \cdot \left[\frac{R_{min}}{n^I} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right)\right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^I\right]^2}{0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)} \cdot N \cdot R_{sph}}}\right)^2}; \\
\sigma_N(r_i^{II}(\varphi^{II})) &= 0,5784 \cdot \frac{\sqrt{N}}{\sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2} \cdot R_{sph}^2} \cdot R_{sph}^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(r_i^{II}(\varphi^{II})\right)^2}{0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)} \cdot N \cdot R_{sph}}} = \\
&= 0,5784 \cdot \frac{\sqrt{N}}{\sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2} \cdot R_{sph}^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left[\sqrt{\left[R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right)\right]^2 + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} - 2 \cdot \left[R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right)\right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \varphi^{II}\right]^2}{0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)} \cdot N \cdot R_{sph}}}\right)^2}.
\end{aligned}$$

З вихідного припущення сила, що діє на нескінченно малий елемент  $i$ -го кільця для обох областей, складе:

$$\begin{aligned}
dQ_i^I &= \tau_{adh} \cdot (a_i^I \cdot dl_i^I) = [\tau_0 + \beta \cdot \sigma_N(R_i^I)] \cdot a_i^I(R_i^I) \cdot dl_i^I = \\
&= \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2}} \cdot R_{sph}^2 \right] \times \\
&\times \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{R_{min}}{n^I} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right]^2 + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{min}}{n^I} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}{\left(0,9086 \cdot \sqrt{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}} \cdot N \cdot R_{sph}\right)^2}} \times \\
&\times \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{max} - \Delta}{n^I} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right]} \cdot \left[ \frac{R_{max} - \Delta}{n^I} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right] \cdot d\phi^I; \\
dQ_i^{II} &= \tau_{adh} \cdot (a_i^{II} \cdot dl_i^{II}) = [\tau_0 + \beta \cdot \sigma_N(R_i^{II})] \cdot a_i^{II}(R_i^{II}) \cdot dl_i^{II} = \\
&= \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2}} \cdot R_{sph}^2 \right] \times \\
&\times \sqrt{1 - \frac{\left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right]^2 + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}}{\left(0,9086 \cdot \sqrt{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}} \cdot N \cdot R_{sph}\right)^2}} \times \\
&\times \frac{\sum_j A^{(j)II}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right]} \cdot \left[ R_{max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right) \right] \cdot d\phi^{II}.
\end{aligned}$$

Сила адгезійного опору планетарному руху індентора  $dQ_i^I$  і  $dQ_i^{II}$ , що діє на кожен нескінченно малий елемент  $i$ -го кільця для обох областей, утворюють моменти сил опору обертанню шпинделя  $dT_i^I$  і  $dT_i^{II}$ , Н·мм:

$$\begin{aligned}
d\mathbf{T}_i^I &= \mathbf{r}_i^I(\phi^I) \cdot d\mathbf{Q}_i^I = \sqrt{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot \\
&\left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2}} \cdot R_{\text{sph}}^2 \times \right. \\
&\left. \times \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt{\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2}} \cdot N \cdot R_{\text{sph}} \right)^2}} \right] \cdot \\
&\frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\phi^I;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d\mathbf{T}_i^{II} &= \mathbf{r}_i^{II}(\phi^{II}) \cdot d\mathbf{Q}_i^{II} = \\
&= \sqrt{\left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot \\
&\left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2}} \cdot R_{\text{sph}}^2 \times \right. \\
&\left. \times \sqrt{1 - \frac{\left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt{\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2}} \cdot N \cdot R_{\text{sph}} \right)^2}} \right] \cdot \\
&\frac{\sum_j A^{(j)II}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\phi^{II}.
\end{aligned}$$

Тоді головний момент сил опору обертанню шпинделя,  $N \cdot \text{мм}$  складе:

$$d\mathbf{T} = \sum_i d\mathbf{T}_i^I + \sum_i d\mathbf{T}_i^{II}$$

$$\begin{aligned} \sum_i \mathbf{T}_i^I &= \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot \\ &\cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \frac{N}{\sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot R_{\text{sph}}^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right) \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot \\ &\cdot \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\phi^I = \\ &= \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{R_i^{I2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot \\ &\cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \frac{N}{\sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot R_{\text{sph}}^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{I2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right) \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \times \\ &\times a_i^I(R_i^I) \cdot R_i^I \cdot d\phi^I; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_i T_i^I &= \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot \\
&\cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot R_{\text{sph}}^2}}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot \\
&\cdot \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \cdot \left[ \frac{R_{\max} - \Delta}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\phi^I = \\
&= \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{R_i^{I2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot \\
&\cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot R_{\text{sph}}^2}}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{I2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot a_i^I(R_i^I) \cdot R_i^I \cdot d\phi^I; \\
\sum_i T_i^{II} &= \sum_i \int_{-\phi_i^{II}}^{\phi_i^{II}} \sqrt{\left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot \\
&\cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot R_{\text{sph}}^2}}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot \\
&\cdot \frac{\sum_j A^{(j)II}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \cdot \left[ R_{\max} - \Delta + \frac{\Delta}{n^{II}} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\phi^{II} = \\
&= \sum_i \int_{-\phi_i^{II}}^{\phi_i^{II}} \sqrt{R_i^{II2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot \\
&\cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot R_{\text{sph}}^2}}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{II2} + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)^2 \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot a_i^{II}(R_i^{II}) \cdot R_i^{II} \cdot d\phi^{II}.
\end{aligned}$$

Або з урахуванням уведених позначень:

$$\begin{aligned}
\sum_i T_i^I &= \tau_0 \cdot \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{R_i^{I2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot a_i^I(R_i^I) \cdot R_i^I \cdot d\phi^I + \\
&+ \beta \cdot \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2} \cdot R_{sph}^2} \cdot \sqrt{R_i^{I2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} - \frac{R_i^{I2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I}{\left(0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right) \cdot N \cdot R_{sph}}\right)^2} \cdot \\
&\cdot a_i^I(R_i^I) \cdot R_i^I \cdot d\phi^I; \\
\sum_i T_i^{II} &= \tau_0 \cdot \sum_i \int_{-\phi_i^{II}}^{\phi_i^{II}} \sqrt{R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot a_i^{II}(R_i^{II}) \cdot R_i^{II} \cdot d\phi^{II} + \\
&+ \beta \cdot \sum_i \int_{-\phi_i^{II}}^{\phi_i^{II}} \sqrt{R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)^2} \cdot R_{sph}^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}}{\left(0,9086 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right) \cdot N \cdot R_{sph}}\right)^2}} \cdot \\
&\cdot a_i^{II}(R_i^{II}) \cdot R_i^{II} \cdot d\phi^{II}.
\end{aligned}$$

У загальному вигляді:

$$\begin{aligned}
d\Gamma &= \sum_i r_i^I(\phi^I) \cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot \sigma_N(R_i^I) \right] \cdot a_i^I(R_i^I) \cdot dl_i^I + \\
&+ \sum_i r_i^{II}(\phi^{II}) \cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot \sigma_N(R_i^I) \right] \cdot a_i^I(R_i^I) \cdot dl_i^I.
\end{aligned} \tag{3.56}$$

Для обчислення  $\tau_0$  і  $\beta$  були отримані 2 плями контакту при різних силах притиснення індентора (позначимо 1 і 2 випадок надрядковими індексами). Тоді система лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} \overset{1}{C}_1 \cdot \tau_0 + \overset{1}{C}_2 \cdot \beta = \overset{1}{T}; \\ \overset{2}{C}_1 \cdot \tau_0 + \overset{2}{C}_2 \cdot \beta = \overset{2}{T}. \end{cases} \tag{3.57}$$

$$\begin{aligned}
C_1 &= \sum_i \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{R_i^{I2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot a_i^I(R_i^I) \cdot R_i^I \cdot d\phi^I + \\
&+ \sum_i \int_{-\phi_i^{II}}^{\phi_i^{II}} \sqrt{R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot a_i^{II}(R_i^{II}) \cdot R_i^{II} \cdot d\phi^{II}; \\
C_2 &= \sum_i \frac{3}{\pi} \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N}{9 \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot \left\{ a_i^I(R_i^I) \cdot R_i^I \cdot \int_{-\pi}^{\pi} \sqrt{R_i^{I2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I} \cdot \right. \\
&\cdot \sqrt{1 - \left( R_i^{I2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^I \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^I \right) / \left( \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \eta \cdot N \cdot R} \right)^2} \cdot d\phi^I + \\
&+ a_i^{II}(R_i^{II}) \cdot R_i^{II} \cdot \sum_i \int_{-\phi_i^{II}}^{\phi_i^{II}} \sqrt{R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II}} \cdot \\
&\cdot \sqrt{1 - \left( R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - 2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2} \cdot \cos \phi^{II} \right) / \left( \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \eta \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2} \cdot d\phi^{II} \left. \right\}; \\
\phi_i^{II} &= \arccos \left\{ \frac{R_i^{II2} + \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 - [R_{\text{max}} - \frac{\Delta}{2}]^2}{2 \cdot R_i^{II} \cdot \frac{\Delta}{2}} \right\}, \quad i = 1 \dots n^{II}.
\end{aligned}$$

Система лінійних рівнянь розв'язується способом Крамера:

$$\begin{aligned}
\tau_0 &= \frac{\begin{vmatrix} \overset{1}{T} & \overset{1}{C_2} \\ \overset{2}{T} & \overset{2}{C_2} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \overset{1}{T} & \overset{1}{C_1} \\ \overset{2}{T} & \overset{2}{C_1} \end{vmatrix}} = \frac{\overset{1}{T} \cdot \overset{2}{C_2} - \overset{2}{T} \cdot \overset{1}{C_2}}{\overset{1}{C_1} \cdot \overset{2}{C_2} - \overset{2}{C_1} \cdot \overset{1}{C_1}}; \\
\beta &= \frac{\begin{vmatrix} \overset{1}{C_1} & \overset{1}{T} \\ \overset{2}{C_1} & \overset{2}{T} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \overset{1}{C_1} & \overset{1}{C_2} \\ \overset{2}{C_1} & \overset{2}{C_2} \end{vmatrix}} = \frac{\overset{2}{T} \cdot \overset{1}{C_1} - \overset{1}{T} \cdot \overset{2}{C_1}}{\overset{1}{C_1} \cdot \overset{2}{C_2} - \overset{2}{C_1} \cdot \overset{1}{C_1}}.
\end{aligned} \tag{3.58}$$

Якщо знехтувати биттям  $\Delta \approx 0$  залишиться лише I область і константи спростяться:



$$\begin{aligned}
\Gamma &\approx \sum_i T_i^I \approx \sum_i \left( \int_{-\pi}^{\pi} \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \right. \\
&\left. \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^2} \cdot R_{\text{sph}}^2}} \times \right. \right. \\
&\left. \left. \times \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt{\left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\max}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \cdot \left[ \frac{R_{\max}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right] \cdot d\phi^I \right) \approx \\
&\approx \sum_i \left\{ 2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \tau_0 + \beta \cdot 0,5784 \cdot \sqrt{\frac{N}{\left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^2} \cdot R_{\text{sph}}^2}} \times \right. \right. \\
&\left. \left. \times \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{R_{\min}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]^2}{\left( 0,9086 \cdot \sqrt{\left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \cdot N \cdot R_{\text{sph}}} \right)^2}} \right] \cdot \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{R_{\max}}{n^I} \cdot \left( i - \frac{1}{2} \right) \right]} \right\}.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_1 &= 2 \cdot \pi \cdot \sum_i R_i^{I2} \cdot a_i^I(R_i^I); \\
C_2 &= 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N}{9 \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot \sum_i R_i^{I2} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{I2}}{\left( \sqrt[3]{(3/4) \cdot \eta \cdot N \cdot R} \right)^2}} \cdot a_i^I(R_i^I). \tag{3.59}
\end{aligned}$$

### 3.6 Методика визначення шорсткості поверхні деталі після механічної обробки

Визначення шорсткості запропоновано виконувати за показником  $R_z^{eq}$ , що є еквівалентним шорсткості поверхні деталі після механічної обробки з урахуванням глибини згладжування  $R_p$ :

$$R_z^{eq} = R_z \cdot (1 - t_{mA}) + R_p \cdot t_{mA} \tag{3.60}$$

де  $t_{mA}$  – безрозмірний коефіцієнт питомого заповнення площі відносної опорної поверхні адгезійного схоплювання на висоті серединної поверхні до повної площі оброблюваної поверхні, що розраховується за виразом:

$$t_{mA} = \left( \sum_j A^{(j)I} + \sum_j A^{(j)II} \right) / (\pi \cdot R_{\max}^2). \quad (3.61)$$

Значення площ  $\sum_j A^{(j)I}$ ,  $\sum_j A^{(j)II}$  визначається експериментально за знімком відбитка індентора на пластині.

Величина  $R_z$  розраховується за загальновідомими співвідношеннями залежно від геометрії леза.

У роботі модель матеріалу, що оброблюється задається у вигляді емпіричного рівняння у формі Джонсона-Кука. За результатами імітаційного моделювання можливо отримати значення величин фактичних напружень на контактній поверхні  $\sigma_{nr}$ , фактична межа текучості поверхні заготовки  $\sigma_s$ . За результатами роботи Криворучка Д.В. встановлено такі залежності:

$$\sigma_{nr} / \sigma_s \approx 1 - e^{-c_r}; \quad c_r = 0,33 \left( E^* / E_0^* \right)^{-0,4} \left( \frac{\ln(Rp / Rp_0)}{\ln(t_{mA})} + 4,0 \right); \quad (3.62)$$

$$Rp = Rp_0 \cdot e^{-\left( \frac{3 \ln(1 - \sigma_{nr} / \sigma_s)}{(E^* / E_0^*)^{-0,4} + 4,0} \right) \ln(t_{mA})}$$

### 3.7 Метод вимірювання радіуса округлення різальної кромки

Широко відомий [8] той факт, що класична крива зношування має: ділянка 1 – припрацювання, що характеризується різким збільшенням величини площадки зношування інструменту протягом відносно короткого часу його роботи; ділянка 2 – стає зношування леза, що характеризується повільним збільшенням величини площадки зношування інструменту протягом відносно тривалого часу його роботи; ділянка 3 – критичне зношування інструменту – знову характеризується різким збільшенням величини площадки зношування, що приводить зрештою до

руйнування різальної кромки або інструменту (пластини). У зв'язку з цим, у початковий момент роботи інструменту (у період припрацювання) експеримент необхідно зупинити і проводити контроль різальної кромки кожні 3 с, для того, щоб не пропустити точку закінчення припрацювання і початок площадки сталого зношування. Потім на ділянці сталого зношування леза цей період можна збільшити до 8–10 с, проте також не менш важливим є визначення точки початку критичного зношування. Відповідно до запропонованого методу в момент зупинки процесу різання проводиться реєстрація зношування інструменту за кількома параметрами: вимірювання радіуса округлення  $r$  і форми різальної кромки, а також лінійне вимірювання площадки зношування інструменту по задній поверхні  $h_3$ . Для контролю зміни форми і радіуса округлення різальної кромки використовуємо спосіб оптичного вимірювання радіусів з використанням інтерферометра. Цей прилад дає можливість створювати як двовимірне (рис. 3.20), так і тривимірне зображення (рис. 3.21) різальної кромки використовуваної пластини, за допомогою якого можна вимірювати в заданих (прийнятих) перетинах радіус округлення різальної кромки (рис. 3.22).

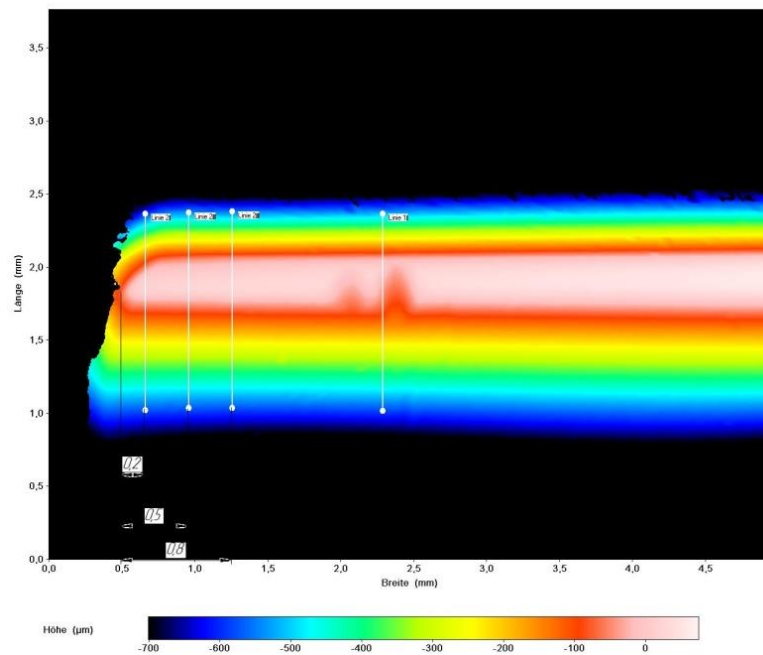
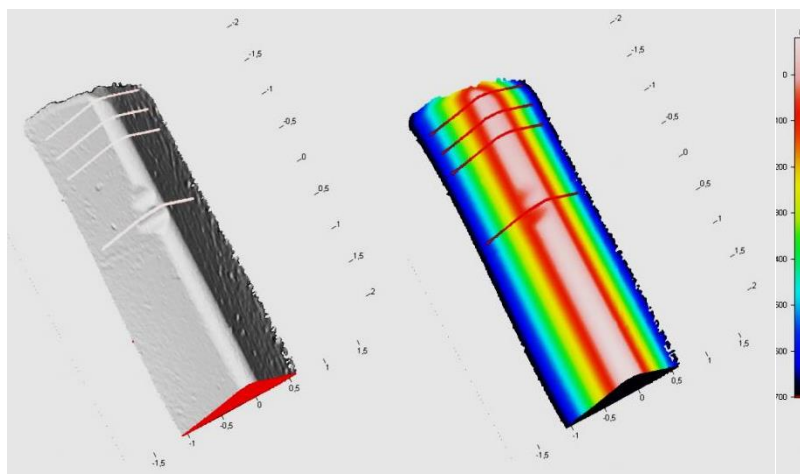


Рисунок 3.20 – Двовимірне зображення різальної кромки пластини з відміченими необхідними перетинами



а)

б)

Рисунок 3.21 – Тривимірне зображення різальної кромки пластини:  
а) – реалістичне, б) – виділене кольором за висотою

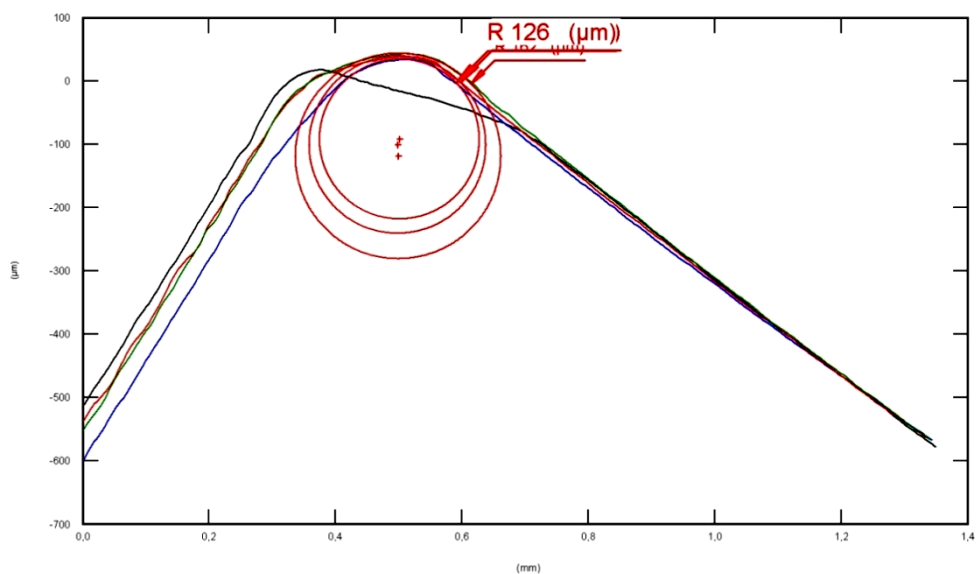


Рисунок 3.22 – Графічне зображення форми різальної кромки в різних перетинах з  
можливістю вимірювання радіуса округлення  $\rho$

Набір показаних рисунків і фотографій виконується для різальної пластини після кожного прийнятого періоду її роботи, наприклад, на першій ділянці – 3 с, на другій – 8–10 с.

Отримувані при використанні запропонованого методу результати дозволяють побудувати залежності радіуса округлення різальної кромки від часу роботи інструменту.

Зробимо припущення стосовно впливу величини радіуса округлення різальної кромки лише на значення показника стійкості ЛРІ за умови, якщо фінішна обробка здійснюється в умовах відсутності наростоутворення:

$$\begin{cases} T^{\text{cut}} \geq T_{\text{ac}}^{\text{cut}} \\ \rho_{\text{min}} \leq \rho \leq \rho_{\text{max}} \end{cases} . \quad (3.63)$$

### 3.8 Метод дослідження деформаційної складової тертя

У роботі використана скінчено-елементна модель процесу різання, реалізована на основі розв'язувача LS-DYNA з імплементацією додаткових процедур у вигляді модуля OCFEM, які адаптують універсальний розв'язувач високонелінійних динамічних задач для вирішення задачі моделювання прямокутного вільного різання. Основні теоретичні положення по математичному апарату використаному в моделі викладені в роботах [72, 73, 74, 75].

Скінчено-елементна дискретизація заготовки та інструменту виконувалася чотирикутними чотирьохвузловими СЕ. Генерація (перестроювання) СЕ сітки здійснювалася алгоритмом Q-morph (advanced front) [65] за заданим розміром СЕ на зовнішньому контурі тіла. При генерації нової сітки контур задавався набором геометричних примітивів. При перестроюванні СЕ сітки – ребрами СЕ базової СЕ сітки.

В основу СЕ моделі процесу різання покладена математична теорія пластичності. Одним з важливих припущень є припущення про ізотропне нестисливе середовище [76]. При цьому поведінка матеріалу при деформації описується поведінкою поверхні плинності, що є межею між пружною і пластичною зонами в дев'ятивимірному просторі напруг даної точки тіла. Ця поверхня характеризується рівнянням:

$$f_s = (\sigma^{ij}) = 0, \quad (3.64)$$

яке не залежить від напружено-деформованого стану (НДС) і є властивістю даного матеріалу. Отже, її можна визначити експериментально з дослідів з деформування зразків в умовах однорідного НДС. Отриману таким чином криву називають кривою течії (flow stress curve) або рівнянням стану (constitutive equation) і описують з урахуванням умови пластичності фон Мізеса таким співвідношенням [56]:

$$\bar{\sigma} = \sigma_s = \sigma_s(q, \dot{\varepsilon}^p, T), \quad (3.65)$$

де  $\bar{\sigma}$  – інтенсивність напружень;

$\sigma_s$  – поточна межа текучості;

$\sigma^{ij}$  – компоненти тензора напружень;

$q$  – параметр зміцнення;

$\dot{\varepsilon}^p$  – інтенсивність швидкостей пластичних деформацій;

$T$  – температура.

У цій роботі модель оброблюваного матеріалу задається у вигляді емпіричного рівняння в формі Джонсона-Кука, що враховує зміну величини межі текучості залежно від температури, швидкості і величини пластичної деформації. Це найбільш широко використовувана внаслідок своєї універсальності і простоти модель матеріалу:

$$\sigma_s = \left[ A + B \cdot (\bar{\varepsilon}^p)^n \right] \cdot \left[ 1 + C \cdot \ln \left( \frac{\dot{\varepsilon}^p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \cdot [1 - T^m], \quad (3.66)$$

де  $\bar{\varepsilon}^p$  – інтенсивність пластичної деформації;

$\dot{\varepsilon}^p$  – інтенсивність швидкості пластичної деформації;

$T$  – температура;

$A, B, C$  – коефіцієнти;

$n, m$  – показники ступеня.

Обчислення дотичних напружень  $\tau$  на поверхні контакту, що визначають опір ковзанню, у цій роботі реалізовано за законом Shaw MC, що формалізує схему, наведену в рис. 3.22.

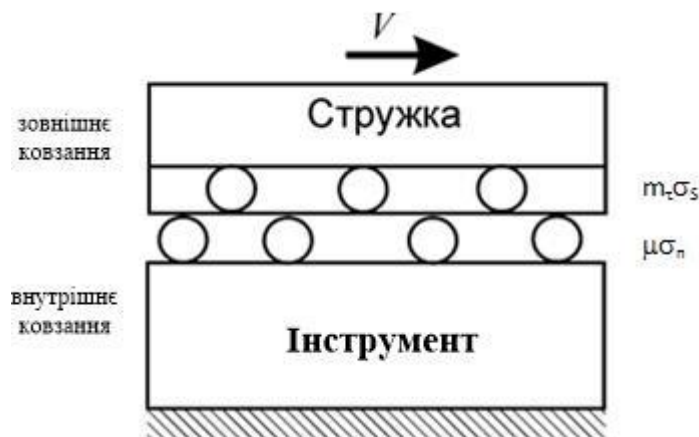


Рисунок 3.23 – Модель контактної границі

Ковзання має місце там, де  $\tau_{max}$  менше

$$\tau_{max} = \min(\tau_s, \mu\sigma_n), \tau_s = m\tau_s, \quad (3.67)$$

причому схоплювання ( $v=0$ ) має місце, коли  $|\tau| < \tau_{max}$ , та ковзання ( $|v| > 0$ ) має місце, коли  $|\tau| = \tau_{max}$ . З умови рівноваги нерівність  $|\tau| > \tau_{max}$  недопустима. Варто відзначити, що ковзання може мати місце в тому шарі, у якому  $\tau_{max}$  менше.

У цьому випадку  $\tau_s$  і  $\mu$  є параметрами моделі тертя, вплив яких на процес різання досліджено в цій роботі.

Потрібно зазначити, що дотичні напруження  $\tau$  і  $\tau_{max}$  є умовними, оскільки припускають, що фактична площа контакту дорівнює дійсній. Ця невідповідність враховується корекцією значень  $\tau_s$  і  $\mu$ .

У цій роботі використовувалися спільно геометричний і фізичний критерії руйнування зрізувального шару. Як геометричний критерій, що розділяє матеріал перед ріжучою кромкою, використовувалося перестроювання СЕ сітки інструменту після проходження лезом заданого шляху. Застосування цього критерію дозволило запобігти спотворенню СЕ в області великих пластичних деформацій і збільшити тим самим швидкість і стійкість розрахунку. Як фізичний критерій руйнування пластичного матеріалу був прийнятий критерій накопичених пластичних деформацій у формі Джонсона-Кука:

$$D = \sum \frac{\Delta \bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_f} \geq 1, \quad (3.68)$$

де  $\bar{\varepsilon}_f = (D_1 + D_2 \exp(D_3 \sigma^*)) (1 + D_4 \ln \dot{\varepsilon}^*) (1 + D_5 T^*)$  – гранична величина накопичених пластичних деформацій;

$\sigma^* = \sigma / \sigma_{екв}$ ;  $\sigma$  – гідростатичний тиск (стискання при  $\sigma < 0$ );

$\sigma_{екв}$  – еквівалентні напруження за фон Мізесом.

Параметри розв'язувача (мінімальний розмір СЕ інструменту, мінімальний розмір СЕ заготовки, коефіцієнт прискорення інтегрування і коефіцієнт контактної жорсткості) задаються відповідно до рекомендацій роботи [65].

Розрахункова схема являє собою твердосплавне лезо з переднім кутом  $\gamma$  і заднім кутом  $\alpha$ , яке, переміщаючись з постійною швидкістю різання  $V$ , зрізає з плоскої заготовки шар постійної товщини  $a$ .

### 3.9 Висновок

Розроблено систему факторів, що впливають на якість інструментальної підготовки машинобудівного підприємства в умовах закупівлі металорізального інструменту, які пропонується поділити на чотири рівні (групи факторів). Запропоновано одну групу – економічні фактори – використовувати як критерії оптимізації робіт з інструментальної підготовки машинобудівного підприємства, а



три інші – технічні характеристики виробництва, технічне завдання, якість інструменту – як обмежувальні фактори.

Комплекс трибологічних властивостей матеріалів, які перебувають у процесі різання в контактній взаємодії, складається з рівнянь, які пов’язують температуру і нормальні напруження на контактній поверхні з дотичними напруженнями. У загальному випадку моделювання процесу різання на рівні деталізації «Лезо» мають бути визначені 5 констант  $\tau_0, \beta_0, k_b, T_k, \mu_d$  які відображають трибологічні властивості контактуючої пари.

Для визначення констант  $\tau_0, \beta_0$ , які характеризують адгезійну взаємодію інструментального та оброблюваного матеріалів, у роботі розроблено спеціальні методи і алгоритм експериментальних досліджень ковзання в умовах високих тисків за допомогою адгезіометра оригінальної конструкції, що дозволяє визначити силу опору ковзанню за жорсткою схемою навантаження індентора в півпростір при його безперервному обертанні.

У роботі запропоновано алгоритм проведення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різального інструменту на основі теорії фрикційної взаємодії поверхонь різального леза з поверхнями на оброблюваній заготовці та стружкою.

У роботі запропоновано методикку призначення розмірів індентора у вигляді стрижня з округленими торцевими поверхнями для проведення експериментів на дослідницькій установці на базі вертикально-фрезерного верстата 6P12.

Запропоновано використовувати для оцінювання гостроти різальної кромки (вимірювання радіуса її округлення) оптичний спосіб з використанням інтерферометра. Згідно з розробленою методикою в початковий момент роботи інструменту (у період припрацювання) експеримент необхідно зупинити і вимірювати радіус округлення різальної кромки кожні 3 с, а на ділянці сталого зношування леза цей період запропоновано збільшити до 8–10 с. Відповідно до розробленого методу в момент зупинки процесу різання проводиться реєстрація зношування інструменту за кількома параметрами.

Методом скінчених елементів розроблено імітаційну модель процесу контактної взаємодії в умовах високих тисків шорстких тіл, що припускає

можливість пружнопластичного деформування оброблюваного матеріалу в процесі його ковзання відносно індентора з інструментального матеріалу.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРУЙНІВНОГО ЕКСПРЕС-МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЛЕЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

### 4.1 Експериментальне визначення геометричних параметрів індентора для різних матеріалів

За результатами розрахункових даних геометричних параметрів індентора для різних матеріалів, наведених у табл. 4.1, можливо їх стандартизувати для всіх матеріалів, що досліджувалися.

Таблиця 4.1 – Розрахункові дані геометричних параметрів індентора для різних матеріалів

Геометричні параметри	Матеріал індентора				
	Сталь 45	Сталь 12Х18Н10М3Т	БрАЖ10-4	Сталь 30ХГСН2А	КЧ 63-2
d, мм	6	6	6	6	6
L, мм	15	15	15	15	15
r, мм	764	768	548	768	492

У зв'язку із необхідністю закріплення індентора у цанговому патроні, розташованому на шпинделі верстата, рекомендовано виготовляти індентор довжиною  $2L$  та з робочими радіусами на обох торцях, що забезпечить можливість проведення двох дослідів за умови використання лише одного індентора.

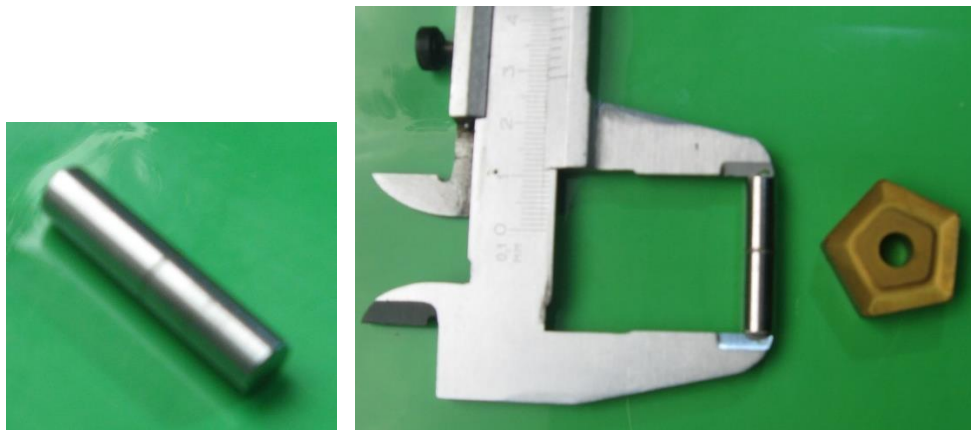


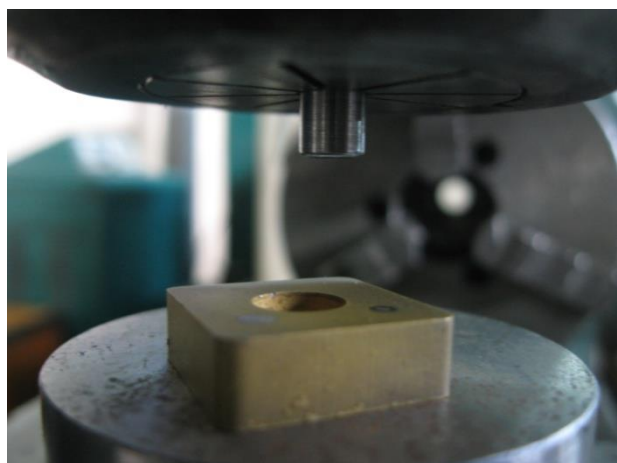
Рисунок 4.1 – Фотографія індентора

## 4.2 Визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням

За результатами натурних експериментів, пов'язаних з дослідженням плями контакту індентору і леза різального інструменту, що проводилися на підприємстві № 1 і № 2, а також на кафедрі ТМВІ СумДУ, перевірена працездатність запропонованого методу (рис. 4.2).

У роботі було проведено оцінювання якості ЛРІ для двох підприємств, результати яких наведено в табл. 4.2.

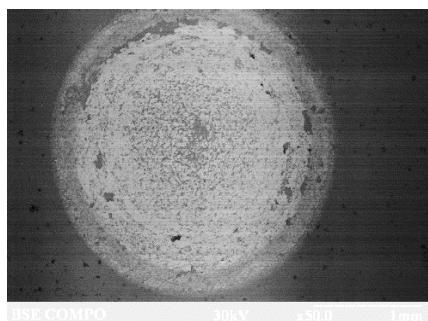
У випадках, коли значення стійкості при моделюванні процесу різання не відповідало заданим значенням, то граничні значення змінювали на 5 % для кожної ітерації. Значення відносного показника якості ЛРІ для кожного підприємства наведено в рис. 4.3.



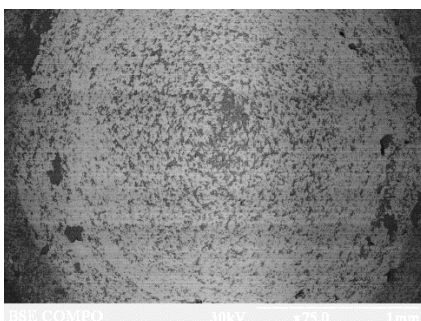
а)



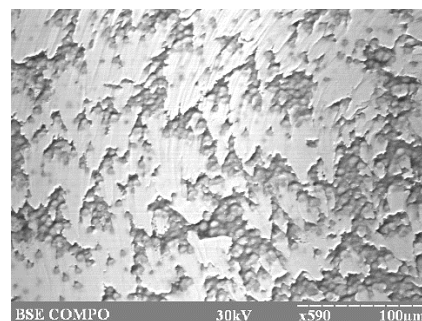
б)



в)



г)



д)

Рисунок 4.2 – Вигляд устаткування (а та б) та плями контакту (в, г, д):  
в) збільшення в 50 разів; г) збільшення в 75 разів; д) збільшення в 590 разів

### 4.3 Визначення екстремальних значень критеріїв оптимальності технологічного процесу методами імітаційного моделювання

За допомогою імітаційного моделювання запропоновано визначати вплив режимів оброблення на змінну складову критеріїв оптимальності технологічного процесу.

Розв'язання цієї задачі можливе засобами моделювання. У науковій роботі за № 0113U000136, де автор був виконавцем, запропоновано скінченно-елементна модель процесу різання, яка реалізована на основі розв'язувача LS-DYNA з імплементацією додаткових процедур у вигляді модуля OCFEM, що адаптує універсальний розв'язувач високонелінійних динамічних задач для розв'язування задачі моделювання прямокутного вільного різання.

Таблиця 4.2 – Данні результатів експрес-оцінювання якості НМТП

№ пластини	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	Рекомендовані				Отримані за результатами імітаційного моделювання			
				V <sub>max</sub> , м/хв	V <sub>min</sub> , м/хв	S <sub>max</sub> , мм/об	S <sub>min</sub> , мм/об	V <sub>max</sub> , м/хв	V <sub>min</sub> , м/хв	S <sub>max</sub> , мм/об	S <sub>min</sub> , мм/об
<b>Підприємство № 1</b>											
1	0,6	0,2	395	460	365	0,25	0,1	456	345	0,2	0,07
2	0,6	0,25	435	445	435	0,25	0,15	423	413	0,2	0,12
3	0,6	0,15	465	525	440	0,2	0,1	446	374	0,15	0,7
4	0,6	0,2	283	368	198	0,51	0,18	332	178	0,35	0,15
<b>Підприємство № 2</b>											
1	0,25	0,2	200	240	180	0,3	0,1	228	162	0,3	0,2
2	0,25	0,15	175	223	123	0,25	0,12	200	105	0,2	0,1
3	0,25	0,25	250	275	210	0,3	0,25	220	180	0,35	0,25
4	0,25	0,2	280	315	250	0,2	0,15	285	240	0,2	0,1

**Примітка.** Для першого підприємства оброблювальний матеріал Сталь 45, для другого – Сталь 12X18Н10Т; базові значення відповідають технологічній собівартості пластини за № 1.1 та пластини № 2.3, які вже використовувалися на підприємствах з визначеними режимами обробки для відповідних матеріалів.

Для подальшого визначення функціональної залежності цільових функцій оптимізації технологічного процесу від змінної складової  $A^{var}$  запропоновано використовувати надбудову «Пакет аналізу – Регресія» Microsoft Excel.

Для отримання даних у регресійну модель запропоновано, як план експерименту, використати симетричний ортогональний центральний композиційний план (ОЦКП). Кількість факторів, вплив яких буде досліджуватись, –  $n = 2$  (швидкість різання та подача). Відгук – це змодельоване значення стійкості інструменту. Вхідні дані для планування експерименту приведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вхідні дані для планування експерименту

	$V_{\min}$ , м/хв	$V_{\text{ном}}$ , м/хв	$V_{\max}$ , м/хв	$S_{\max}$ , мм/об	$S_{\text{ном}}$ , мм/об	$S_{\min}$ , мм/об
Пластина 1.1	345	440	456	0.2	0.17	0.07
Пластина 1.2	413	415	423	0.2	0.15	0.12
Пластина 1.3	374	435	446	0.15	0.10	0.7
Пластина 1.4	178	315	332	0.35	0.20	0.15
Пластина 2.1	162	200	228	0.3	0.25	0.2
Пластина 2.2	105	150	200	0.2	0.20	0.1
Пластина 2.3	180	215	220	0.35	0.35	0.25
Пластина 2.4	240	265	285	0.2	0.20	0.1

Ядро плану повнофакторного експерименту –  $N_0 = 2^n = 2^2 = 4$ . Кількість точок плану = 4.

Центральна точка плану для ОЦКП  $n_0 = 1$ .

$$\text{Плече «зоряних точок» } \alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{N \cdot N_0} - N_0)} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{9 \cdot 4} - 4)} = 1.$$

«Зоряні точки» ( $x_i = \pm \alpha$ ).

Загальна кількість дослідів у плані  $N = N_0 + 2n + n_0$ ,  $N = 4 + 2 \cdot 2 + 1 = 9$ .

$$\text{Константа перетворення } a = \sqrt{\frac{N_0}{N}} = \sqrt{\frac{4}{9}} = 0,68.$$

Для отримання загального вигляду плану, розраховуємо значення  $1 - a$ ,  $-a$ ,  $a^2 - a$ .

$$1 - a = 0,32$$

$$-a = -0,68$$

$$\alpha^2 - a = 0,68$$

Отже, загальний вигляд плану приведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Загальний вигляд плану експерименту

Номер досліджу	Код	$x_1$	$x_2$	$y$
1	$a$	+1	-1	$y_1$
2	$(I)$	-1	-1	$y_2$
3	$ab$	+1	+1	$y_3$
4	$b$	-1	+1	$y_4$

#### 4.4 Експериментальне дослідження величини зношування різального леза по задній поверхні

Для підтвердження результатів моделювання було проведено натурний експеримент з різання однієї заготовки трьома пластинами різних виробників. Після заданого часу обробки було зроблено контроль величини зношування по задній поверхні кожної з використовуваних пластин. За допомогою знімків ділянки зносу пластини на задній поверхні і масштабної лінійки, отриманих за допомогою мікроскопа, були проведені вимірювання лінійної величини зношування  $h_3$ . На даних рисунках показано, як вимірюється зношування пластини по задній поверхні. Ураховуючи, що фотографії задньої поверхні пластини і масштабної лінійки виконані з використанням однієї і тієї ж лінзи і з однаковим збільшенням, можна за допомогою масштабної лінійки визначити отримане при вимірюванні значення величини зношування  $h_3$  на задній поверхні.

Дані, отримані після проведення натурального експерименту показують, що величина зношування по задній поверхні буде у другій пластини (рис. 4.3).

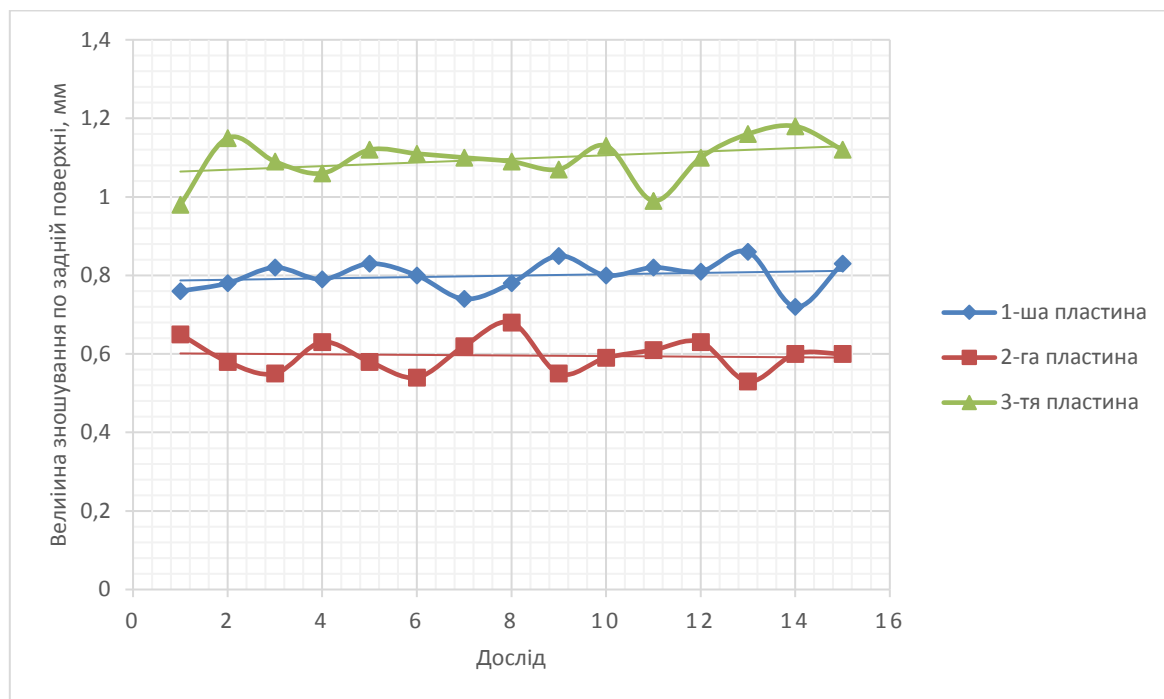


Рисунок 4.3 – Величина зносу по задній поверхні для трьох пластин різних виробників

Вибрані пластини були з радіусом заокруглення різальної кромки 1-ї пластини 30 мкм, 2-ї – 20 мкм, 3-ї – 60 мкм.

Таблиця 4.5 – Данні результатів натурального експерименту з точіння ЛРІ

	$h_z$ доп, мм	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/хв	$T$ , хв	$h_z$ отр., мм	Примітка	
<b>Підприємство № 1</b>							На підприємстві № 1 точіння виконували на верстаті 16К20Ф, на підприємстві № 2 – 16К20Ф3.	
Плас- тина за №	1	0,5	0,6	0,17	440	60		0,43
	2	0,5	0,6	0,15	415	60		0,38
	3	0,5	0,6	0,1	435	60		0,36
	4	0,5	0,6	0,2	315	60		0,47
<b>Підприємство № 2</b>								
Плас- тина за №	1	0,5	0,25	0,25	200	60		0,46
	2	0,5	0,25	0,2	150	60		0,49
	3	0,5	0,25	0,35	215	60	0,36	
	4	0,5	0,25	0,2	265	60	0,37	



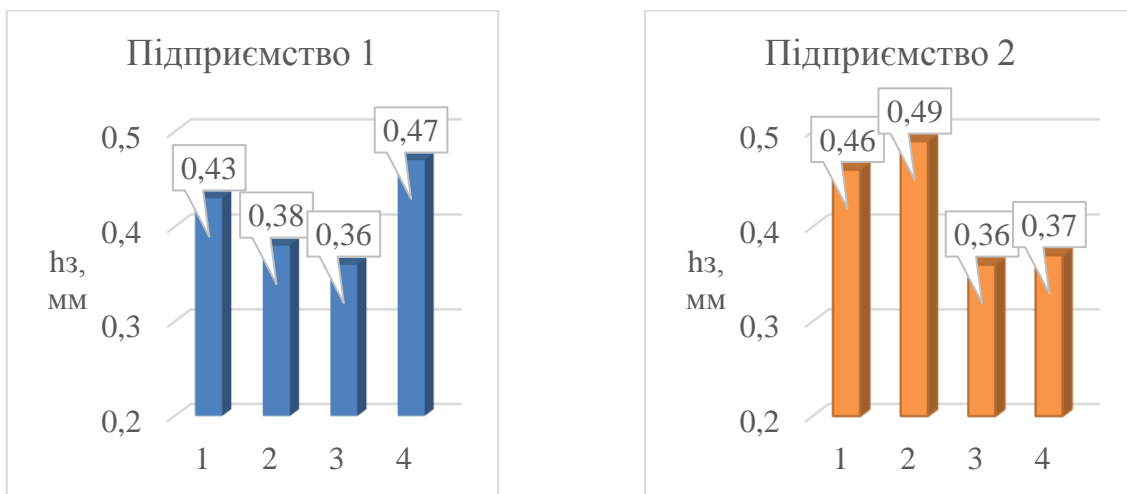


Рисунок 4.4 – Значення величини показника зношування по задній поверхні

Отже, встановлено, що значення величини показника зношування по задній поверхні за натурним експериментом відрізняються від імітаційного моделювання процесу різання від 6 до 28 відсотків, але ніколи не перевищували допустиме значення, що дозволяє забезпечити надійність технологічного процесу.

#### 4.5 Експериментальне визначення показників якості різального інструменту

4.5.1 Експериментальне визначення параметрів вагомості показників вибору цільової функції для підприємства № 1

Проведемо кодування показників якості – екстремальних значень критеріїв оптимальності технологічного процесу:

- Q1** – мінімальна собівартість.
- Q2** – максимальна продуктивність;
- Q3** – мінімальні затрати електроенергії.

Таблиця 4.6 – Кодування вхідних даних для обчислення

Експерт	Показники якості $Q_i$			$\sum_{i=1}^n Q_i$	$T_j$
	Q1	Q2	Q3		
1	1	2.5	2.5	6.0000	6.0000
2	1.5	1.5	3	6.0000	6.0000
3	1	2	3	6.0000	0.0000
4	1	2	3	6.0000	0.0000
5	1.5	1.5	3	6.0000	6.0000
6	1.5	1.5	3	6.0000	6.0000

Таблиця 4.7 – Розрахункова таблиця першого етапу обчислень

Обчислені величини	Показники якості $Q_i$		
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
$S_i$	7.5000	11.0000	17.5000
$S_i - \bar{S}$	-4.5000	-1.0000	5.5000
$(S_i - \bar{S})^2$	20.2500	1.0000	30.2500
$m \cdot n - S_i$	10.5000	7.0000	0.5000
$g_i$	0.5833	0.3889	0.0278
$\bar{R}_i$	1.2500	1.8333	2.9167
$\sigma_{Ri}$	0.2739	0.4082	0.2041
$C_R$	0.2191	0.2227	0.0700
$\sum_{i=1}^n Q_i$	36.0000		
$\sum_{i=1}^n T_i$	24.0000		

Таблиця 4.8 – Обчислення коефіцієнта конкордації  $W$  та критерію оцінки  $\chi^2$ 

$W$	0,8583	Узгодженість прийнятна
$\chi^2$	10,3000	Коефіцієнт конкордації статично значущий

Таблиця 4.9 – Обчислення коефіцієнта рангової кореляції

Експерт	1	2	3	4	5	6
$r_j$	0.7550	0.9350	0.9650	0.9650	0.9350	0.9350

Коефіцієнт конкордації Кендела  $W = 0,8583 > 0,6$ , тому узгодженість думок експертів вважаємо прийнятною.

Отже, найбільш вагомим для цього підприємства є собівартість обробки  $q = 0,583$ , далі йде продуктивність  $q = 0,3889$ .

4.5.2 Експериментальне визначення параметрів вагомості показників вибору цільової функції для підприємства № 2

Таблиця 4.10 – Кодування вхідних даних для обчислення

Експерт	Показники якості $Q_i$			$\sum_{i=1}^n Q_i$	$T_j$
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$		
1	1,5	1,5	3	6,0000	6,0000
2	1,5	1,5	3	6,0000	6,0000
3	1	2	3	6,0000	0,0000
4	1	2	3	6,0000	0,0000

Таблиця 4.11 – Розрахункова таблиця першого етапу обчислень

Обчислені величини	Показники якості $Q_i$		
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
$S_i$	5,0000	7,0000	12,0000
$S_i - \bar{S}$	-3,0000	-1,0000	4,0000
$(S_i - \bar{S})^2$	9,0000	1,0000	16,0000
$m \cdot n - S_i$	7,0000	5,0000	0,0000
$g_i$	0,5833	0,4167	0,0000
$\bar{R}_i$	1,2500	1,7500	3,0000
$\sigma_{Ri}$	0,8216	1,1292	1,8974
$C_R$	0,6573	0,6452	0,6325
$\sum_{i=1}^n Q_i$	24.0		
$\sum_{i=1}^n T_i$	12.0		

Таблиця 4.12 – Обчислення коефіцієнта конкордації  $W$  та критерію оцінки  $\chi^2$

$W$	0,9286	Узгодженість прийятна
$\chi^2$	7,4286	Коефіцієнт конкордації статично значущий

Таблиця 4.13 – Обчислення коефіцієнта рангової кореляції

Експерт	1	2	3	4
$r_j$	0,9444	0,9444	0,9444	0,9444

Коефіцієнт конкордації Кендела  $W = 0,9286 > 0,6$ , тому узгодженість думок експертів вважаємо прийнятною.

Отже, найбільш вагомим для цього підприємства є показник якості – собівартість обробки  $q = 0,5833$ , далі йде продуктивність  $q = 0,4167$ .

#### 4.5.3 Обчислення комплексних показників якості пластин

Обчислення показників якості пластин виконано за допомогою програмного продукту Microsoft Office в програмі Microsoft Excel.

Таблиця 4.14 – Розрахунок значення  $C_{\min}$ 

Варіант продукції	$D$	$l$	$V^{\text{cut}}$	$S^{\text{cut}}$	$T^{\text{cut}}$	$E_{\text{mach}}$	$E_{\text{oper}}$	$T_{\text{sub}}$	$C_c$	$K_{\text{loss}}$	$C_t$	$C_w$	$j_r$	$C_{\min}$
Пластина 1.1	80	1000	440	0.17	60	10.23	1.05	2	0	1	986	0	0	93.35
Пластина 1.2	80	1000	415	0.15	60	10.24	1.06	2	0	1	1103	0	0	120.13
Пластина 1.3	80	1000	435	0.10	60	10.25	1.07	2	0	1	1462	54	0	201.39
Пластина 1.4	80	1000	315	0.20	60	10.26	1.08	2	0	1	1057	0	0	115.80
Пластина 2.1	80	1000	200	0.25	60	10.16	0.97	2	0	1	365	0	0	86.86
Пластина 2.2	80	1000	150	0.20	60	10.17	0.98	2	0	1	1218	0	0	264.03
Пластина 2.3	80	1000	215	0.35	60	10.18	0.99	2	0	1	751	0	0	79.34
Пластина 2.4	80	1000	265	0.20	60	10.19	0.10	2	0	1	1366	0	0	156.93

Таблиця 4.15 – Розрахунок значення  $H_e$ 

<b>Варіант продукції</b>	$M_H$	$K_{pt}$	$V^{cut}$	$S^{cut}$	$l$	$D$	<b>Значення <math>H_e^{const}</math></b>	<b>Значення <math>H_e</math></b>
Пластина 1.1	4.5	84	440.00	0.17	1000	80	<b>1270.08</b>	<b>16.98</b>
Пластина 1.2	4.5	82	415.00	0.15	1000	80	<b>1489.8</b>	<b>23.94</b>
Пластина 1.3	4.5	83	435.00	0.10	1000	80	<b>2157.95</b>	<b>49.61</b>
Пластина 1.4	4.5	79	315.00	0.20	1000	80	<b>1418.21</b>	<b>22.52</b>
Пластина 2.1	4.5	86	200.00	0.25	1000	80	<b>1945.28</b>	<b>38.91</b>
Пластина 2.2	4.5	84	150.00	0.20	1000	80	<b>3166.73</b>	<b>105.56</b>
Пластина 2.3	4.5	80	215.00	0.35	1000	80	<b>1202.37</b>	<b>15.98</b>
Пластина 2.4	4.5	82	265.00	0.20	1000	80	<b>1749.81</b>	<b>33.02</b>

Таблиця 4.16 – Розрахунок значення  $\Pi_F$ 

<b>Варіант продукції</b>	$V^{cut}$	$S^{cut}$	<b>Значення <math>\Pi_F</math></b>
Пластина 1.1	440,00	0,17	74,80
Пластина 1.2	415,00	0,15	62,25
Пластина 1.3	435,00	0,10	43,50
Пластина 1.4	315,00	0,20	63,00
Пластина 2.1	200,00	0,25	50,00
Пластина 2.2	150,00	0,20	30,00
Пластина 2.3	215,00	0,35	75,25
Пластина 2.4	265,00	0,20	53,00

Таблиця 4.17 – Вихідні дані обчислення комплексного показника якості ЛРІ для підприємства № 1

Варіант продукції	Критерії оптимальності			Обмеження	
	$C^{min}$	$P_F$	$H_e$	$T$	$Ra$
Пластина 1.1	93,35	74,8	16,98	60	0,63
Пластина 1.2	120,13	62,25	23,94		
Пластина 1.3	201,39	43,5	49,61		
Пластина 1.4	115,8	63	22,52		
<b>Базове значення <math>Q_{ib}</math></b>	93,35	74,8	16,98		
Варіант продукції	Відносний показник якості			Комплексний показник якості	
	$Q1$	$Q2$	$Q3$		
Пластина 1.1	1	1	1	1	
Пластина 1.2	0,78	0,83	0,71	0,80	
Пластина 1.3	0,46	0,58	0,34	0,51	
Пластина 1.4	0,81	0,84	0,75	0,82	
<b>Коефіцієнт вагомості <math>g_i</math></b>	<b>0,5833</b>	<b>0,3889</b>	<b>0,0278</b>		

Таблиця 4.18 – Вихідні дані обчислення комплексного показника якості ЛРІ для підприємства № 2

Варіант продукції	Критерії оптимальності			Обмеження	
	$C^{min}$	$P_F$	$H_e$	$T$	$Ra$
Пластина 2.1	86,86	50,00	38,91	60	0,63
Пластина 2.2	264,03	30,00	105,56		
Пластина 2.3	79,34	75,25	15,98		
Пластина 2.4	156,93	53,00	33,02		
<b>Базове значення <math>Q_{iб}</math></b>	156,93	53,00	33,02		
Варіант продукції	Відносний показник якості			Комплексний показник якості	
	$Q1$	$Q2$	$Q3$		
Пластина 2.1	1,81	0,94	0,85	1,45	
Пластина 2.2	0,59	0,57	0,31	0,58	
Пластина 2.3	1,98	1,42	2,07	1,75	
Пластина 2.4	1,00	1,00	1,00	1,00	
<b>Коефіцієнт вагомості <math>g_i</math></b>	0,5833	0,4167	0,0000		

За результатами обчислення комплексних показників якості ЛРІ можна зробити висновок, що найкращим варіантом продукції є пластина № 1 для підприємства №1 та пластина № 3 для підприємства № 2.



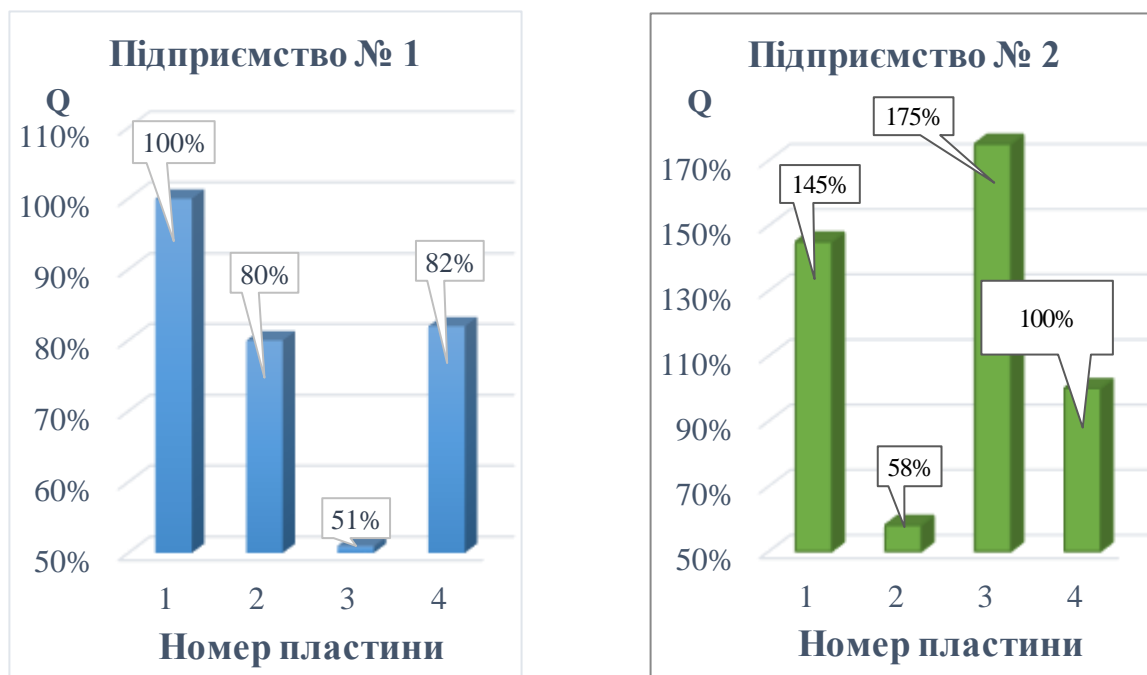


Рисунок 4.5 – Значення показника якості для ЛРІ

#### 4.6 Оцінювання невизначеності вимірювання під час визначення складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням

##### 4.6.1 Загальні положення

Експериментальне визначення дотичної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням пов'язане з непрямими вимірюваннями. Для визначення її невизначеності розділимо вихідні дані за стандартними невизначуваностями на типи А та В згідно стандарту РМГ 43-2001.

Вважатимемо відносні похибки величин прямого вимірювання такими, що належать до типу А, якщо похибка визначалася із серії однотипних вимірювань на основі статистичного аналізу отриманих даних багаторазових вимірювань. До них будемо відносити заміри лінійних розмірів індентора:  $R$ ,  $l$ ,  $d$ .

Для таких величин стандартну невизначеність вимірювання  $i$ -ї вихідної величини, для яких результат визначають як середнє арифметичне, визначено за формулою:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{u_{A,i}}{n_i - 1}}, \quad (4.1)$$

де  $n_i$  – кількість вимірювань  $i$ -ї вихідної величини,

$$u_{A,i} = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i - 1}} \quad - \quad \text{стандартна невизначеність одиничного}$$

вимірювання  $i$ -ї вихідної величини,

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}}{n_i} \quad - \quad \text{середнє арифметичне результатів вимірювань } i\text{-ї вихідної}$$

величини.

Вважатимемо відносні похибки величин прямого вимірювання такими, що належать до типу В, якщо похибка визначалася з даних попередніх вимірювань величин, що входять в рівняння вимірювання та відомостей про розподілення їх ймовірностей;

невизначуваності констант та довідників;

повірки, калібрування та паспорту устаткування (абсолютної похибки за документацією).

Невизначуваності цих даних звичайно подають у вигляді границь відхилення значення величин від їх оцінки. Найбільш поширений спосіб застосовано в роботі. Він полягає у формалізації неповного знання про значення величин способом постулювання рівномірного закону розподілення можливих значень величин у вказаних верхніх та нижніх межах  $(b_{i-}; b_{i+})$  для  $i$ -ї вихідної величини за формулою:

$$u_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}}. \quad (4.2)$$

Обчислення сумарної стандартної невизначуваності  $u_c(y)$  для некорелюючих оцінювань відбувалося за формулою:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)}, \quad (4.3)$$

де  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$  – функція вимірювань  $m$  вихідних величин.

Наслідком з правила диференціювання складних функцій є можливість представлення складної стандартної невизначуваності геометричною сумою невизначеностей складових підфункцій. Так  $\tau_0$  вважається  $\tau_0 (\Delta C_1, \Delta C_2, \Delta T)$ , а її аргументи у свою чергу є також такими функціями.

Складові для оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин наведено в табл. 4.19.

Таблиця 4.19 – Складові для оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин

№ вихідної величини	Позначення і-ї вихідної величини $x_i$	Назва і-ї вихідної величини $x_i$	Тип стандартної невизначуваності	Середнє значення $\bar{x}_i$	Значення невизначуваності $u(x_i)$	Примітка
1.	k	ціна поділки індикатора годинникового типу	B		$\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2\sqrt{3}} \approx 1,44 \cdot 10^{-4}$ мм	Середній показ індикатора (оцінка) 0,39 мм
2.	r	Радіус сферичної частини індентора	A	72,781 мм	0,036 мм	
3.	l	Довжина індентора	A	20,125 мм	0,014 мм	
4.	K	чутливість тензорезистора	B		$\frac{2 \cdot 10^{-4}}{2\sqrt{3}} \approx 5,77 \cdot 10^{-5}$	(паспорт індикатора)
5.	$\zeta$	похибка приладу	B		$\frac{7 \cdot 10^{-4}}{2\sqrt{3}} \approx 2,02 \cdot 10^{-4}$	(паспорт індикатора 1tr212)

№ вихідної величини	Позначення і-ї вихідної величини $x_i$	Назва і-ї вихідної величини $x_i$	Тип стандартної невизначуваності	Середнє значення $\bar{x}_i$	Значення невизначуваності $u(x_i)$	Примітка
6.	$\delta$	середньоквадратична похибка визначення неінформативної складової за показниками тензорезисторів-«свідків»	B		$\frac{0,5}{2\sqrt{3}} \approx 0,144$	(оцінка) 500
7.	$\zeta_0$	середньоквадратична похибка визначення неінформативної складової за показниками повзучості	B		$2 \cdot 10^{-6}$	(п. 4.6.1. ГОСТ216 16-91)
8.	$l_{\text{micro}}$	Ціна поділки масштабної лінійки мікрофотографії	B		$\frac{1 \cdot 10^{-4}}{2\sqrt{3}} \approx 2,89 \cdot 10^{-5}$ мм	
9.	$g$	Прискорення вільного падіння	B		-	
10.	$m$ $\Delta m$	Маса гирі при калібруванні	B	20 кг	$\frac{1 \cdot 10^{-3}}{2\sqrt{3}} \approx 2,89 \cdot 10^{-4}$ кг	

Невизначеність, зумовлена похибками величин непрямого вимірювання, у кожному разі визначається відносно середніх значень величин аргументів: тут і наділі ризику-позначку середнього опущено.

Для подальших розрахунків використовуємо залежності, що визначені в розділі 2, зокрема:

$$\begin{cases} C_1^1 \cdot \tau_0 + C_2^1 \cdot \beta = T^1; \\ C_1^2 \cdot \tau_0 + C_2^2 \cdot \beta = T^2. \end{cases}$$

$$C_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sum_i R_i^{12} \cdot a_i^1(R_i^1);$$

$$C_2 = 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N}{9 \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot \sum_i R_i^{12} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{12}}{(\sqrt[3]{(3/4) \cdot \eta \cdot N \cdot R})^2}} \cdot a_i^1(R_i^1)$$

$$\begin{cases} C_1^1 \cdot \tau_0 + C_2^1 \cdot \beta = T^1; \\ C_1^2 \cdot \tau_0 + C_2^2 \cdot \beta = T^2. \end{cases}$$

#### 4.6.2 Побудова моделі рівняння

Способом Крамера визначаємо вираз для непрямого обчислення значення величини  $\tau_0$

$$\tau_0 = \frac{\begin{vmatrix} T^1 & C_2^1 \\ T^2 & C_2^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} C_1^1 & C_2^1 \\ C_1^2 & C_2^2 \end{vmatrix}} = \frac{T^1 \cdot C_2^2 - T^2 \cdot C_2^1}{C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2}. \quad (4.4)$$

Абсолютна похибка величини непрямого вимірювання  $\tau_0$  ( $\Delta C_1$ ,  $\Delta C_2$ ,  $\Delta T$ ) розраховується за формулою:

$$\Delta\tau_0 = \left[ \left( \frac{C_2^2 - C_2^1}{C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2} \cdot \Delta T \right)^2 + \left( \frac{\left( T^1 \cdot C_2^2 - T^2 \cdot C_2^1 \right) \cdot \left( C_2^2 - C_2^1 \right)}{\left( C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2 \right)^2} \cdot \Delta C_1 \right)^2 + \left( \frac{\left( T^1 - T^2 \right) \cdot \left( C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2 \right) - \left( C_1^1 - C_1^2 \right) \cdot \left( T^1 \cdot C_2^2 - T^2 \cdot C_2^1 \right)}{\left( C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2 \right)^2} \cdot \Delta C_2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

#### 4.6.3 Невизначеність, зумовлена впливом крутного моменту

Вираз для значень крутного моменту постає з процедури тарирування та тензометрування під час проведення експерименту:

$$T = K_T^{map} \cdot T^{map};$$

$$\Delta T = \left[ \left( K_T^{map} \cdot \Delta T^{map} \right)^2 + \left( T^{map} \cdot \Delta K_T^{map} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

де  $\Delta T^{map}$  – абсолютна похибка показників станції тензометрування;

$\Delta K_T^{map}$  – абсолютна похибка тарирувального коефіцієнта пропорційності при перетворенні сигналів станції тензометрування.

Етапами експерименту є

Тарирування, що проводиться під дією динамометра, який через механічний зв'язок закручує систему стержнів і важелів. При цьому вважається, що стержні перебувають в простому деформівному стані чистого кручення;

$$K_T^{map} = \frac{k}{r} \cdot \frac{G}{\frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}}};$$

$$\Delta K_T^{map} = \left[ \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{G}{\frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}}} \cdot \Delta k \right)^2 + \left( \frac{k}{r^2} \cdot \frac{G}{\frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}}} \cdot \Delta r \right)^2 + \left( \frac{k}{r} \cdot \frac{1}{\frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}}} \cdot \Delta G \right)^2 + \right. \\ \left. + \left( \frac{k}{r} \cdot \frac{G}{\left( \frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}} \right)^2} \cdot \left( \frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}} \right) \cdot \Delta l \right)^2 + \left( \frac{k}{r} \cdot \frac{G}{\left( \frac{l}{I_p} + \frac{l_1}{I_{p1}} \right)^2} \cdot \left( \frac{l}{I_p^2} + \frac{l_1}{I_{p1}^2} \right) \cdot \frac{\pi}{8} \cdot (d^3 + d_1^3) \cdot \Delta l \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

де  $\Delta k$  – абсолютна похибка індикатора годинникового типу;

$\Delta r$  – абсолютна похибка вимірювання відстані від осі навантаження до індикатора;

$\Delta G$  – абсолютна похибка вимірювання точності пружних сталей для матеріалів стола та обвіса;

$\Delta l$  – абсолютна похибка вимірювання геометричних розмірів робочих областей стола та обвіса.

$l, l_1$  – робочі довжини круглих стержнів стола та додаткового стержня обвіса.

$l, l_1$  – робочі довжини круглих стержнів стола та додаткового стержня обвіса.

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32}, \quad I_{p1} = \frac{\pi d_1^4}{32} \quad \text{– полярні моменти інерції при крученні круглих}$$

стержнів стола та додаткового стержня обвіса.

Далі виокремлено складові:

$$\left( \frac{k}{r} \cdot \frac{G}{\left( \frac{l}{I_p} + \frac{l_l}{I_{p1}} \right)^2} \cdot \left( \frac{l}{I_p} + \frac{l_l}{I_{p1}} \right) \cdot \Delta l \right)^2 \quad - \text{ для осьових геометричних розмірів};$$

$$\left( \frac{k}{r} \cdot \frac{G}{\left( \frac{l}{I_p} + \frac{l_l}{I_{p1}} \right)^2} \cdot \left( \frac{l}{I_p^2} + \frac{l_l}{I_{p1}^2} \right) \cdot \frac{\pi}{8} \cdot (d^3 + d_1^3) \cdot \Delta l \right)^2 \quad - \text{ для радіальних}$$

геометричних розмірів.

Тензометрування відбувається за методологією стандарту Р 50-54-45-88 «Расчеты и испытания на прочность. Экспериментальные методы определения напряженно-деформированного состояния элементов машин и конструкций». Метод натурної тензометрії енергетичного обладнання і середньоквадратична похибка визначається за ним же, а саме виразом:

$$\frac{\Delta T^{map}}{T^{map}} = \sqrt{\left( \frac{\xi - \delta - \xi_n}{K \cdot \Phi_t} \right)^2 \left( \frac{1}{K^2} \frac{\Delta K}{K} + \frac{1}{\Phi_t^2} \frac{\Delta \Phi_t}{\Phi_t} \right) + \frac{1}{K^2 \cdot \Phi_t^2} \left( \left( \frac{\Delta \zeta}{\zeta} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \delta}{\delta} \right)^2 + \left( \frac{\Delta \zeta_0}{\zeta_0} \right)^2 \right)},$$

де  $K$  – коефіцієнт чутливості тензорезистора;

$\delta$  – середня величина показників тензорезисторів-«свідків», встановлених за визначеною схемою (повний міст або напівміст);

$\xi$  і  $\xi_n$  – вихідний сигнал і сумарна неінформативна складова вихідного сигналу;

$\Phi_t$  – значення функції впливу температури на чутливість тензорезистора за чинної температури;

$$\frac{\Delta K}{K} \text{ и } \frac{\Delta \Phi_t}{\Phi_t} \text{ – середньоквадратичні похибки чутливості і функції впливу}$$

температури на чутливість тензорезистора;



$\frac{\Delta\zeta}{\zeta}$  – похибка приладу;

$\frac{\Delta\delta}{\delta}$  и  $\frac{\Delta\zeta_0}{\zeta_0}$  – середньоквадратичні похибки визначення неінформативної

складової за показниками тензорезисторів-«свідків» та повзучості.

Допустимо неврахування величин  $\xi_{\text{п}}$  та  $\Delta\xi_{\text{п}}$ , уважаючи складові похибки, які пов'язані з повзучістю, випадковими, за умови обґрунтування прийнятих значень складових похибок, пов'язаних з повзучістю.

4.6.4 Невизначеність, зумовлена обчисленням величини  $C_1$

$$\Delta C_1 = \left\{ \sum_i \sum_j \left[ \left( A^{(j)I} \cdot \Delta l_{\text{micro}} \right)^2 + \left( 2 \cdot R_i^I \cdot \sqrt{A^{(j)I}} \cdot \Delta l_{\text{micro}} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}};$$

$$C_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sum_i R_i^{I2} \cdot a_i^I(R_i^I) = 2 \cdot \pi \cdot \sum_i R_i^{I2} \cdot \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^I} = \sum_i \left[ R_i^I \cdot \sum_j A^{(j)I} \right] = \sum_i \sum_j R_i^I \cdot A^{(j)I};$$

$$a_i^I(R_i^I) = \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^I}, \quad i = 1 \dots n^I.$$

$\Delta l_{\text{micro}}$  – похибка вимірювання геометричних розмірів плями контакту, якщо мікрознімок растровий, то  $\Delta l_{\text{micro}}$  – половина величини роздільної здатності мікроскопа;

$l_{\text{micro}} = \sqrt{A^{(j)I}}$  – середній лінійний розмір плями адгезійного зчеплення у  $i$ -му кільці її розбиття;

$R_i^I$  – середній радіус  $i$ -го кільця розбиття плями адгезійного зчеплення.

4.6.5 Відносна похибка визначення величини  $C_2$ 

$$\begin{aligned}
C_2 &= 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N}{9 \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot \sum_i R_i^{12} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_i^{12}}{\left(\sqrt[3]{(3/4) \cdot \eta \cdot N \cdot R}\right)^2}} \cdot a_i^I(R_i^I) = \\
&= 2 \cdot \sqrt[3]{6} \cdot \sum_i R_i^{12} \cdot \sqrt{\frac{N^{\frac{4}{3}}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{12}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^{\frac{4}{3} + \frac{2}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3} + \frac{2}{3}}}} \cdot \frac{\sum_j A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^I} = \\
&= 2 \cdot \sqrt[3]{6} \cdot \sum_i \sum_j R_i^{12} \cdot \sqrt{\frac{N^{\frac{4}{3}}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{12}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot \frac{A^{(j)I}}{2 \cdot \pi \cdot R_i^I} = \\
&= \frac{\sqrt[3]{6}}{\pi} \cdot \sum_i \sum_j \sqrt{\frac{N^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot A^{(j)I};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta C_2 = & \left[ \left( \frac{\sqrt[3]{6}}{\pi} \cdot \sum_i \sum_j \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}}} \cdot \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{N_i^{\frac{1}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} \right) \cdot A^{(j)I} \cdot \Delta N \right)^2 + \right. \\
& + \left( \frac{\sqrt[3]{6}}{\pi} \cdot \sum_i \sum_j \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}}} \cdot \left( -\frac{4}{3} \cdot \frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} + 2 \cdot \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^3 \cdot R^2} \right) \cdot A^{(j)I} \cdot \Delta \eta \right)^2 + \\
& + \left( \frac{\sqrt[3]{6}}{\pi} \cdot \sum_i \sum_j \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}}} \cdot \left( 2 \cdot \frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^1}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - 4 \cdot \frac{R_i^{13}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2} \right) \cdot A^{(j)I} \cdot \Delta l_{micro} \right)^2 + \\
& + \left( \frac{\sqrt[3]{6}}{\pi} \cdot \sum_i \sum_j \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}}} \cdot \left( -\frac{4}{3} \cdot \frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} + 2 \cdot \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^3} \right) \cdot A^{(j)I} \cdot \Delta l_R \right)^2 + \\
& \left. + \left( \frac{\sqrt[3]{6}}{\pi} \cdot \sum_i \sum_j \sqrt{\frac{N_i^{\frac{4}{3}} \cdot R_i^{12}}{\eta^{\frac{4}{3}} \cdot R^{\frac{4}{3}}} - \frac{R_i^{14}}{(3/4)^{\frac{2}{3}} \cdot \eta^2 \cdot R^2}} \cdot 2 \cdot \sqrt{A^{(j)I} \cdot \Delta l_{micro}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned}$$

#### 4.6.6 Невизначеність, зумовлена визначенням значень сили повздожнього стискання

Вираз для значень сили повздожнього стискання визначається аналогічно до крутного моменту і постає з процедури тарування та тензометрування при проведенні експерименту:

$$N = K_N^{map} \cdot N^{map};$$

$$\Delta N = \left[ \left( K_N^{map} \cdot \frac{\Delta N^{map}}{N^{map}} \right)^2 + \left( N^{map} \cdot \frac{\Delta K_N^{map}}{K_N^{map}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

де  $\Delta N$  – похибка визначення повздожньої (визначалася за допомогою ваги вантажа)

Етапами експерименту є

Тарирування, що проводиться під дією динамометра, який через механічний зв'язок закручує систему стержнів і важелів. При цьому вважається, що стержні перебувають у простому деформівному стані чистого повздожнього стискання:

$$K_N^{map} = mg;$$

$$\Delta K_N^{map} = \left[ (m \cdot \Delta g)^2 + (g \cdot \Delta m)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Тензометрування відбувається аналогічно за методологією стандарту Р 50-54-45-88 Расчеты и испытания на прочность. Експериментальні методи визначення напружено-деформованого стану елементів машин та конструкцій. Метод натурної тензометрії енергетичного обладнання становить:

$$\frac{\Delta N^{map}}{N^{map}} = \frac{\Delta T^{map}}{T^{map}}.$$

4.6.7 Невизначеність, зумовлена визначенням значень комплексу пружних сталих матеріалів

Визначення  $\Delta \eta$  – похибки визначення комплексу пружних сталих матеріалів.

Примітка: за умови використання табличних значень приймаємо  $\Delta \eta = 0$ , або розраховуємо згідно рекомендацій чинних нормативних документів:

$$\eta = (1 - \nu_1^2) / E_1 + (1 - \nu_2^2) / E_2$$

$$\Delta\eta = \left[ \left( \frac{2 \cdot \nu_1}{E_1} \cdot \frac{\Delta\nu_1}{\nu_1} \right)^2 + \left( \frac{1 - \nu_1^2}{2 \cdot E_1^2} \cdot \Delta E_1 \right)^2 + \left( \frac{2 \cdot \nu_2}{E_2} \cdot \Delta\nu_2 \right)^2 + \left( \frac{1 - \nu_2^2}{2 \cdot E_2^2} \cdot \Delta E_2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

де  $\nu_1, \nu_2$  – коефіцієнти Пуассона;

$E_1, E_2$  – модулі повздовжньої пружності (модулі Юнга першого роду).

#### 4.6.8 Бюджет невизначеностей

Бюджет невизначеностей наведено в табл. 4.20.

Таблиця 4.20 – Складові для оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Розподіл	Коефіцієнт чутливості
$u(\Delta T)$	0,186 Н*м	$2,5 \cdot 10^{-4}$ Н*м	Нормальний	1,0
$u(\Delta N)$	792 Н	1 Н	Нормальний	1,0
$u(\Delta R^i)$	Від 0,14 до 1,4 мм	0,001 мм	Рівномірний	1,0
$u(\Delta A^j)$	$2,37 \cdot 10^{-4}$ мм <sup>2</sup>	$1,2 \cdot 10^{-4}$ мм <sup>2</sup>	Рівномірний	1,0
$u(R)$	768 мм	0,02 мм	Рівномірний	1,0

#### 4.6.9 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності

Сумарну стандартну невизначеність вихідної величини розраховуємо за формулою:

$$u_c = \left[ \left( \frac{C_2^2 - C_2^1}{C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2} \cdot \Delta T \right)^2 + \left( \frac{\left( T^1 \cdot C_2^2 - T^2 \cdot C_2^1 \right) \cdot \left( C_2^2 - C_2^1 \right)}{\left( C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2 \right)^2} \cdot \Delta C_1 \right)^2 + \left( \frac{\left( T^1 - T^2 \right) \cdot \left( C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2 \right) - \left( C_1^1 - C_1^2 \right) \cdot \left( T^1 \cdot C_2^2 - T^2 \cdot C_2^1 \right)}{\left( C_1^1 \cdot C_2^2 - C_2^1 \cdot C_1^2 \right)^2} \cdot \Delta C_2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$u_c \approx 10,5 \text{ МПа}$$

#### 4.6.10 Оцінювання розширеної невизначеності

Розширену невизначеність для  $p = 0,95$  оцінюємо за формулою:

$$U = k \cdot u_c$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення (для рівномірного закону розподілу приймаємо  $k = 1,65$ ).

Загальна інформація щодо оцінювання розширеної невизначеності наведено в табл. 4.21.

Таблиця 4.21 – Загальна інформація, щодо оцінювання розширеної невизначеності

Вихідна величина	Оцінка вихідної величини, МПа	Стандартна сумарна невизначеність, МПа	Рівень довіри	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, МПа
$\tau_0$	157,2	10,5	0,95	1,65	17,3

#### 4.7 Висновок

Експериментально доведено ефективність запропонованого інструментарію щодо кількісного оцінювання якості ЛРІ, основою якого є імітаційне моделювання процесу різання.

За результатами виробничих випробувань запропонованого неруйнівного експрес-методу оцінювання якості ЛРІ встановлено, що значення технологічної собівартості оброблювання, яке отримано експериментально, перебуває в діапазоні 10 % від значення, отриманого за розрахунками технологічної собівартості оброблювання за реальними режимами обробки на підприємствах.

Перевірка адекватності методу визначення показників стійкості ЛРІ на основі імітаційного моделювання процесу різання, що враховує трибологічну взаємодію інструментального та оброблюваного матеріалів та радіус

округлення леза різального інструменту показало розсіювання показників в діапазоні до 30%. Це зумовлено припущеннями та визначеннями числових значень, що були закладені в імітаційну модель, зокрема для інструментального матеріалу – модуля поздовжньої пружності  $E$ , коефіцієнту Пуассону  $\mu$ , теплопровідності  $\lambda$ , теплоємності  $C$ ; та визначенням безрозмірного коефіцієнту питомого заповнення площі відносної опорної поверхні адгезійного захоплення на висоті серединної поверхні до повної площі оброблюваної поверхні  $t_{mA}$ .

За результатами теоретичних та експериментальних даних рекомендовано стандартизовані геометричні розміри індентора для визначення адгезійної складової сили тертя, а саме: діаметр 6 мм, довжина робочої частини 15 мм, радіус округлення торця 800 мм.

## **5 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ПРОГНОЗУВАННЯ НА БАЗІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

### **5.1 Концептуальна модель інформаційної системи управління ІПВ**

Сертифікація системи управління якістю машинобудівного підприємства на відповідність вимогам ДСТУ ISO 9001:2009 передбачає впровадження процесного підходу. В [38] запропоновано процесно-орієнтовану модель системи управління якістю ІПВ, що поділяє процеси ІПВ на два рівні (тактичний і оперативний) та дозволяє підвищити ефективність функціонування ІПВ. Однак, в умовах впровадження програмних засобів з автоматизації різних робіт як управлінського, так і виробничого характеру, необхідно вдосконалювати діяльність підприємства шляхом розробки та впровадження інформаційних систем управління виробництвом, що відповідають вимогам і принципам CALS-технологій. Можливості цих систем охоплюють автоматизоване проектування й виготовлення інструмента та оснащення, облік й управління процесами, планування закупівель комплектуючих та ін.

Особливістю функціонування інформаційної системи управління є наявність єдиного інформаційного простору (бази даних), за допомогою якого здійснюється «безпаперове» управління. Це дозволяє значно скоротити строки виконання процесів, виконувати моніторинг й планування, ефективно управляти змінами та ін.

За рекомендаціями, що викладені в роботі Івченко О.В., для більш ефективного управління якістю розроблюваної ІС ІПВ пропонується виділити два рівні управління процесами інструментозабезпечення:

- тактичний рівень управління якістю ІПВ;
- оперативний рівень управління якістю ІПВ.



У процесі тактичної ІС ІПВ прокат технологічного оснащення організується шляхом послідовного проведення контролю технічних завдань, проектування технологічного оснащення й виявлення можливості застосування наявного ТО або ТО, що складається зі стандартних деталей, елементів, агрегатів, що перебувають на зберіганні на базі прокату; проектування універсальних і спеціальних елементів, або деталей, що розширюють можливості застосування наявного оснащення; проектування монтажних схем компонувань технологічного оснащення зі стандартних вузлів і деталей; складання компонування технологічного оснащення за монтажною схемою й підготовки її до експлуатації в умовах прокату; зберігання технологічного оснащення бази, що належить, прокату обліку її застосовності.

Процес оперативної ІС ІПВ полягає у виконанні сукупності оперативних виробничих завдань, які являють собою комплекс заходів щодо оснащення робочих місць заздалегідь підготовленими комплектами якісного технологічного оснащення, інструментів і технічної документації відповідно до оперативного завдання й технологічним процесом.

Взаємодія даних процесів здійснюється через загальні процеси управління системою ІС ІПВ, шляхом передачі з бази прокату в процес оперативної ІС ІПВ технологічного оснащення, розробленої й підготовленої в процесі тактичної ІС ІПВ.

Отже, загальна модель інформаційної системи управління ІПВ поєднує процеси життєвого циклу інструменту та оснащення, управління ресурсами ІПВ, виміру, її аналізу й поліпшення (як на тактичному, так і на оперативному рівнях) у єдиному інформаційному просторі (рис. 5.1).

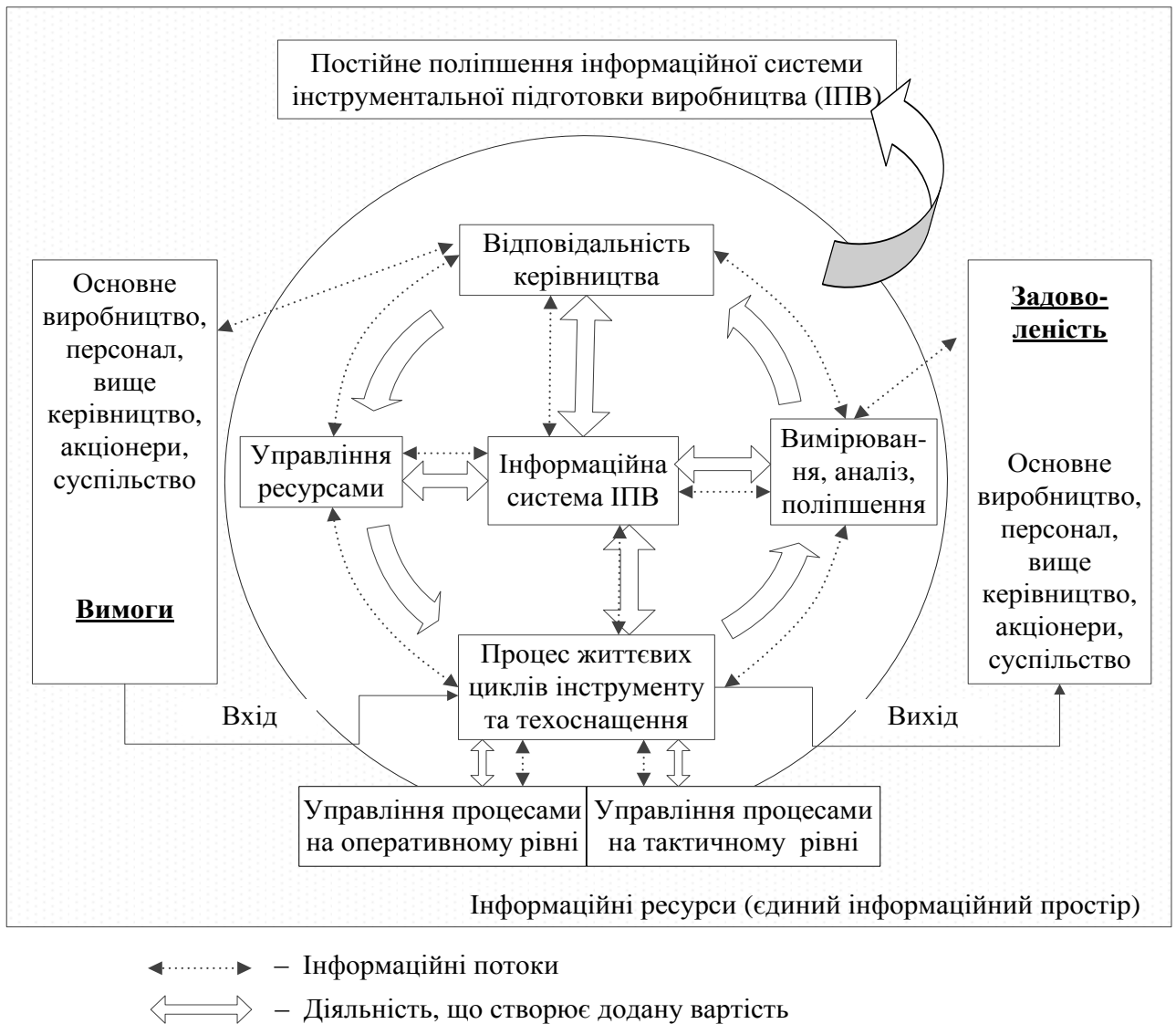


Рисунок 5.1 – Модель системи управління ІПВ відповідно до вимог ДСТУ ISO 9001

Концептуально модель процесно-орієнтованої системи управління ІПВ в умовах інформаційних технологій можна зобразити у вигляді трьох взаємозалежних моделей: організаційної моделі ІПВ, інформаційної моделі системи ІПВ і системи управління якістю ІПВ (рис. 5.2).

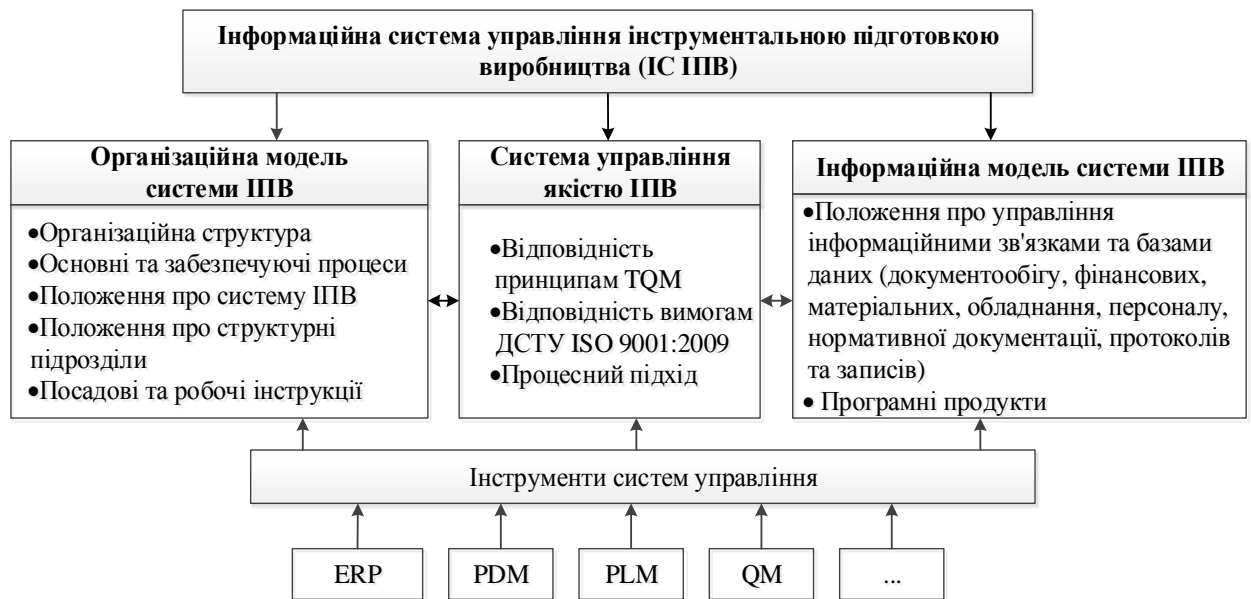


Рисунок 5.2 – Концептуальна модель системи управління ІПВ в умовах застосування інформаційних технологій

Аналіз рис. 5.2 показує наявність великої кількості різноманітних інструментів, які можуть бути застосовані при реалізації запропонованої концептуальної моделі системи управління ІПВ. Реалізація цієї моделі обумовлена наявністю проблем, пов'язаних, з одного боку, із розробкою та впровадженням систем управління якістю ІПВ, з іншого – впровадженням програмних продуктів та інформаційних засобів.

Для реалізації процесного підходу запропоновано модель його реалізації в умовах ІС ІПВ (рис. 5.3). Ця модель несе універсальний характер та дозволяє реалізовувати процесний підхід на підприємствах, що мають різну форму організаційних структур.

На основі аналізу стандартів підприємства і системного підходу запропонована структура інтегрованої системи інструментозабезпечення на машинобудівному підприємстві (рис. 5.3). Були виділені наступні основні елементи: база знань, що включає базу прецедентів і систему кодифікації інструменту відповідно до CALS-технологією; модулі системи управління «життєвим циклом» інструменту.

Інформаційна система повинна забезпечувати формування керуючих рішень на всіх етапах «життєвого циклу» інструменту й оцінку формованих рішень. Таким чином, виникає необхідність в функціональному розподілі роботи системи на локальні, відносно невеликі, завдання, які вирішуються окремими модулями за етапами «життєвого циклу». Підхід, практикуючий побудову модульної організації за умови уніфікації процедур обміну даними дозволяє легко масштабувати і одночасно розширювати систему. Запропоновані наступні основні модулі, що реалізують методики управління: модуль формування програми випуску; модуль формування зведеної специфікації інструменту; модуль вибору оптимальних постачальників; модуль планування виробництва, а також модулі моніторингу.

Ядром ІС ІПВ для забезпечення процесу формування інформаційного супроводу інструменту на всіх етапах життєвого циклу має бути єдина база знань.

Програмний компонент ІС ІПВ повинен являти собою синтез моделей прийняття рішень на кожному з етапів життєвого циклу інструменту. На підставі проведеного аналізу методів математичного моделювання було встановлено, що для моделювання стохастичних процесів в рамках розроблюваної автоматизованої системи найбільш переважно використання методу мереж. Для моделювання статичних процесів достатньо використання методів лінійного або динамічного програмування [77].

Відповідно до CALS-технології ІС ІПВ повинна зберігати всю інформацію про прийняті рішення, що вимагає ведення кодифікації рішень, прийнятих на кожному етапі життєвого циклу інструменту. Кодифікація інструменту є необхідним елементом функціонування системи інструментозабезпечення.

При побудові інформаційної системи ІПВ необхідно враховувати певні стандарти підприємства з інструментозабезпечення. Використовувані на машинобудівних підприємствах стандарти є застарілими, у зв'язку з чим спостерігається повна розбіжність серед споживачів інструменту в

розрахунках потреби в інструменті; незадовільне планування і контроль виконання замовлень; відсутність системи оптимізації витрат і запасів інструменту.

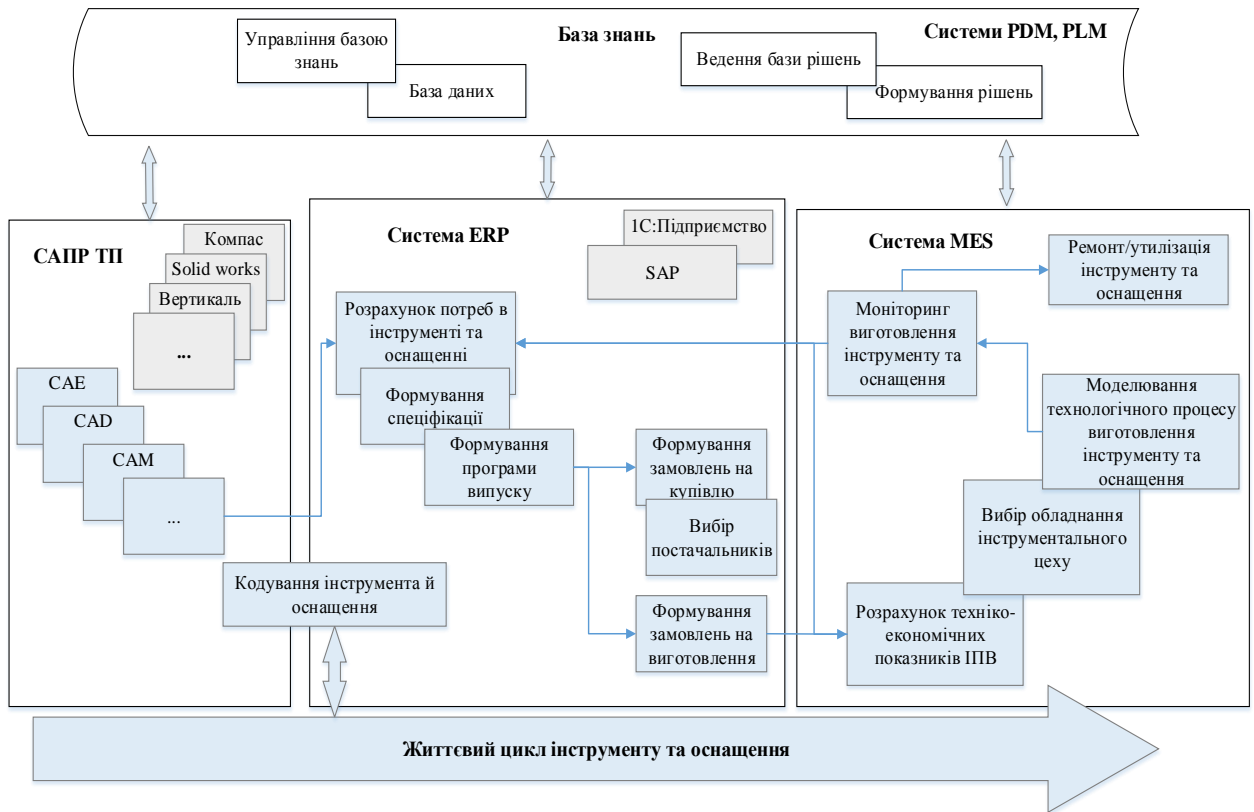


Рисунок 5.3 – Модель інформаційної системи управління якістю ІПВ (процесний підхід)

## 5.2 Розроблення класифікації ТЕП та витрат на якість процесів ІС ІПВ

### 5.2.1 Класифікація ТЕП

В процесі діяльності забезпечення інструментом і оснащенням на підприємстві повинні забезпечуватися такі види діяльності, як управління виробництвом, якістю, персоналом, охороною навколишнього середовища та охороною праці персоналу (рис. 5.4).

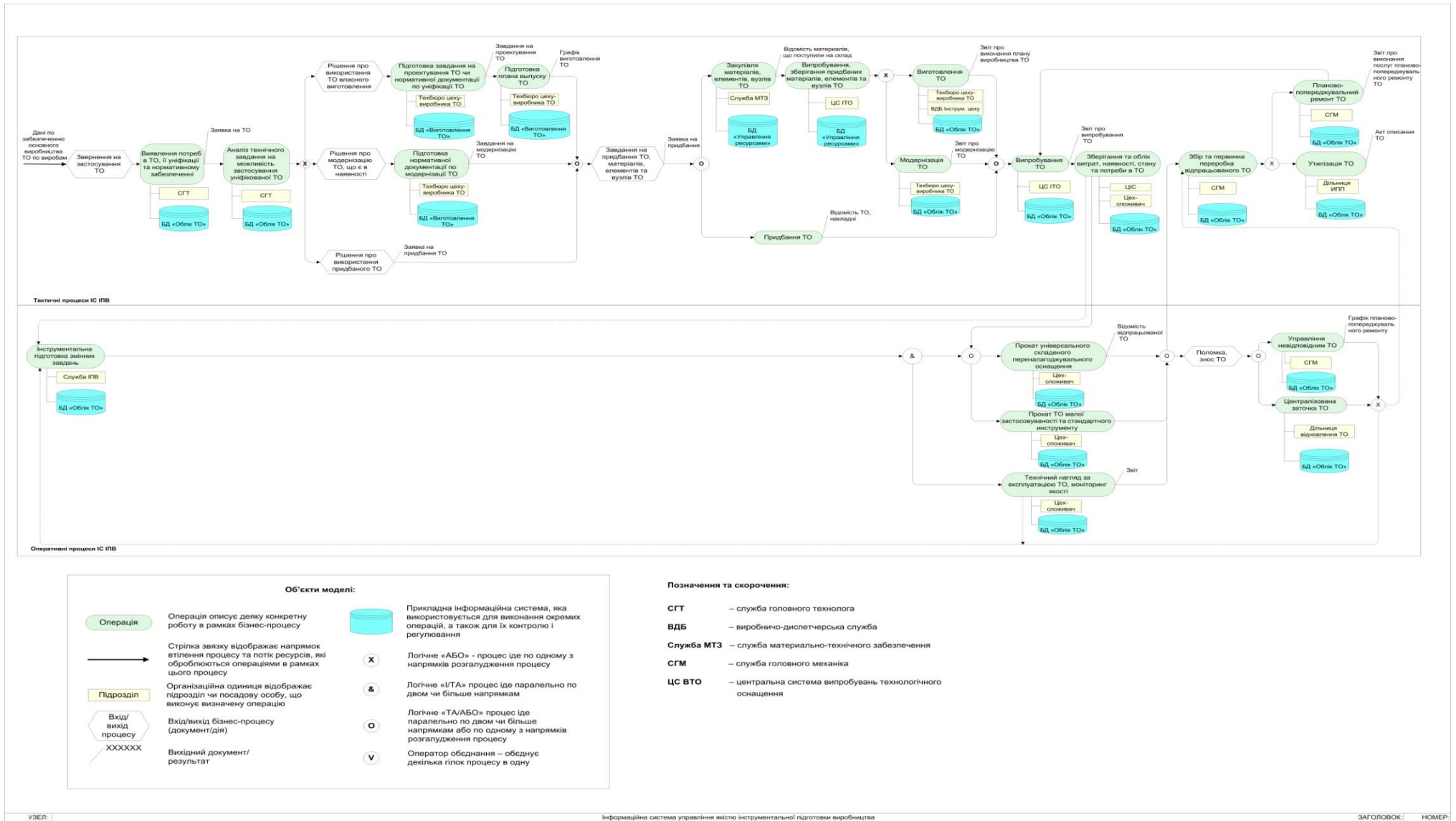


Рисунок 5.4 – Типова структура ІС ІПВ

Н.В. Янковський в [78] наголосив, що на сучасному етапі розвитку управління підприємством вчені і практики дійшли до висновку, що управляти діяльністю необхідно системно. Окрім створення та впровадження систем управління різними видами діяльності (системи управління якістю, системи управління охороною навколишнього середовища та ін.) є доцільним розроблення системи техніко-економічних показників ІС ІПВ (далі – ТЕП). ТЕП повинні бути:

- значущі – повинні бути пов'язані з цілями ІС ІПВ;
- пов'язані – повинні бути співвіднесені до інших показників в системі;
- прості – повинні бути зрозумілими персоналу та легко вираховуватися;
- вимірні – їх можливо порівняти з аналогічним показниками інших підрозділів підприємства.

Впровадження системи ТЕП на ІС ІПВ надасть можливості всебічно характеризувати як результат, так і динаміку її процесів.

Тому доцільно розподілити ТЕП ІС ІПВ за видами діяльності:

- організаційно-економічні;
- виробничі;
- управління якістю;
- екологічні;
- соціальні.

**Організаційно-економічні ТЕП** характеризують та організаційно-економічний рівень ІС ІПВ, так і її складові елементи: фінансовий стан, обігові кошти, основні засоби, персонал, а також результат діяльності.

Узагальнюючи досвід [6, 109] до організаційно-економічних показників ІС ІПВ можна віднести:

- капіталовіддача/капіталомісткість;
- матеріаловіддача/матеріаломісткість;
- енергомісткість ТО;
- обсяг виготовленої ТО;

- собівартість ТО;
- середньомісячна заробітна плата;
- продуктивність праці;
- показник використання робочого часу виробничих робітників;
- показник, що характеризує питому вагу виробничих робітників системи ІПП у загальній чисельності працюючих;
- показник, що враховує питому вагу інструментальної продукції в загальному обсязі виробництва;
- показник рівня організації ремонту та забезпечення запасними частинами;
- показник, що враховує питому вагу інструментальної продукції в загальному обсязі виробництва;
- показник організації робіт по збору та відновлення технологічного оснащення;
- показник централізованої доставки вантажів інструментального виробництва;
- показник стану організації прокату;
- показник рівня витрати технологічного оснащення;
- показник рівня використання системи централізованого заточення інструменту;
- показник технічного рівня інструментальної підготовки оперативних (змінних) завдань.

**Виробничі ТЕП** характеризують технічну досконалість ІПВ, забезпеченість виробництва ТО необхідними потужностями, прогрес в техніці і технології виробництва ТО, застосування сучасних методів і форм організації виробництва ТО, раціональний розподіл витрат матеріалів, засобів, праці та часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні й експлуатації продукції.

До виробничих ТЕП ІС ІПВ можна віднести [42]:

- питома вага ТО, що відповідає світовим стандартам;



- питомий обсяг бракованого ТО;
- показник прогресивності структури обладнання;
- показник використання обладнання;
- показник використання виробничих площ;
- показник використання площ складу ІРК;
- показник диференціації ІВ;
- показник спеціалізації ІВ;
- показник безперервності ІВ;
- показник повторюваності ІВ;
- показник паралельності ІВ;
- показник пропорційності ІВ;
- показник прямоточності ІВ;
- показник універсалізації ІВ;
- показник гнучкості ІВ;
- показник автоматизації інструментального виробництва;
- показник механізації інструментального виробництва;
- рівень дефективності ТО;
- коефіцієнт використання ТО;
- коефіцієнт використання виробничої потужності;
- коефіцієнт інтенсивного навантаження устаткування;
- коефіцієнт дублювання функцій;
- коефіцієнт використання робочого часу.

Підходи до управління якістю процесів регламентуються стандартом ДСТУ ISO 9001, одним з вимог якого є орієнтація на процесний підхід. Тому при виборі показників якості ІС ІПВ важливо враховувати не тільки якість виготовленого ТО, але й рівень якості процесів життєвого циклу ТО.

Під якістю процесу ІПВ розуміють здібність сукупності властивостей процесу ІПВ виконувати пред'явлені до нього вимоги виробництва. Показники якості процесу ІПВ можуть розглядатися як для окремих видів ТО, так і для робочого місця, дільниці, цеху, підприємства.

Тому **ТЕП якості** процесів ІС ІПВ характеризують: якість технології виробництва ТО, якість процесів експлуатації ТО, якість складових на вході та виході процесів ІПВ: виробничих систем, робітників, інформації. До цих показників можна віднести:

- коефіцієнт стандартизації;
- показник якості технічної документації по ІС ІПВ;
- показник уніфікації ІВ;
- показник прогресивності ТП ІВ;
- показник відновлення ТО;
- технологічний коефіцієнт точності ТП,
- рівень стандартизації ТО,
- рівень нормативного забезпечення.

Безпечність діяльності персоналу та охорона його праці також важливий напрямок в удосконаленні діяльності сучасних підприємств. Впровадження стандарту ДСТУ ОHSAS 18001:2010 [111] на підприємстві зменшує небезпечні фактори на виробництві, попереджає виникнення нещасних випадків при зменшенні витрат на відшкодування втрати здоров'я або працездатності працівників та зменшенні збитків від простоїв на виробництві.

Отже при аналізуванні вимог ДСТУ ОHSAS 18001:2010 можна виділити **соціальні ТЕП:**

- показник функціонального розподілу праці робітників
- показник функціонального розподілу праці ІТР та службовців системи ІПВ
- рівень нормативної документації в сфері охорони праці;
- рівень інструктажу персоналу;
- показник зайнятості персоналу;
- показник наявності використання засобів індивідуального захисту;
- рівень потенційної небезпечності;
- показник рівня атестації персоналу, що працює з підвищеною небезпечністю.

Необхідно звернути увагу на той факт, що здійснення господарської діяльності підприємства суттєво впливає на стан навколишнього середовища. Сучасні підприємства усвідомлюють, що є необхідним знаходження нових шляхів в зменшенні наслідків від їх діяльності. Одним із таких шляхів є впровадження стандарту ДСТУ ISO 14001, на базі якого створюється система управління навколишнім середовищем. Тому **екологічні ТЕП** повинні характеризувати стан екологічного об'єкту, ефект від реалізації природоохоронних завдань та заходів, раціональне використання природних ресурсів, а також соціальні питання, які залежать від екологічного стану.

Тому до екологічних ТЕП можна віднести:

- рівень потенційної небезпечності технологічних процесів ТО для навколишнього середовища;
- рівень планування і контролю заходів;
- рівень змісту та оформлення доказової документації екологічної безпеки процесів;
- питомий показник утворення відходів;
- частка скорочення обсягів викидів від загального обсягу;
- зменшення щільності викидів в атмосферне повітря по відношенню до певної території;
- зменшення кількості днів, у які забруднення атмосферного повітря перевищувало ГДК;
- рівень відповідності НД вимогам стандартів навколишнього середовища;
- рівень виконання вимог до захисту навколишнього середовища (по кожному процесу).

Виходячи із визначення ІПВ, яке наведене в розділі 1, додатково пропонується оперувати окремими показниками:

- витрати на якість процесів ІС ІПВ;
- рівень якості ТО.

Перелік, детальний опис та розрахункові формули зазначених в цьому розділі ТЕП наведені в додатку В. Показник «витрати на якість процесів ІС ІПВ» уособлює поєднання великого масиву витрат.

Окрім видів діяльності зазначені ТЕП рекомендується класифікувати за рівнем управління процесами ІС ІПВ (ТЕП організаційного та тактичного рівнів) та за результирующим оптимальним значенням ТЕП:

- відносні ТЕП, які знаходяться в інтервалі 0—1 (оптимальне значення 1);
- ТЕП, які мають оптимальне абсолютне значення;
- ТЕП, що визначаються згідно логічних суджень експертів.

Отже запропонована система ТЕП, що показана табл. 5.1 для тактичного рівня і 2.2 для оперативного рівня діяльності ІС ІПВ, сприятиме прийняттю своєчасних та ефективних організаційно-економічних, виробничих, соціальних та екологічних рішень як для поточного, так і для перспективного розвитку ІС ІПВ.

Для наочного представлення рекомендується визначати комплексні техніко-економічні показники:

$K_o$  – комплексний організаційно-економічний ТЕП;

$K_v$  – комплексний виробничий ТЕП;

$K_c$  – комплексний соціальний ТЕП;

$K_y$  – комплексний ТЕП якості процесів ІС ІПВ;

$K_e$  – комплексний екологічний ТЕП.

Комплексний ТЕП розраховується за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n (k_i)^{\frac{1}{n}}, \quad (5.1)$$

де  $k_i$  – значення техніко-економічних показників в класифікаційній групі (в балах),

$n$  – кількість ТЕП в класифікаційній групі.

Таблиця 5.1 – Система ТЕП на тактичному рівні

ТЕП за видами	ТЕП за результуючим оптимальним значенням		
	Відносні, знаходяться в інтервалі 0 – 1 (оптимальне значення 1)	Які мають оптимальне абсолютне значення	Визначаються згідно логічних суджень експертів
1	2	3	4
Організаційно-економічні	капіталовіддача; матеріаловіддача; показник використання робочого часу виробничих робітників.	капіталомісткість; матеріаломісткість; обсяг виготовленої ТО; енергомісткість ТО; собівартість ТО; середньомісячна заробітна плата робітників ІС ІПВ; продуктивність праці.	–
Виробничі	використання обладнання; використання виробничих площ; диференціації ІВ; безперервності ІВ; повторюваності ІВ; паралельності ІВ; прямоточності ІВ; універсалізації ІВ; гнучкості ІВ; автоматизації ІВ; рівень дефективності ТО.	прогресивності структури обладнання; використання площ складу ІРК; спеціалізації ІВ; пропорційності ІВ; механізації інструментального виробництва; коефіцієнт використання виробничої потужності; коефіцієнт дублювання функцій.	–
Якості	витрати на якість процесів ІС ІПВ; коефіцієнт стандартизації ІПВ; показник уніфікації ІВ; показник прогресивності ТП ІВ; технологічний коефіцієнт точності ТП рівень стандартизації ТО. рівень нормативного забезпечення.	–	показник якості технічної документації по ІС ІПВ; рівень якості ТО.

1	2	3	4
Соціальні	показник зайнятості персоналу; показник рівня атестації персоналу, що працює з підвищеною небезпечністю. рівень потенційної небезпечності технологічних процесів ТО для навколишнього середовища	показник функціонального розподілу праці ІТР та службовців системи ІПВ.	рівень інструктажу персоналу; рівень нормативної документації в сфері охорони праці; показник наявності використання засобів індивідуального захисту; рівень потенційної небезпечності; рівень планування і контролю заходів.
Екологічні	частка скорочення обсягів викидів від загального обсягу; зменшення щільності викидів в атмосферне повітря по відношенню до певної території; рівень відповідності НД вимогам стандартів навколишнього середовища; питомий показник утворення відходів.	зменшення кількості днів, у які забруднення атмосферного повітря перевищувало ГДК.	рівень змісту та оформлення доказової документації екологічної безпеки процесів; рівень виконання вимог до захисту навколишнього середовища (по кожному процесу).

Таблиця 5.2 – Система ТЕП на оперативному рівні

ТЕП за видами діяльності	ТЕП за результиуючим оптимальним значенням		
	Відносні, знаходяться в інтервалі 0 – 1 (оптимальне значення 1)	Які мають оптимальне абсолютне значення	Визначаються згідно логічних суджень експертів
Організаційно-економічні	Показники: що характеризує питому вагу виробничих робітників системи ІПВ у загальній чисельності працюючих; рівня організації ремонту та забезпечення запасними частинами; що враховує питому вагу інструментальної продукції в загальному обсязі виробництва; стану організації прокату; рівня витрати ТО; рівня використання системи централізованого заточення інструменту.	показник, що враховує питому вагу інструментальної продукції в загальному обсязі виробництва; показник організації робіт по збору та відновлення ТО; показник централізованої доставки вантажів ІВ; показник технічного рівня інструментальної підготовки оперативних (змінних) завдань.	–

Виробничі	коефіцієнт використання ТО; коефіцієнт інтенсивного навантаження устаткування; питома вага ТО, що відповідає світовим стандартам.	–	–
Якості	показник відновлення ТО; коефіцієнт стандартизації ППВ; рівень стандартизації ТО.	–	рівень якості ТО.
Соціальні	рівень нормативної документації в сфері охорони праці; рівень інструктажу персоналу; показники: функціонального розподілу праці ІТР та службовців системи ППВ; зайнятості персоналу; рівня атестації персоналу, що працює з підвищеною небезпечністю.	–	показник наявності використання засобів індивідуального захисту
Екологічні	питомий показник утворення відходів; частка скорочення обсягів викидів від загального обсягу; зменшення кількості днів, у які забруднення атмосферного повітря перевищувало ГДК; рівень відповідності НД вимогам стандартів навколишнього середовища.	зменшення щільності викидів в атмосферне повітря по відношенню до певної території.	рівень змісту та оформлення доказової документації екологічної безпеки процесів; рівень потенційної небезпечності технологічних процесів ТО для навколишнього середовища; рівень планування і контролю заходів; рівень виконання вимог до захисту навколишнього середовища (по кожному процесу).

### 5.2.2 Класифікація витрат на якість процесів ІС ППВ

Як показано в розділі 1, витрати на якість процесів підприємства настільки різноманітні, що їх необхідно розподілити за класифікаційною ознакою для того, щоб максимально полегшити контроль над витратами на якість процесів ППВ. Відомо, що класифікація це науковий метод, який дозволяє вивчати будь-які явища або об'єкти шляхом систематизації та впорядкування їхніх складових.

Використання системи класифікації витрат на якість дозволяє аналізувати й прогнозувати показники не лише в цілому по ІПВ, але й по окремих її процесах. Чіткий та повний зміст класифікації забезпечує основу аналізу та моделювання інформаційних потоків ІПВ, що є дієвим інструментом з реалізації циклу Джурана-Демінга – «плануй→виконуй→перевірйай→дій». Крім того, необхідність класифікації витрат обумовлена неоднорідністю різних видів витрат за складом, змістом, роллю у виробничому процесі, зв'язку з обсягом виробництва та ін. Тільки за допомогою класифікації витрати на якість процесів ІПВ можна ефективно використовувати в управлінні ІС ІПВ.

Витрати на якість продукції (послуг) виступають як внутрішня економічна основа системи якості, що дозволяє визначити наслідки будь-яких управлінських рішень, які приймаються в системі якості. Забезпечується це шляхом проведення діяльності з організації обліку, аналізу й прогнозування витрат на якість у відповідності з прийнятою системою їх класифікації.

Для правильної організації процесу управління витратами на якість класифікація витрат на підприємствах повинна бути теоретично обґрунтована, методично виправдана й придатна до практичного використання.

При розробленні класифікації витрат на процеси ІС ІПВ необхідно враховувати такі вимоги:

- забезпечення повноти відображення обсягу витрат; не перетинання виділених груп витрат;
- можливість включення нових груп витрат;
- лаконічність, чіткість та ясність класифікаційних ознак;
- незмінність прийнятої класифікаційної ознаки на всіх рівнях класифікації.

З метою забезпечення перелічених вимог розроблювана система класифікації витрат на якість процесів ІС ІПВ повинна базуватися на наступних принципах.



*Істотності і стабільності.* Принцип полягає в існуванні міри аналітичності, яка передбачає, що витрати на ведення обліку не перевищують цінності отриманої у результаті цього інформації.

*Стандартизації.* Принцип заснований на тому, що при розробці класифікації до вибору (призначенню) статей витрат використано стандартизований підхід.

*Пристосовності.* Полягає в тому, що будь-яка номенклатура статей не може бути абсолютною і повинна змінюватися адекватно змінам на виробництві.

*Причинно-наслідкового зв'язку.* Принцип характеризує стосунки між витратами на якість процесів ІС ППВ і їх носіями.

Повнота класифікації витрат залежить від правильного визначення її ознаки групування. Для визначення вихідного масиву класифікаційних ознак був проведений аналіз вітчизняних та світових систем класифікації витрат, запропонованих видатними вченими, а також світовими та національними нормативними документами. В підрозділі 2.4 було встановлено, що на сьогодні існує ряд класифікацій витрат на якість: за цільовим призначенням, за виглядом, за можливістю обліку, за стадіями життєвого циклу продукції і таке інше. Результати проведеного аналізу зведені в табл. 5.1.

Необхідно відмітити, що ряд систем ППВ сучасних вітчизняних машинобудівних підприємств, у т.ч. і запропонована авторами типова ІС ППВ, має специфіку, яка полягає в тому, що вона охоплює різні сфери діяльності підприємства та є «виробництвом у виробництві».

Тому на багатьох підприємствах витрати на якість процесів ІС ППВ складаються не тільки з витрат, що стосуються закупівлі та експлуатації інструменту та оснащення, а й з витрат на виробничі процеси їх виготовлення, включаючи витрати на процеси, які відбуваються на рівні управління якістю ІС ППВ.

Для проектування класифікації запропоновано використовувати один з методів експертних оцінок – метод ранжування. Сутність методу ранжування

(або методу надання переваги) полягає у тому, що кожний експерт позначає ознаки у порядку надання переваги над усіма останніми, у відповідності з чим кожному показнику встановлюється свій ранг. Досвід показав, що цей метод є дуже ефективним при перекладі метричної форми показників в неметричну. Але необхідно враховувати, що метод ранжування не дає можливості проводити аналіз великих масивів даних. Разом з тим, однією з суттєвих переваг цього методу є те, що він простий в користуванні. Взагалі можна відмітити, що рейтингові системи є сучасним інструментом вивчення й аналізу різних систем, ситуацій, зокрема оцінки стану та розвитку, розширення методів використання результатів та прийняття управлінських рішень.

Запропонований метод набуває ролі з'єднувальної ланки між умовами реального процесу ІС ІПВ та оптимальною системою класифікації витрат.

Аналіз табл. 5.2 дає можливість виділити групи класифікаційних ознак, які можуть бути основою для класифікування витрат на якість процесів ІС ІПВ. Виділені групи показані у табл. 5.3.

Процедура розробки класифікації складається з двох основних етапів: на першому етапі проводиться вибір оптимальної множини найменувань ознак  $X$ , на другому – множини числових значень  $x$  кожної ознаки.

Проведення експертизи ставить на меті визначення результуючих оцінок по кожній досліджуваній ознаці й об'єднання ознак за цими оцінками представляє собою процес, що складається з етапів, які показані на рис. 5.5.

Таблиця 5.3 – Групи класифікаційних ознак витрат на якість процесів підприємства

<b>Група ознак</b>	<b>Найменування ознак класифікації</b>
По відношенню до обліку і аудиту витрат	витрати на планування; витрати на облік; витрати на аналіз; витрати на аудит, контроль.
По відношенню до дефектів	витрати на попередження; витрати на оцінку рівня якості; втрати від браку
За ієрархією рівнів керування	витрати на рівні керування; на стратегічному рівні; на тактичному рівні;

<b>Група ознак</b>	<b>Найменування ознак класифікації</b>
	на оперативному рівні.
По відношенню до відповідності	витрати на відповідність; витрати як наслідок невідповідності.
За рівнями процесів	витрати на основні процеси; витрати на забезпечуючі процеси; витрати на керуючі процеси.
По відношенню до користувачів	витрати, що відносяться до зовнішніх користувачів; витрати, що відносяться до внутрішніх користувачів
За характером відношення до калькуляційного об'єкту	прямі та непрямі ; постійні та змінні
В залежності від рівня ієрархії	витрати на якість продукції; на якість діяльності; на якість фірми
За цільовим призначенням	на забезпечення якості та на управління якістю
За економічним характером	поточні (постійні) та одноразові
За видом витрат	виробничі, невиробничі витрати
За об'єктами формування	витрати на продукцію, процеси або послуги
За видами обліку	витрати при оперативному, бухгалтерському, цільовому обліку
За характером структурування	витрати по підприємству, по виробництву, по видах продукції
За способом обліку	планові та фактичні витрати
За стадіями життєвого циклу продукції	витрати на якість при розробці, виготовленні та експлуатації продукції
За можливістю обліку	витрати, що піддаються прямому обліку, не піддаються прямому обліку та витрати, що не доцільно враховувати
За методом визначення	прямі, непрямі витрати
За функціями	витрати на проектування, на закупівлю, на виробництво та ін.

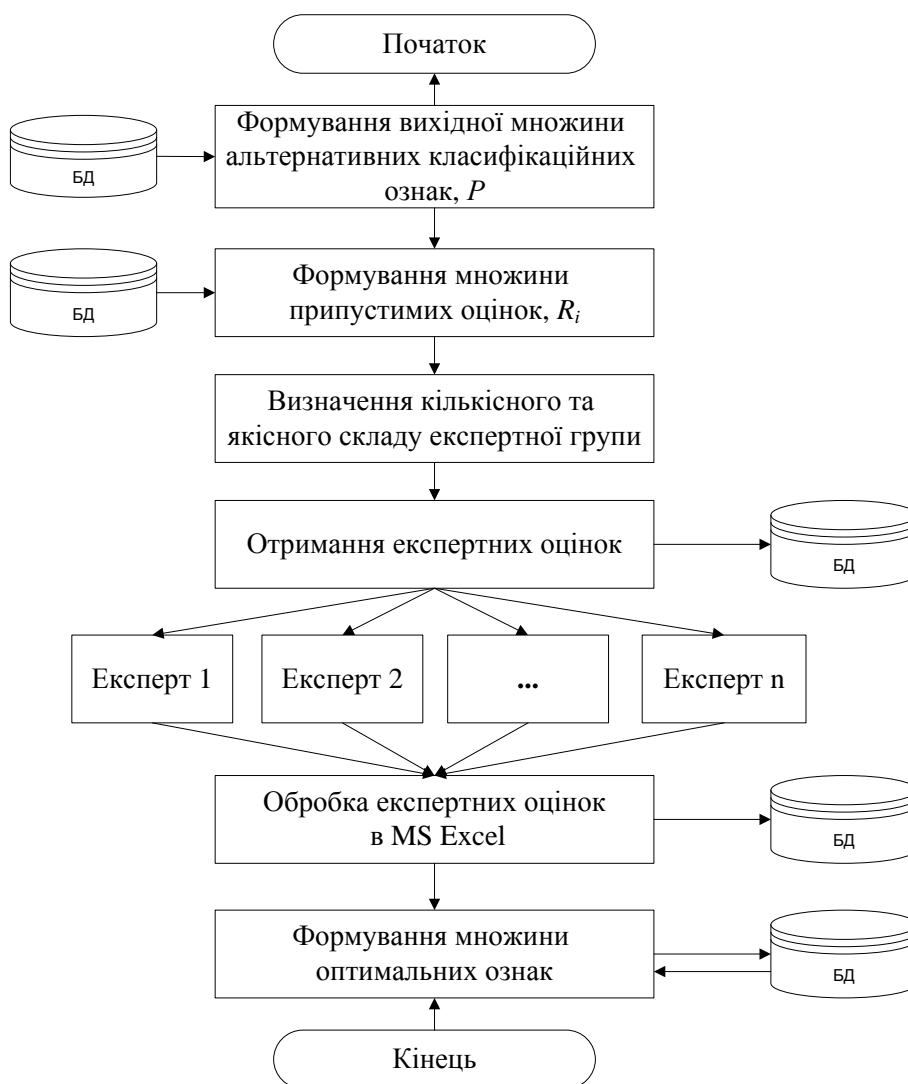


Рисунок 5.5 – Алгоритм проведення методу ранжування при визначенні класифікаційних ознак витрат на якість процесів ІС ІПВ

Бланк опитування експерта включає перелік груп ознак, які наведені в таблиці 5.3, та рангові оцінки.

Обробка даних експертного опитування полягає у визначенні узгодженості думок експертів і підрахунку зведених характеристик опитування щодо кожного показника. Порядок обробки даних представлено в третьому розділі роботи.

На основі проведених досліджень з опитування восьми експертів за розробленою методикою пропонується класифікація витрат, фрагмент якої представлено на рис. 5.6.

У розробленій класифікації запропоновано усі витрати розділити на дві групи:

витрати на забезпечення якості процесів ІС ІПВ (операційні, на контроль, на виправлення помилок);

витрати на забезпечення процесу управління якістю процесів ІС ІПВ.

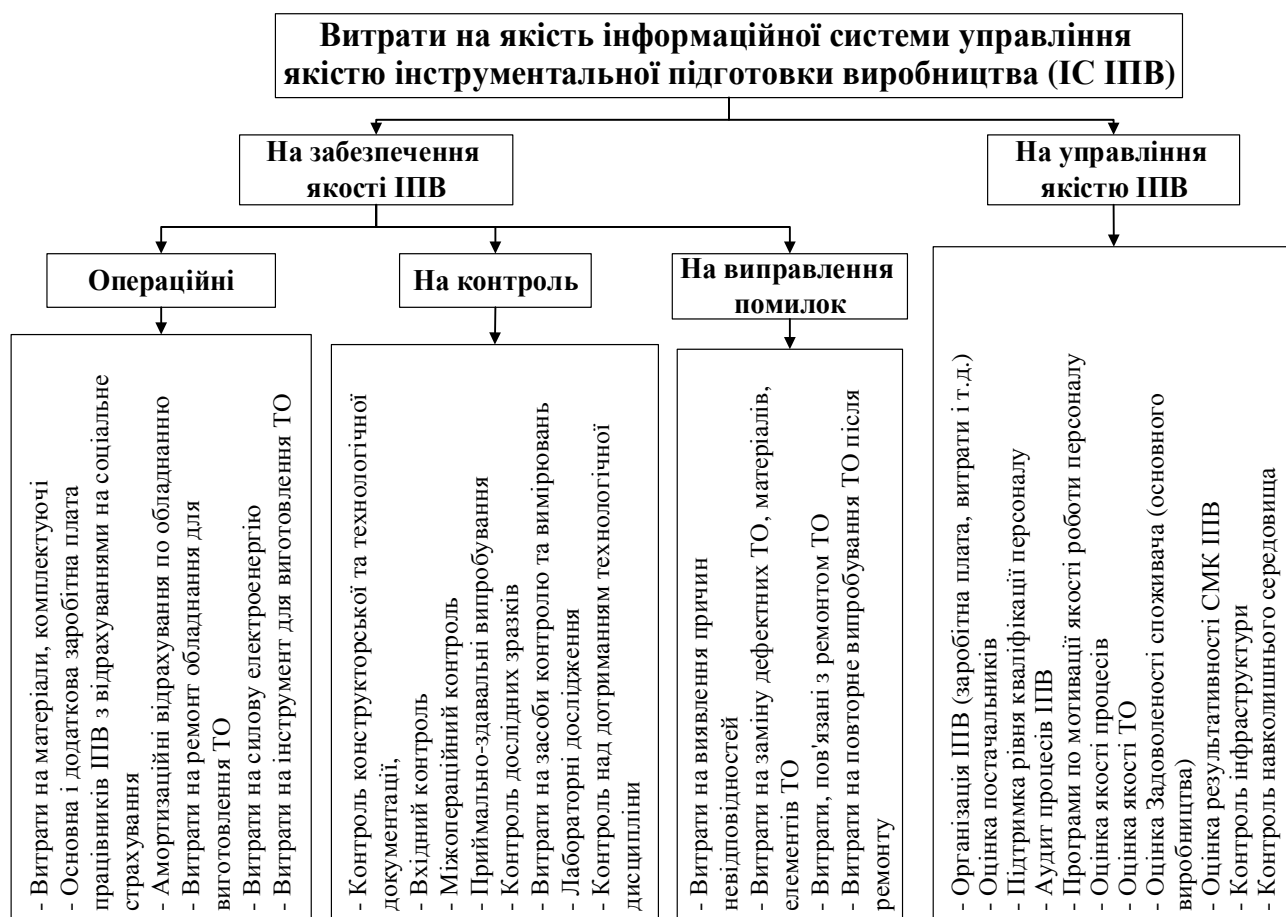


Рисунок 5.6 – Класифікація витрат на якість процесів ІПВ.

### 5.3 Математична модель прийняття рішень в інформаційній системі управління якістю інструментальної підготовки виробництва

#### 5.3.1 Загальна концепція моделі прийняття рішень в ІС ІПВ

Інформація, що отримується про ТЕП ІС ІПВ є тою основою, що дозволить прийняти стратегічно важливі для керівництва рішення в сфері якості. В той же час ця інформація повинна мати упорядкований, зрозумілий

та зручний вигляд особи, що приймає рішення. Особливо важливим є вибір найбільш прийняттого методу аналізу й оцінювання ТЕП ІС ІПВ. Вибір того або іншого методу залежить від того, наскільки чітко й коректно поставлені цілі та виду інформації, яку необхідно одержати, а також наскільки вона є точною та оперативною.

Одним із шляхів вирішення проблеми щодо аналізу й оцінювання ТЕП ІС ІПВ є створення математичної моделі щодо прийняття рішення стосовно ІПВ машинобудівного підприємства. Ця модель повинна базуватися на основі процесного й системного підходів та забезпечувати виконання принципу міжнародних стандартів ISO серії 9000 – «прийняття рішень на основі фактів».

Процес прийняття рішень реалізується на основі наступних рекомендацій: 1) визначення цілей та завдань ІС ІПВ; 2) врахування питань, що пов'язані не тільки з отриманням якісного ТО, а й іншими процесами ІС ІПВ; 3) орієнтація на вимоги основного виробництва; 4) визначення всіх необхідних ТЕП, що забезпечать раціональний життєвий цикл ТО; 5) встановлення цільової функції та прийняття рішень на основі визначення раціональної гілки ЖЦ ТО.

З метою виконання цих вимог в роботі запропонована математична модель визначення раціональної стратегії ІПВ (див. рис. 2.7), яка базується на застосуванні методу оптимізації на графі та теорії марківських ланцюгів. Слід зазначити, що представлена в цій статті модель дозволяє обрати раціональну стратегію ІПВ, але не виключає можливості прийняття іншого остаточного рішення особою, що його приймає.

Алгоритм запропонованої моделі показаний на рисунку 5.7.

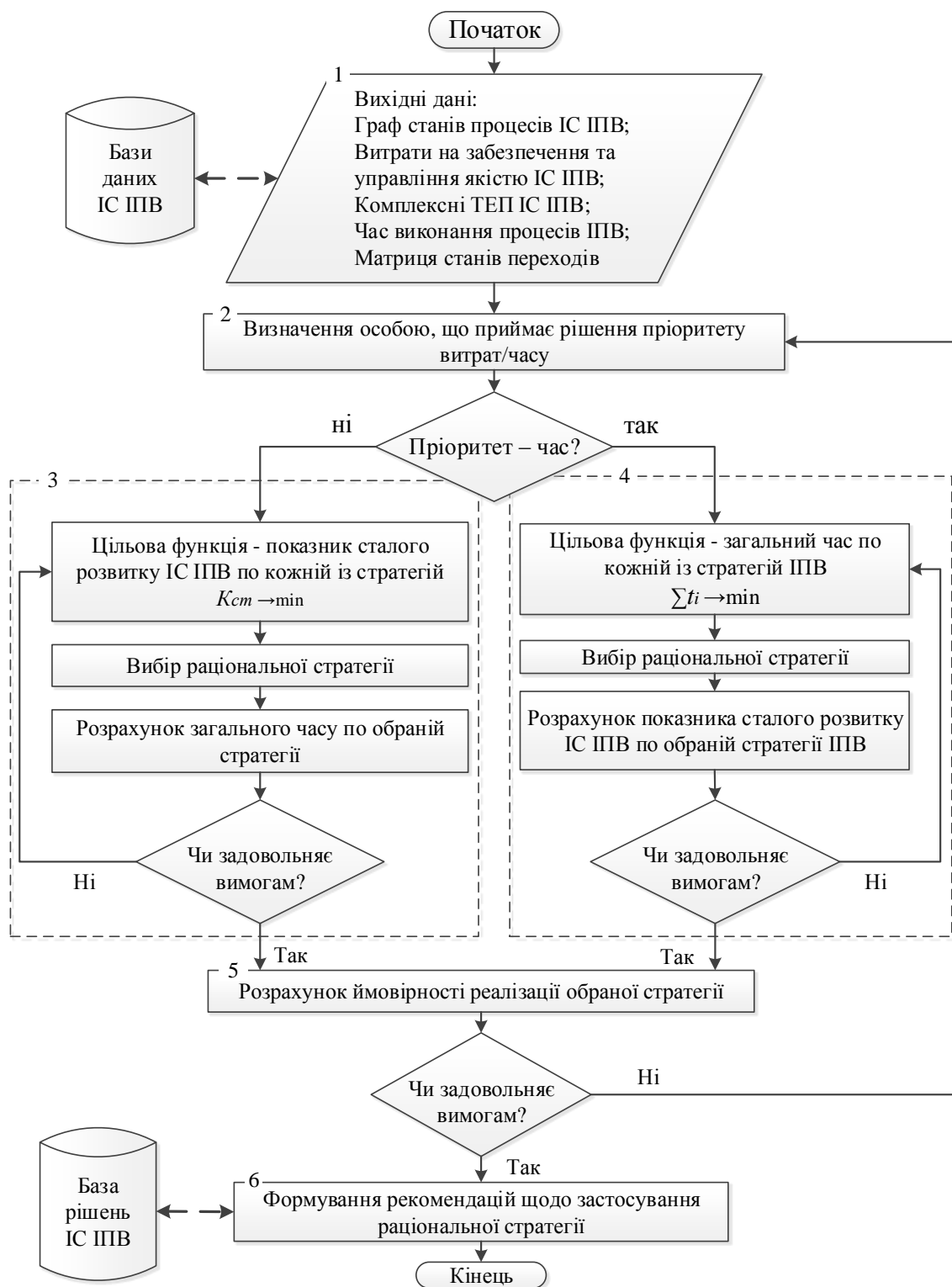


Рисунок 5.7 – Блок-схема реалізації математичної моделі щодо прийняття рішень в ІС ІПВ

У блоці 1, запропонованої моделі, формується банк даних, необхідних для побудови моделі, а також проводиться аналіз станів процесів ІС ІПВ. Сучасні інформаційні системи дозволяють обробляти інформацію достатньо

великих обсягів. Разом з тим, у реальних умовах з метою зменшення часу на прийняття раціонального рішення необхідно намагатися (на скільки це є можливим) скорочувати (зменшувати) масиви даних. Бажання відобразити повну схему процесів ІС ІПВ може призвести до отримання дуже деталізованої інформації, що може бути не дуже значимою, але суттєво збільшить час, потрібний на її обробку, систематизацію тощо. Більшість таких систем можуть виявитися неефективними, тому модель управління ІС ІПВ повинна бути агрегованою. Під агрегуванням розуміють заміну опису сукупності процесів описом процесу, який відображає зміст заміненої сукупності процесів та включає істотні характеристики цієї сукупності.

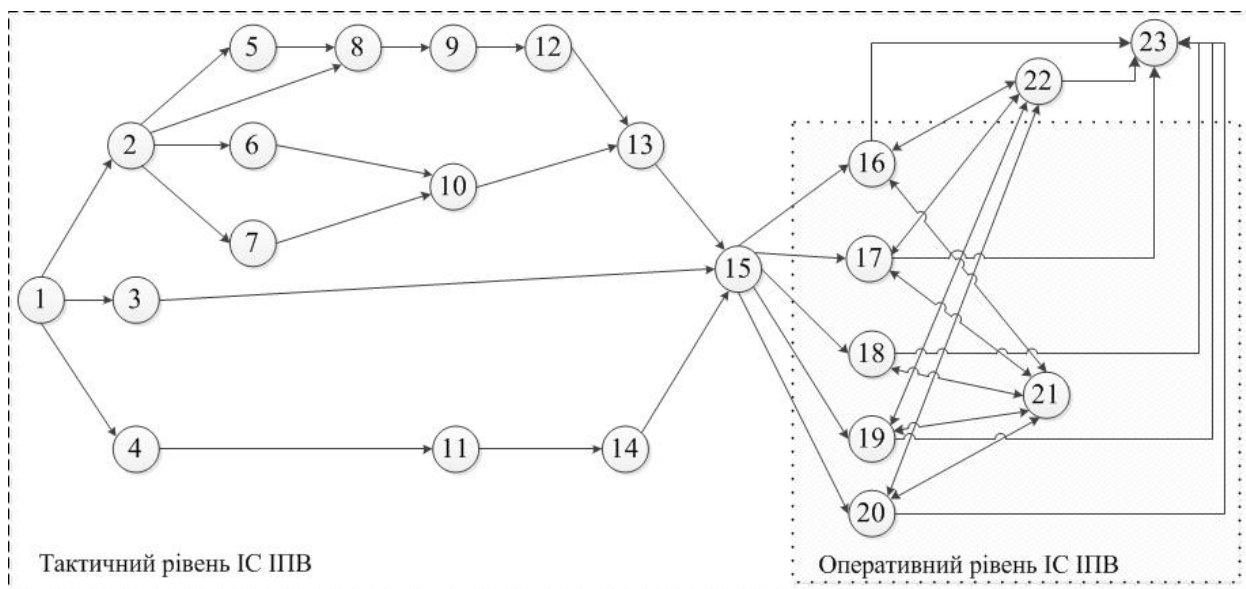
Беручи до уваги це зауваження, модель управління ІС ІПВ, що наведена в 5.1, можна представити у вигляді орієнтованого графу  $G(S, t)$ , де  $S$  – впорядковані пари вершин, а  $t$  – це дуги, що їх з'єднують.

Граф станів процесів ІС ІПВ представлений на рисунку 5.8.

Одна з вагомих переваг сучасних інформаційних систем полягає в створенні єдиного інформаційного простору, що значно спрощує обмін інформацією, а також збір необхідних даних. Крім того, системи управління, що базуються на принципах CALS-технологій дозволяють створювати великі масиви вихідних даних в найкоротший строк. Вихідними даними для прийняття раціонального рішення щодо процесів ІС ІПВ є плановані значення витрат на забезпечення та управління якістю ІС ІПВ (на основі застосування методів прогнозування) та комплексних техніко-економічних показників ІС ІПВ (виражених в балах), прогнозний час виконання процесів ІС ІПВ, а також матриця переходів станів процесів ІС ІПВ.

Блок 2 (рис. 2.7) – це реалізація процедури визначення особою, що приймає рішення, пріоритету «витрати / час».





1 - виявлення потреб в ТО, її уніфікації та нормативному забезпеченні; 2 – прийняття рішення про виготовлення, модернізацію ТО чи використання збірного ТО; 3 – прийняття рішення про використання ТО, що є в наявності; 4 – прийняття рішення про закупівлю уніфікованого ТО; 5 – розроблення проекту на виготовлення ТО; 6 - розроблення проекту на модернізацію ТО; 7 - розроблення проекту на складання ТО; 8 – підготовка плану випуску ТО; 9 – закупівля матеріалів; 10 – закупівля комплектуючих; 11– закупівля ТО; 12 – виготовлення ТО; 13 – приймально-здавальні випробування ТО; 14 – приймальні випробування ТО; 15 – зберігання ТО; 16 – прокат виготовленого ТО; 17 – прокат модернізованого ТО; 18 – прокат збірного ТО; 19 – прокат ТО, що є в наявності; 20 – прокат придбаного ТО; 21 – централізоване заточування інструменту; 22 – ремонт ТО; 23 – утилізація ТО.

Рисунок 5.8 – Граф станів процесів IC ПІВ

За результатами аналізу діяльності вітчизняних та зарубіжних машинобудівних підприємств було встановлено, що прийняття рішень стосовно ПІВ засноване, як правило, на виконанні двох найбільш розповсюджених умов: 1) виконання діяльності з мінімальними витратами (найбільш розповсюджена умова); 2) мінімізація часу виконання встановлених задач для ПІВ.

З огляду на отриманні результати запропоновано процес прийняття рішень щодо вибору раціональної стратегії з ІПВ розділити на дві окремі ланки, що представлені у вигляді блоків 3 та 4 на рис. 5.7.

У блоці 3 реалізується стратегія виконання діяльності з мінімальними витратами при забезпеченні необхідного рівня ТЕП ІС ІПВ, інакше кажучи – реалізується стратегія забезпечення сталого розвитку ІС ІПВ. Зазвичай на підприємствах процес планування випуску продукції чітко відлагоджений, тому заздалегідь відомий графік забезпечення ТО робочих місць. В такому випадку функція часу при здійсненні ІПВ має обмежувальний характер.

В загалі сталий розвиток – це концепція керованого розвитку, яка поєднує в собі три складові: економічну, екологічну і соціальну. Всі три елементи повинні розглядатися збалансовано, тому основним завданням є їх узгодження. Основою керованості сталого розвитку є системний підхід та сучасні інформаційні технології, які дозволяють дуже швидко моделювати різні варіанти напрямків розвитку, з високою точністю прогнозувати їх результати та вибрати найбільш оптимальний.

Таким чином, в основі прийняття рішення пропонується цільова функція оптимізації – функція визначення коефіцієнта сталого розвитку ІС ІПВ, який визначається за формулою:

$$K_{ст} = Q_{я} \cdot \sum_{j=1}^m \sqrt[6]{\left( \frac{B_6}{\sum_{j=1}^m B_j} \right)^{\gamma_1}} \cdot K_{oj}^{\gamma_2} \cdot K_{ej}^{\gamma_3} \cdot K_{яj}^{\gamma_4} \cdot K_{ej}^{\gamma_5} \cdot K_{cj}^{\gamma_6} \rightarrow \min \quad (5.4)$$

де  $Q_{я}$  – показник якості процесу ІС ІП;

$B_j$  – витрати на якість процесів ІПВ;

$B_6$  – базовий показник витрат на якість процесів ІПВ;

$K_o, K_e, K_{я}, K_e, K_c$  – відповідно організаційно-технічний, виробничий, якості процесів ІС ІПВ, екологічний та соціальний комплексні ТЕП, які

розраховуються для кожного процесу життєвого циклу ІС ІПВ за формулою 3.1;

$\gamma_1, \dots, \gamma_6$  – коефіцієнти вагомості комплексних ТЕП відповідно: організаційно-технічного, виробничого, якості процесів ІС ІПВ, екологічного та соціального.

Використання показника якості процесу ІС ІПВ дозволяє виключити шлях, якість процесів якого не задовольняє вимогам особи, що приймає рішення. Якщо рівень якості процесу ІС ІПВ задовольняє вимогам, то приймається  $Q_j = 1$ , якщо не задовольняє, то  $Q_j = 0$ .

Витрати на якість процесів ІС ІПВ, визначаються окремо для конкретного підприємства згідно запропонованої в 5.2.2 класифікації з урахуванням його техніко-економічного стану та ін. факторів економіки. Також, в залежності від часу, в який витрати на якість визначаються, вони можуть бути прогнозними чи розрахованими.

Необхідно також відмітити, що витрати на процес життєвого циклу ТО приймаються на одиницю ТО, тобто плановані витрати на якість процесів ІС ІПВ розраховуються за формулою:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^m (B_{z_i} + B_{y_i})}{K_{ТО}}, \quad (5.5)$$

де  $B_{z_i}$  – плановані витрати на забезпечення якості процесу ІПВ;

$B_{y_i}$  – плановані витрати на управління якістю процесу ІПВ;

$m$  – кількість статей калькуляції витрат на якість процесу ІПВ;

$K_{ТО}$  – кількість ТО, щодо процесу ЖЦ якого приймається рішення.

Необхідно зауважити, що на тактичному рівні ІС ІПВ кожен процес несе за собою витрати, які несуть негативну цінність, а на оперативному рівні, навпаки. Хоча процес переточування інструменту чи ремонту ТО і несе за собою витрати на якість, збільшення кількості переточувань збільшує цінність

інструменту (збільшується строк окупності витрат, які закладені в виготовлення чи придбання ТО). Тому для оперативного рівня ІПВ пропонується відносити витрати на якість процесів ІПВ до кількості ремонтів чи переточувань.

Показники вагомості комплексних ТЕП пропонується визначати з застосуванням кваліметричного підходу експертним шляхом для конкретного підприємства.

Обмежувочими умовами при виконанні блоку 3 виступають:

а) згідно із визначення ІПВ – можливість постачання ТО для основного виробництва точно в установлений строк:

$$\sum_{j=1}^n t_j \leq T, \quad (5.6)$$

де  $t_j$  – час виконання  $j$ -го процесу;

$T$  – загальний час на забезпечення ТО основного виробництва.

б) згідно вимог кваліметрії:

$$\sum_{k=1}^6 \gamma_k = 1. \quad (5.7)$$

У блоці 4 реалізується стратегія мінімізації часу виконання встановлених в ІС ІПВ задач. Це пояснюється виникненням ситуації, коли час на постачання ТО на робочі місця лімітований з причин запуску незапланованої партії чи неврахування факторів, які можуть вплинути на наявність необхідного ТО в резервному запасі. В цьому разі обирається стратегія, в якій задані жорсткі часові рамки не спричинлять перевитрат чи різкого погіршення ТЕП основного виробництва.

При виконанні цієї стратегії в основі прийняття рішення пропонується цільова функція оптимізації часу виконання процесів ІПВ:

$$\sum_{j=1}^n t_j = T \rightarrow \min \quad (5.8)$$

Тоді обмежуючими умовами будуть:

$$K_{cm} \rightarrow \min \quad \text{та} \quad \sum_{k=1}^6 \gamma_k = 1.$$

Блок 5 передбачає обчислення ймовірності реалізації обраної стратегії з допомогою застосування теорії марківських ланцюгів, що наводиться в [120, 121]. Якщо значення розрахованої ймовірності менше рівня, який задовольняє особу, що приймає рішення, в такому разі необхідно розглянути альтернативні стратегії перебігу процесів ІС ІПВ.

У блоці 6 на основі отриманої з блоків 3, 4 та 5 інформації, особа, що приймає рішення, обирає рекомендовану стратегію розвитку процесів ІС ІПВ.

### 5.3.2 Застосування методів оптимізації на графі для реалізації моделі прийняття рішень

Отже ІС ІПВ включає в себе мережу процесів, які можна зобразити в вигляді орієнтованого графа  $G(S, t)$  (2.6), де  $S$  – впорядковані пари вершин (процеси ІС ІПВ), а  $t$  – це дуги, що їх з'єднують. Задача прийняття раціональних рішень зводиться до застосування методу оптимізації на графі – знаходження найкоротшого шляху.

В роботах Т. Сааті, Е. Майника, Г. Вагнер, Г. Хан, С. Шапіро, Х. А. Таха, О. Оре та ін. розглянуті основні алгоритми, які застосовуються при вирішенні задач знаходження найкоротшого шляху (далі ЗНШ). Необхідно зауважити, що ЗНШ мають різні варіанти постановки завдання і від цього залежить застосування кожного алгоритму. Основні алгоритми та опис типів задач, що вони вирішують наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Основні алгоритми при вирішенні задач знаходження найкоротшого шляху

Назва алгоритму	Тип задач, що вирішує алгоритм
Дейкстри	Знаходить найкоротший шлях від однієї з вершин графа до інших при умові, що ребра графа без від'ємної ваги
Беллмана – Форда	Знаходить найкоротші шляхи від однієї вершини графа до всіх інших у зваженому графі (вага ребер може бути від'ємною)
Алгоритм пошуку А	Використовує алгоритм пошуку найменшої вартості від початкової вершини до кінцевої по першому найкращому збігу на графі
Флойда – Уоршелла	Знаходить найкоротші шляхи між всіма вершинами зваженого графа
Лі (хвильовий)	Базується на методі пошуку в ширину.
Джонсона	Знаходить найкоротші шляхи між всіма парами вершинами зваженого графа

Як видно із табл. 5.4, алгоритм Дейкстри є основним при вирішенні задачі знаходження найкоротшого шляху, він вважається одним з найбільш ефективних алгоритмів при вирішенні завдання знаходження на графі найкоротшого шляху між двома виділеними вершинами  $s$  й  $t$  при позитивних довжинах дуг.

Головна перевага алгоритму Дейкстри – його простота. Суть полягає в процедурі додавання нових вершин до множини виділених (забарвлених). Припускається, що відомі  $m$  вершин (процесів ІС ПІВ), найближчих до вершини  $s$  (близькість будь-якої вершини  $x$  до вершини  $s$  визначається довжиною найкоротшого шляху, що веде з  $s$  в  $x$ ) та відомі самі найкоротші шляхи, що з'єднують вершину  $s$  з виділеними  $m$  вершинами). Вершина  $(m+1)$ , яка найближча до  $s$  може бути визначена шляхом пофарблення вершини  $s$  й  $m$  найближчих до неї вершин. Для кожної незабарвленої вершини  $y$  будують шляхи, які безпосередньо з'єднують за допомогою дуг  $(x, y)$  кожен пофарбовану вершину  $x$  з  $y$ . Із цих шляхів обирається найкоротший, і шлях вважається умовно найкоротшим з вершини  $s$  у вершину  $y$ .

Найближчою до  $s$  вершиною є незабарвлена вершина  $(m+1)$ , для якої умовно найкоротший шлях має найменшу довжину. Це обумовлюється тим, що найкоротший шлях з вершини  $s$  в  $(m+1)$ -у найближчу вершину при позитивному значенні довжин усіх дуг повинен містити в якості проміжних лише пофарбовані вершини, тобто вершини, що входять у число  $m$  вершин, найближчих до вершини  $s$ .

Отже, якщо відомі  $m$  найближчих до  $s$  вершин, то  $(m+1)$ -ша найближча до  $s$  вершина може бути знайдена так, як це описано вище. Починаючи з  $m=0$ , описана процедура може повторюватися доти, поки не буде отриманий найкоротший шлях, який веде з вершини  $s$  до вершини  $t$ .

Пошук найкоротшого шляху ведеться в чотири етапи.

Етап 1. Кожній вершині (процесу ІС ППВ)  $x$  в ході алгоритму привласнюється число  $d(x)$ , що дорівнює довжині найкоротшого шляху з вершини  $s$  у вершину  $x$  та включає тільки пофарбовані вершини. Припускається, що  $d(s)=0$  та  $d(x)=\infty$  для всіх інших вершин графа. Офарблюється вершина  $s$  й припускаємо, що  $y=s$ , де  $y$  – остання пофарбована вершина.

Етап 2. Для кожної незабарвленої вершини  $x$  перераховується величина  $d(x)$  по наступній формулі:

$$d(x) = \min \{d(y); d(y) + a(y, x)\} \quad (5.9)$$

Етап 3. Якщо для всіх незабарвлених вершин  $d(x)=\infty$ , то алгоритм закінчується тому що відсутні шляхи з вершини  $s$  в незабарвлені вершини. Інакше офарблюється та вершина, для якої величина  $d(x)$  є мінімальною. Офарблюється й дуга, що веде в цю вершину відповідно до виразу (2.19) та припускається, що  $y=x$ .

Етап 4. Якщо  $y = t$ , то найкоротший шлях з  $s$  у  $t$  знайдений. Інакше необхідно перейти до кроку 2.

Щоразу офарблюється вершина й дуга, що заходить у цю вершину. Пофарбовані дуги не можуть утворювати цикл, а утворюють у вихідному графові дерево з коренем (початком) у вершині  $s$ . Це дерево називають орієнтованим деревом найкоротших шляхів. Шлях з  $s$  у  $t$  належить цьому дереву. При пошуку одного найкоротшого шляху процедура нарощування завершується при досягненні кінцевої вершини цього шляху. Задача зводиться до одержання всіх найкоротших шляхів, що починаються у першій вершині. Для цього процедура нарощування орієнтованого дерева триває доти, поки всі вершини не будуть включені. Таким чином, ми одержуємо орієнтоване дерево найкоротших шляхів, яке є покриваючим деревом графа.

Іноді в графі є кілька найкоротших шляхів. Найкоротший шлях буде єдиним, якщо в алгоритмі жодного разу не виникає неоднозначність при фарбуванні дуги.

### 5.3.3 Бальне оцінювання ТЕП на основі застосування теорії нечітких множин

Визначення коефіцієнту сталого розвитку (формула 2.14) дозволить підвищити рівень обґрунтованості прийнятих рішень. Як вже зазначалося, задля узгодження техніко-економічних показників, які впливають на коефіцієнт сталого розвитку, їх рекомендовано переводити в безрозмірні величини – бали.

Єдину шкалу нормалізації ТЕП системи ІПВ запропоновано розробляти на основі застосування теорії нечітких множин. Методика застосування математичного апарату теорії нечітких множин передбачає такі основні етапи:

- виділення параметрів, які характеризують досліджувану систему; визначення і формалізація лінгвістичних оцінок параметрів (фазифікація);
- побудова нечіткої бази знань про взаємозв'язки між параметрами;
- реалізація нечіткого логічного висновку про вплив вхідних параметрів на вихідні фактори;



– перетворення нечіткого логічного рішення в чітке значення (дефазифікація).

Відомо, що у теперішній час найбільш використовуваними в якості базового лінгвістичного значення оцінок ТЕП ІПВ для їх нормалізації є чисельні 5 або 7 бальні шкали оцінювання. Так, наприклад, шкала Харрінгтона при прийнятті багатьох рішень дозволяє оцінювати будь-який показник за його наступними рівнями: якщо дуже добре, то 1; добре – 2; задовільно – 3; погано – 4; дуже погано – 5. Зрозуміло, що така цілочисельна (від 1 до 5) оцінка ТЕП є нечіткою і дуже розмитою, що робить її в цьому випадку дуже залежною від суб'єктивних факторів, наприклад, судження, сприйняття та емоційного стану того суб'єкту, який приймає рішення. У зв'язку з цим, на наш погляд, більш доцільним є використання при оцінці ТЕП не цілочисельних змінних у вказаному діапазоні, а відповідних ним лінгвістичних, тобто таких, значеннями яких є не запропоновані цілі числа, а слова і словосполучення в природній або формальній мові [133]. Наприклад, можна запропонувати *лінгвістичну змінну* з назвою «ТЕП». *Значення* цієї лінгвістичної змінної, на відміну від самої змінної, будемо називати «Рівень ТЕП». Відповідно до цього можна записати рівняння призначення у вигляді:

$$X = \text{назва в } T(X) \quad (5.10)$$

де  $X$  – терм (формальне ім'я об'єкту), який характеризує рівень відповідного ТЕП;  $T(X)$  – терм-множина, у якій терми можуть приймати відповідні їм значення.

Наприклад, якщо терм в  $T(X)$  приймає значення дуже добре, тоді можна написати:

$$\text{Рівень ТЕП} = \text{дуже добре} \quad (2.11)$$

де «дуже добре» – значення лінгвістичної змінної, що має назву «дуже добре», прийняте цією змінною та представляє собою обмеження на значення базової змінної  $u$  в універсальній множині  $U$  вигляду:  $U = [0,1]$ .

У відповідності з таким підходом лінгвістичну змінну «Рівень ТЕП» можна представити деякою базовою змінною  $u$ , яка являє собою чисельну змінну, що може приймати любе значення, наприклад, у вказаній множині  $U = [0,1]$  у діапазоні від 0 до 1, наприклад, 0; 0,1; 0,2; ... або 1,0. Таким чином, множина  $U$  являє собою якусь відносну базову шкалу оцінок, за допомогою якої можна проводити вимірювання (нормалізацію, оцінювання, визначення) рівня відповідного ТЕП, незалежно від його розмірності, методу визначення тощо.

Для проведення процедури оцінювання рівня ТЕП з використанням запропонованої шкали необхідно спочатку визначити назви лінгвістичних змінних "ТЕП", а потім відповідні значення, які вони можуть приймати, тобто скласти терм-множину  $T(X)$ , для чого треба сформулювати терми, що входять в нього, у відповідності з синтаксичними правилами, прийнятими у теорії нечітких множин.

Логічно буде припустити, що створювана терм-множина повинна містити в собі також терми – добре, погано і задовільно. При цьому будемо вважати, що, наприклад, деяка нечітка підмножина  $M(X_1)$ , відповідна до значення лінгвістичної змінної з назвою погано, не є доповненням до нечіткої підмножини  $M(X_1)$ , відповідної до значення лінгвістичної змінної з назвою добре, тобто:

$$M(\text{добре}) \neq \overline{M(\text{погано})} \quad (5.12)$$

де знак  $\overline{\quad}$  позначає операцію доповнення до нечіткої підмножини.

Таким чином, можемо вважати, що терм-множина змінної "ТЕП" містить у собі наступні терми:

$$T(\text{ТЕП}) = \text{дуже добре} + \text{добре} + \text{задовільно} + \text{погано} + \text{дуже погано}.$$

У цьому виразі терми дуже добре і дуже погано є складеними термами, тобто складаються з атомарних термів добре, погано та різних підтермів.

Ця терм-множина відповідає критеріям, що враховують особливості сприйняття людиною об'єктів реального світу і їх опису:

при використанні даної множини людина буде зазнавати мінімальну невизначеність при описі своєї задоволеності по тим або іншим критеріям;

при використанні даної множини значень у випадку оцінки задоволеності експертним шляхом буде спостерігатися мінімальний ступінь неузгодженості думок експертів.

Розглянемо варіант синтаксичного правила для складання терма «дуже добре» з терм-множини  $T$  (ТЕП):

Складовий терм дуже добре може бути породжений граматиною виду:

$$R = (V_T, V_N, T, P) \quad (5.13)$$

де  $V_T$  – множина термінальних символів (компоненти термів в  $T$ ):

$$V_T = \text{дуже} + \text{добре}$$

де  $V_T$  – множина термінальних символів (компоненти термів в  $T$ ), наприклад,  $V_T = \text{дуже} + \text{добре}$ ;  $V_N$  – множина не термінальних символів (синтаксичних категорій), наприклад,  $V_N = T + A$ , де  $A$  – прийняте значення атомарного терму (терм, який складається з одного слова або з декількох слів, завжди фігурують разом один з одним);  $P$  – система підстановок.

Зауважимо, що в теорії нечітких множин знак  $+$  позначає операцію об'єднання термінальних символів.

Система підстановок  $P$  має вигляд:

$$\begin{aligned} T &\rightarrow A, \\ T &\rightarrow \text{дуже } A, \\ A &\rightarrow \text{добре} \end{aligned}$$

Тоді ланцюжок підстановок для терма  $R$  у буде мати вигляд:

$$T \rightarrow A \rightarrow \text{дуже } A \rightarrow \text{дуже добре} \quad (5.14)$$

Аналогічним способом визначаються ланцюжки підстановок для інших термів з терм-множини  $T(\text{ТЕП})$ .

Функції належності. Наступним не менш важливим завданням, є побудова функцій належностей для кожної нечіткої підмножини, що характеризує певне значення лінгвістичної змінної. Для нашого випадку вид функції належності для кожної нечіткої підмножини визначається експертним методом, а самі значення  $\mu_i$  розраховуються по формулах, відповідних до конкретного виду функції.

Прийmemo наступні значення нечітких підмножин для ТЕП першої групи: відносні показники, значення яких лежить в інтервалі  $[0-1]$ , а їх максимальні значення прагнуть до 1, тобто  $\max \rightarrow 1$ .

1. Функція належності для нечіткої множини  $M(\text{добре})$  описується формулою виду:

$$\mu_{ny}(u, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } u \leq \gamma; \\ 1 - \frac{2(u - \gamma)^2}{(\alpha - \gamma)^2}, \text{ якщо } \gamma \leq u \leq \beta; \\ \frac{2(u - \alpha)^2}{(\alpha - \gamma)^2}, \text{ якщо } \beta \leq u \leq \alpha \\ 0, \text{ якщо } u \geq \alpha; \end{cases} \quad (5.15)$$

де  $\alpha, \gamma, \beta$  – числові параметри, що приймають довільні дійсні значення.

Значення  $\alpha = 0,5; \gamma = 0,2, i, \text{ відповідно, } \beta = 0,36$  встановивлені експертним шляхом. Провівши розрахунки за формулами (5.15), для різних

значень базової змінної  $u$ , одержимо вигляд функції належності який представлений на рис. 5.9.



Рисунок 5.9 – Вигляд функції належності для підмножини «добре»

2. Для встановлення вигляду функції належності нечіткій множині  $M(\text{дуже добре})$  було прийняте припущення, що модифікатор «дуже» діє як оператор підвищення «чіткості» нечіткої підмножини  $M(\text{добре})$  у вигляді концентрування, тобто:

$$M(\text{дуже добре}) = \text{CON}(M(\text{добре})) = (M(\text{добре}))^2 \quad (5.16)$$

Таким чином, можемо записати:

$$\mu_{AV} = \mu_Y^2 \quad (5.17)$$

Звідки одержимо функцію належності, показану на рис. 5.10.



Рисунок 5.10 – Вигляд функції належності для нечіткої підмножини «дуже добре»

3. Функція належності для нечіткої множини  $M(\text{погано})$  описується формулою виду:

$$\mu_y(u, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } u \leq \alpha; \\ \frac{2(u - \alpha)^2}{(\gamma - \alpha)^2}, \text{ якщо } \alpha \leq u \leq \beta; \\ 1 - \frac{2(u - \gamma)^2}{(\gamma - \alpha)^2}, \text{ якщо } \beta \leq u \leq \gamma; \\ 1, \text{ якщо } u \geq \gamma; \end{cases} \quad (5.18)$$

де  $\beta = (\alpha + \gamma) / 2$  – точка переходу, тобто таке значення  $u \in U$ , ступінь належності множині  $M(X)$  якого дорівнює 0,5.

Встановивши експертним шляхом значення  $\alpha = 0,5$ ;  $\gamma = 0,8$ , і, відповідно,  $\beta = 0,65$ , і, провівши розрахунки по формулах (5.18), одержимо вигляд функції належності для різних значень базової змінної  $u$ , представлений на рис. 5.11.



Рисунок 5.11 – Вигляд функції належності для нечіткої підмножини «погано»

4. Для встановлення вигляду функції належності нечіткій множині  $M(\text{дуже погано})$  приймемо припущення, аналогічне припущенню для нечіткої множини  $M(\text{дуже добре})$ , тобто:

$$\mu_{AV} = \mu_Y^2 \quad (5.19)$$

Тоді одержимо функцію належності, показану на рис. 5.12.

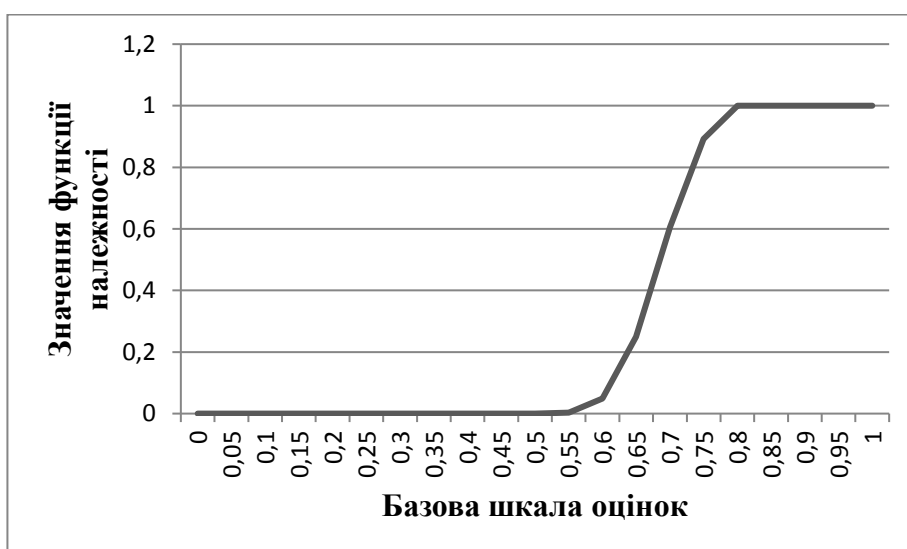


Рисунок 5.12 – Вигляд функції належності для нечіткої підмножини «дуже погано»

5. Функція належності для нечіткої множини М (задовільно) описується формулою виду:

$$\mu_{\text{ч}} = \begin{cases} 0, \text{ якщо } u \leq \alpha; \\ \frac{2(u - \alpha)^2}{(\gamma - \alpha)^2}, \text{ якщо } \alpha \leq u \leq \beta; \\ 1 - \frac{2(u - \gamma)^2}{(\gamma - \alpha)^2}, \text{ якщо } u \leq \gamma; \\ 1, \text{ якщо } u = \gamma; \\ 1 - \frac{2(u - \gamma)^2}{(\gamma - \alpha)^2}, \text{ якщо } u \leq \delta; \\ \frac{2(u - \varepsilon)^2}{(\gamma - \alpha)^2}, \text{ якщо } \delta \leq u \leq \varepsilon; \\ 0, \text{ якщо } u \geq \varepsilon; \end{cases} \quad (5.20)$$

Встановивши експертним шляхом значення числових параметрів  $\alpha = 0,15$ ;  $\gamma = 0,5$ ;  $\varepsilon = 0,85$ , і враховуючи, що  $\beta = \frac{\alpha + \gamma}{2}$  та  $\delta = \frac{\varepsilon + \gamma}{2}$ , одержимо вигляд функції належності для різних значень базової змінної  $u$ , показаний на рис. 5.13.



Рисунок 5.13 – Вид функції належності для нечіткої підмножини «Задовільно»



Побудувавши всі функції належності на одній площині, одержимо графічне зображення лінгвістичної змінної "ТЕП", що показано на рис. 5.14. Як видно з наведеного графічного зображення, усі нечіткі підмножини, використовувані для оцінки рівня ТЕП, є нормальними:

$$\max\{\mu_A(u)\}=1$$

тобто для кожної підмножини можна знайти хоча б одне  $u \in U$ , для якого  $\mu_A(u)=1$ .

Крім того, з рис. 5.14 видно, що крім точок, що лежать в інтервалах  $[0;0,2]$  і  $[0,8;1,0]$ , немає жодної точки, для якої виконувалося б умова:

$$\max\{\mu_A(u_i)\}=\max\{\mu_B(u_i)\}$$

тобто. для будь-якої точки  $u$  можна знайти таку функцію належності, що:

$$\max\{\mu_A(u_i)\} \geq \mu_{A_j}(u), 1 \leq j \leq 11, j \neq i$$

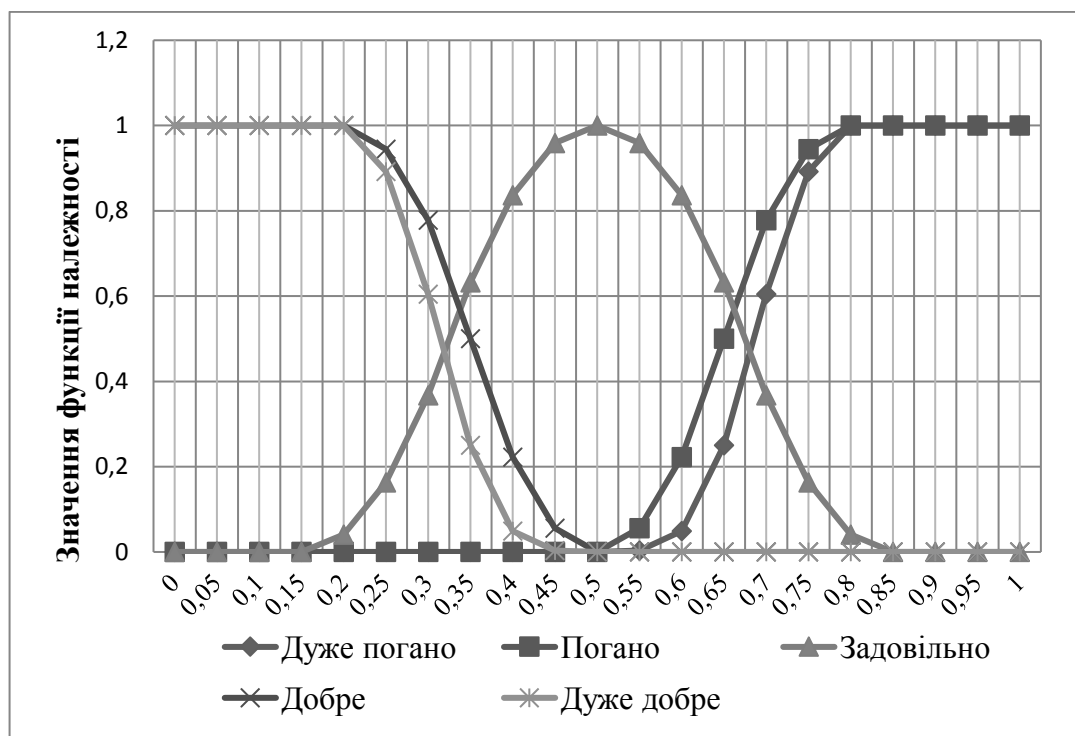


Рисунок 5.14 – Графічне зображення лінгвістичної змінної «ТЕП»

Дефазифікація оцінки показників. Процедура дефазифікації аналогічна знаходженню характеристик положення (математичного очікування, моди, медіани) випадкових величин теорії ймовірності. Етап дефазифікації використовується тоді, коли необхідно перетворити нечіткий набір значень лінгвістичних змінних, що виводяться, до точних значень. Згідно [138] цей етап не є обов'язковим.

Отже для встановленого значення  $u$ , згідно рисунка 5.14, за допомогою системи нерівностей визначаємо лінгвістичне значення змінної «ТЕП» відповідно до табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Шкала оцінювання ТЕП процесів ІС ІПВ

Значення ТЕП	Значення лінгвістичної змінної «ТЕП»	Бал
$0 \leq u \leq 0,2$	Дуже добре	1
$0,2 < u \leq 0,34$	Добре	2
$0,34 < u \leq 0,66$	Задовільно	3
$0,66 < u \leq 0,8$	Погано	4
$0,8 < u \leq 1$	Дуже погано	5

Аналогічним чином проводять побудову шкал оцінок для всіх ТЕП другої групи, які мають оптимальне або регламентоване нормативними документами абсолютне значення. На першому етапі визначається інтервал можливих значень конкретного ТЕП в рамках підприємства, що аналізується. На подальших етапах відбувається фазифікація, встановлення функцій належності та побудова графічних зображень лінгвістичної змінної за описаною методикою.

Наприклад, показник автоматизації інструментального виробництва – це відношення кількості верстатів автоматичної дії до загальної кількості верстатів. Враховуючи різноманітність технологічного оснащення, та вимоги до швидкості переналагодження обладнання для виготовлення та ремонту ТО, оптимальне значення показника автоматизації інструментального виробництва у своїй переважній більшості не повинне перевищувати значення 0,7. Тому, шкалу нормалізації цього показника доцільно звести до вигляду, показаному в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Шкала нормалізації показника автоматизації інструментального виробництва

Значення ТЕП	Значення лінгвістичної змінної «ТЕП»	Бал
$0 \leq u \leq 0,25$	Дуже погано	5
$0,25 < u \leq 0,38$	Погано	4
$0,38 < u \leq 0,7$	Дуже добре	1
$0,7 < u \leq 0,85$	Добре	2
$0,85 < u \leq 1$	Задовільно	3

ТЕП третьої групи визначаються згідно логічних суджень експертів. В цьому випадку відбувається бальне оцінювання показника за шкалою, представленою у таблиці 5.6 (стовпчики 2 та 3).

На рисунку 5.15 наведено алгоритм застосування запропонованого методу нормалізації техніко-економічних показників в ІС ППВ машинобудівного підприємства.

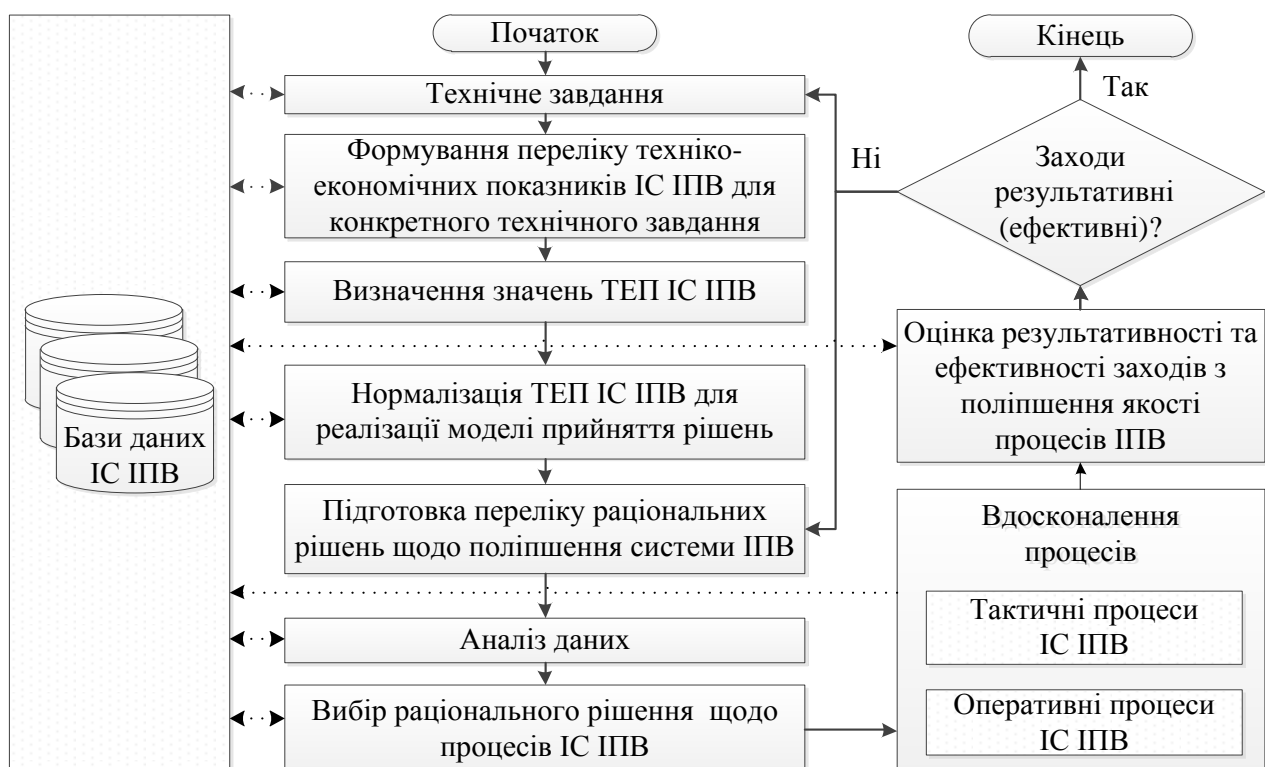


Рисунок 5.15 – Нормалізація техніко-економічних показників в інформаційній системі управління якістю інструментальної підготовки виробництва

В цьому алгоритмі згідно вимог конкретного технічного завдання на придбання або виготовлення технічного оснащення формується перелік ТЕП ІС ІПВ. Як вже зазначалося, перелік ТЕП формується з трьох класифікаційних груп, показники мають різну розмірність та оптимальні значення, тому, після визначення величини кожного ТЕП, на наступному кроці необхідно провести їх нормалізацію. Згідно з запропонованою методикою застосування теорії нечітких множин для кожної групи показників розробляється шкала нормалізації, за якою значення відповідного показника переводиться в безрозмірну величину – бал.

Наступними кроками, шляхом підстановки нормалізованих ТЕП в математичну модель, відбувається: формування переліку раціональних рішень щодо поліпшення системи ІС ІПВ, аналіз цих даних та вибір раціонального рішення.

На етапі вдосконалення процесів відбувається втілення запропонованого раціонального рішення в процесі ІС ІПВ. Алгоритм також враховує вимоги ДСТУ ISO 9001 щодо оцінювання результативності та ефективності виконуваних заходів. Цей етап передбачає зворотній зв'язок, який може зажадати корегування технічного завдання, переліку ТЕП ІС ІПВ або вибір альтернативного рішення.

#### 5.3.4 Застосування марківських ланцюгів при визначенні ймовірності здійснення обраної стратегії

ІС ІПВ представляє собою послідовність процесів, які можна показати на графі. Всі процеси графу виконуються в певній послідовності. Кожен процес інструментозабезпечення виконується послідовно і відповідає деякому стану ІС ІПВ. Можна сказати, що ІС ІПВ володіє марківською властивістю. Марківська властивість полягає в тому, що перехід в наступний стан не залежить від того, як система опинилась в попередньому стані.

Марківські процеси і їх частинний варіант Марківські ланцюги є найбільш вивченим класом випадкових процесів, які мають багато застосувань. Вони дозволяють моделювати складні процеси, системи, для яких відомі всі можливі стани, але не відомо в якому стані знаходиться система.

Чисельною мірою можливості переходу з стану  $S_i$  в  $S_j$  визначається ймовірністю переходу  $P_{ij}$ . Ймовірність  $P_{ij}$  показує, як часто після потрапляння системи в  $i$ -й стан здійснюється потім перехід в  $j$ -й стан. Таким чином, систему, що розглядається можна уявити як деяку точку, яка в деякі моменти часу “перестрибує” з одного стану в інший, визначає динамічний характер самої системи. Іншими словами здійснюється випадкове блукання по всім своїм можливим станам.

Модель системи, що розглядається, можна представити в вигляді переліку всіх можливих станів і матрицею ймовірностей переходів:

$$\|P_{ij}\| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix}. \quad (5.21)$$

При цьому повинна виконуватись умова: у кожного стану сума ймовірностей всіх переходів (вихідних стрілок) з нього в інші стани, тобто сума членів кожного рядка матриці повинна дорівнювати 1:

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} = 1 \quad (5.22)$$

Для наочності завдання станів системи і можливих переходів зручніше її представити у вигляді орієнтованого графа. Стан системи вважається вершиною графа та зображується у вигляді круга з вписаним у нього позначенням стану, як показано на рисунку 2.8.

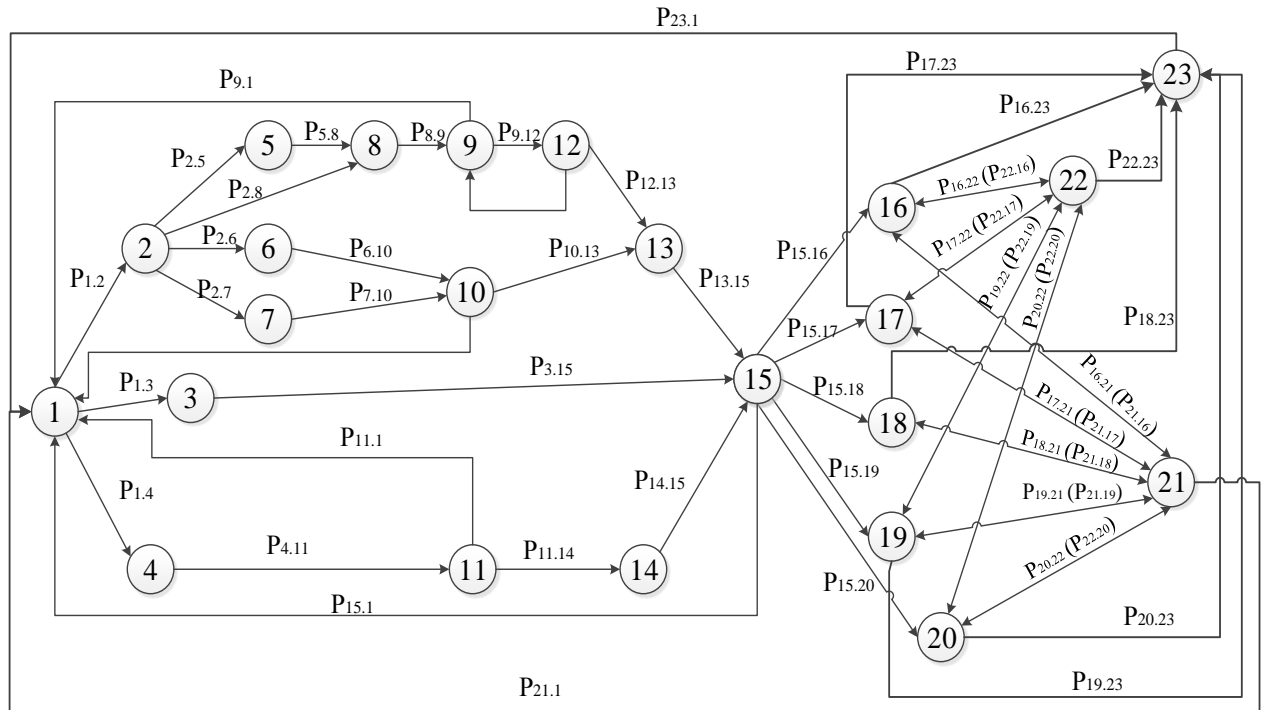
В якості вихідних даних задається матриця перехідних ймовірностей (формула 2.32) та початкові ймовірності станів:

$$P(0) = \begin{vmatrix} P_{01} \\ \dots \\ P_{0n} \end{vmatrix}$$

В деяких випадках, не дивлячись на випадковість процесу, є можливість до певного ступеня управляти законами розподілу або параметрами перехідних ймовірностей. Вочевидь, за допомогою керованих ланцюгів Маркова визначення ймовірності обраної стратегії в ІС ІПВ є ефективним.

Отже опишемо марківський ланцюг. Дискретні стани системи ІС ІПВ показані на рисунку 5.16.

Дискретність означає, що стани системи змінюються стрибкоподібно. Тому замість координати часу використовуємо номери кроків, після впливів на ІС ІПВ. При цьому після  $k$ -го кроку система знаходиться в одному із станів  $S_n$ .



1 - виявлення потреб в ТО, її уніфікації та нормативному забезпеченні; 2 – прийняття рішення про виготовлення, модернізацію ТО чи використання збірного ТО; 3 – прийняття рішення про використання ТО, що є в наявності; 4 – прийняття рішення про закупівлю уніфікованого ТО; 5 – розроблення проекту на виготовлення ТО; 6 - розроблення проекту на модернізацію ТО; 7 - розроблення проекту на складання ТО; 8 – підготовка плану випуску ТО; 9 – закупівля матеріалів; 10 – закупівля комплектуючих; 11– закупівля ТО; 12 – виготовлення ТО; 13 – приймально-здавальні випробування ТО; 14 – приймальні випробування ТО; 15 – зберігання ТО; 16 – прокат виготовленого ТО; 17 – прокат модернізованого ТО; 18 – прокат збірного ТО; 19 – прокат ТО, що є в наявності; 20 – прокат придбаного ТО; 21 – централізоване заточування інструменту; 22 – ремонт ТО; 23 – утилізація ТО.

Рисунок 5.16 – Граф станів системи ІС ІПВ

Таким чином, після першого кроку, ймовірності подій можна описати:

$$p(1) = \langle P(S_1^{(1)}) \quad P(S_2^{(1)}) \quad \dots \quad P(S_n^{(1)}) \rangle ;$$

після другого кроку:

$$p(2) = \langle P(S_1^{(2)}) \quad P(S_2^{(2)}) \quad \dots \quad P(S_n^{(2)}) \rangle ;$$

після  $k$ -го кроку:

$$p(k) = \langle P(S_1^{(k)}) \quad P(S_2^{(k)}) \quad \dots \quad P(S_n^{(k)}) \rangle .$$

Для кожного кроку:  $p_1(k) + p_2(k) + \dots + p_n(k) = 1$ .

Отже, якщо початковий стан системи ІС ІПВ відомий, то є можливість знайти ймовірність станів після будь-якого кроку.

В початковий момент система знаходиться в стані  $S_1$ . Тому ймовірності початкового стану розподіляться:

$$p(0) = \langle P_1(0) = 1 \quad P_2(0) = 0 \quad \dots \quad P_n(0) = 0 \rangle$$

Після першого кроку ймовірність переходу буде розраховуватись за формулою:

$$\begin{pmatrix} p_1(1) = p_1(0)P_{11} + p_2(0)P_{21} + \dots + p_n(0)P_{n1} \\ p_2(1) = p_2(0)P_{12} + p_2(0)P_{22} + \dots + p_n(0)P_{n2} \\ \dots \\ p_i(1) = p_i(0)P_{1i} + p_i(0)P_{2i} + \dots + p_n(0)P_{ni} \\ \dots \\ p_n(1) = p_n(0)P_{1n} + p_n(0)P_{2n} + \dots + p_n(0)P_{nn} \end{pmatrix} . \quad (5.23)$$

тобто транспонована матриця початкових ймовірностей перемножується з матрицею ймовірностей початкового стану.

Після першого кроку ймовірність переходу розраховується аналогічно:



$$\left. \begin{array}{l} p_1(2) = p_1(1)P_{11} + p_2(1)P_{21} + \dots + p_n(1)P_{n1} \\ p_2(2) = p_2(1)P_{12} + p_2(1)P_{22} + \dots + p_n(1)P_{n2} \\ \dots \\ p_i(2) = p_i(1)P_{1i} + p_i(1)P_{2i} + \dots + p_n(1)P_{ni} \\ \dots \\ p_n(2) = p_n(1)P_{1n} + p_n(1)P_{2n} + \dots + p_n(1)P_{nn} \end{array} \right\}. \quad (5.24)$$

Таким чином ймовірність станів після кожного переходу можна розрахувати по узагальненій формулі:

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^n (p_i(k-1) \cdot P_{ji})|_{n=N}; \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (5.35)$$

Отримані ймовірності станів ІС ІПВ на  $k$ -му кроці дозволяють розрахувати ймовірність виконання обраної стратегії.

#### 5.4 Висновок

В роботі показано, що для сучасних багатоміністерських промислових підприємств, особливо машинобудівного профілю, з метою підвищення ефективності інструментозабезпечення нагальним є питання розробки та впровадження системи управління ІПВ підприємства на основі процесного підходу. Для організації ефективного управління процесами ІПВ необхідно розробляти, впроваджувати й підтримувати інформаційну систему управління якістю ІПВ.

В роботі запропонована концептуальна модель інформаційної системи управління ІПВ з позиції саме процесного підходу, яку можна зобразити у вигляді трьох взаємозалежних моделей: організаційної моделі ІПВ, інформаційної моделі системи ІПВ і системи управління якістю ІПВ.

Показано, що реалізація запропонованої моделі обумовлена наявністю проблем, що пов'язані з взаємопогодженістю процесів при розробці та

впровадженні систем, які складають ІС ІПВ. Тому в роботі наведено алгоритм розробки та впровадження запропонованої моделі.

Дотримання викладених рекомендацій дозволить не тільки покращити якість технологічного оснащення, а й сприяти оптимізації процесів ІПВ, призведе до збільшення продуктивності праці, зменшить ресурсозалежність, та, як наслідок, знизить витрати на ІПВ, що безпосередньо впливає на собівартість продукції та на конкурентоспроможність підприємства в цілому.

Запропоновані принципи створення системи ТЕП ІС ІПВ, які враховують специфіку протікання її процесів. ТЕП ІС ІПВ доцільно класифікувати за видами діяльності: організаційно-економічні; виробничі; управління якістю; екологічні; соціальні. Запропонована система ТЕП ІС ІПВ може бути використана для раціоналізації діяльності з ІПВ різних машинобудівних підприємств.

Запропоновані вимоги до розроблення та принципи формування класифікації витрат на якість ІС ІПВ, які враховують специфіку протікання процесів ІС ІПВ. Одним з методів формування класифікації витрат на якість процесів ІС ІПВ є експертний метод ранжування, який є сучасним інструментом вивчення й аналізу систем та є дуже ефективним при перекладі метричної форми показників в неметричну.

Запропонована методика розробки класифікації витрат на якість процесів ІС ІПВ може бути використана для раціоналізації діяльності з ІПВ різних машинобудівних підприємств. Розроблена класифікація витрат на якість враховує вимоги до неї та дозволяє підвищити ефективність функціонування раніше запропонованої авторами типової ІС ІПВ.

Для вирішення проблеми щодо аналізу й оцінювання ТЕП ІС ІПВ запропонована математична модель щодо прийняття рішення стосовно ІПВ машинобудівного підприємства. Модель базується на визначенні раціональної стратегії протікання процесів ІС ІПВ машинобудівного підприємства та використанні теорій оптимізації на графі й марківських ланцюгів.

Запропонована модель прийняття рішень в ІС ІПВ значно спрощує процес розповсюдження інформації та підвищує обґрунтованість ухвалення оперативних управлінських рішень, що дозволяє мінімізувати витрати на ІС ІПВ.

Вперше для прийняття рішення стосовно вибору раціонального шляху перебігу процесів ІПВ запропоновано застосовувати коефіцієнт сталого розвитку ІС ІПВ, який враховує виконання вимог міжнародних стандартів на системи управління (ISO 9001, OHSAS 18001 і т.д.) та дозволяє підвищити рівень обґрунтованості прийнятих рішень.

На основі застосування теорії нечітких множин запропонована шкала бального оцінювання ТЕП, яка дозволяє узгодити ТЕП між собою, а також алгоритм нормалізації ТЕП в ІС ІПВ машинобудівного підприємства.

## **6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ЯКІСТЮ ПРОЦЕСІВ ІПВ**

### **6.1 Обґрунтування вибору раціонального методу прогнозування техніко-економічних показників інструментальної підготовки виробництва**

Кожний етап процесу ІПВ характеризується специфічним обсягом завдань, особливим підходом до їхнього рішення, певним складом і рівнем підготовки й кваліфікації персоналу, матеріальними й фінансовими ресурсами та інше. Специфіка етапів визначає характер, структуру цілей і завдань прогнозування, вибір раціональних методів їх вирішення. Під раціональним методом прогнозування будемо розуміти такий процес його застосування, при якому досягається необхідний рівень вирішення задач при мінімальних витратах ресурсів.

Щоб обґрунтувати вибір того або іншого засобу прогнозування, необхідно мати можливість кількісно оцінити його якість. Для цього пропонується використовувати експертний метод – комплекс логічних і математико-статистичних методів і процедур, пов'язаних з діяльністю експертів по переробці необхідної для аналізу й прийняття рішень інформації.

Вибір раціональних методів прогнозування пропонується проводити згідно з критеріями:

Період попередження прогнозу – проміжок часу, на який розробляється прогноз. За часом попередження або тимчасовому обр'ю всі прогнози підрозділяються на: оперативні (до 1 місяця), короткострокові (від 1 місяця до 1 року), середньострокові (від 1 року до 5 років), довгострокові (від 5 років до 15-20 років) і далекострокові (понад 20 років).

Тип даних: казуальний (вибірка) і часовий ряд (стаціонарний, сезонний, тренд і циклічний). Вибірка складається з даних, які зібрані у фіксований момент часу. Часовий ряд складається з даних, які фіксуються через послідовні проміжки часу.

Стаціонарний часовий ряд становлять дані, середнє значення й дисперсія яких постійні (або відносно постійні) із часом. Такий ряд існує, якщо виконується одна з умов: впливу, що впливають на зміну ряду, стабілізувалися й навколишнє середовище відносно незмінне; необхідно спростити модель через недолік даних або для спрощення реалізації прогнозу, або для спрощення пояснення (якщо прогноз на має принципової важливості); ряд можна перетворити в стабільний; стабільність може бути досягнута після коректування яких-небудь факторів.

Трендовий ряд створюють дані, що мають компонент, що характеризує зростання або убуття значень даних протягом тривалого проміжку часу. Методи прогнозування для таких рядів використовуються у випадках, коли фактор/фактори, що впливають на процес викликають збільшення або зменшення значень ряду.

Сезонний ряд становлять дані, зміни яких повторюються рік у рік. Методи прогнозування для сезонних рядів використовуються у випадках, коли розглянуті величини визначаються річним циклом.

Циклічний ряд становлять дані, що мають тенденцію повторення сталого стилю поведінки кожні два, три й більш років.

Ефективність – необхідність перевищення економічного ефекту від використання прогнозу над витратами на його розробку.

Безперервність – можливість робити коректування прогнозу в міру вступу нової інформації про об'єкт прогнозування.

Верифікованість – точність, ймовірність і обґрунтованість прогнозу.

Альтернативність – можливість розвитку об'єкта дослідження (окремих його елементів) по різних траєкторіях.

Слід зазначити, що специфіка ІПВ дозволяє відсіяти частину методів за критеріями 1 і 2. Так, виходячи з мети ІПВ, можна зробити висновок про швидкість протікання процесів інструментозабезпечення. Період попередження прогнозу в цьому випадку не перевищує 1 рік. Отже, за першим критерієм з наведеної на рис. 5.7 класифікації відбираються методи, які

дозволяють проводити оперативний і короткостроковий прогноз. А саме: екстраполяція трендів; метод ковзних середніх; метод експонентного згладжування; метод Хольта й Брауна; метод Вінтерса; регресійний аналіз; авторегресійна модель; кореляційний аналіз; метод "інтерв'ю"; аналітичний метод; метод психоінтелектуальної генерації ідей; метод комісій; метод "Дельфі" (анкетування); побудова сценаріїв; метод колективної генерації ідей ("мозкова атака"); метод керованої генерації ідей; синоптичний метод; метод евристичного прогнозування; імітаційне моделювання; історико-логічний аналіз і морфологічний аналіз.

Другий критерій є одним з найбільш важливих у виборі методів прогнозування. Тому в роботі був проведений аналіз моделей даних в ППВ. Було встановлено, що кожна стадія життєвого циклу ППВ характеризується казуальним, сезонним або трендовим типом даних. Методи прогнозування, які можуть оперувати сезонними рядами: метод Вінтерса; регресійний аналіз; кореляційний аналіз; метод "інтерв'ю"; аналітичний метод; метод психоінтелектуальної генерації ідей; метод комісій; метод "Дельфі" (анкетування); побудова сценаріїв; метод колективної генерації ідей ("мозкова атака"); метод керованої генерації ідей; імітаційне моделювання; морфологічний аналіз.

Для трендових рядів можуть використовуватися методи: екстраполяція трендів; метод експонентного згладжування; регресійний аналіз; кореляційний аналіз; метод "інтерв'ю"; аналітичний метод; метод психоінтелектуальної генерації ідей; метод комісій; побудова сценаріїв; метод "Дельфі" (анкетування); метод колективної генерації ідей ("мозкова атака"); метод керованої генерації ідей; імітаційне моделювання й морфологічний аналіз.

Вибір оптимального методу прогнозування на кожному етапі життєвого циклу ППВ автори пропонують робити згідно критеріїв, що залишилися (3, 4, 5 і 6). Для аналізу експертам надавалися методи, попередньо відсортовані у дві

групи: перша – методи, що аналізують трендовий тип даних і друга – методи, що аналізують сезонний тип даних.

Після проведення робіт з формування експертної групи, проводиться кодування факторів і визначення думок експертів табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Приклад аркуша аналізу думок члена експертної групи

Методи прогнозування		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Метод Вінтерса	1	1	0	1	2	0	2	1	1	1	1	2	2	1
2	Побудова сценаріїв	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
3	Регресійний аналіз	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1
4	Кореляційний аналіз	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1
5	Метод "інтерв'ю"	0	1	0	0	1	2	1	1	1	0	0	1	1	1
6	Аналітичний метод	2	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0
7	Метод психоінтелектуальної генерації ідей	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1
8	Метод комісій	1	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1
9	Метод "Дельфі"	1	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
10	Метод колективної генерації ідей	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2
11	Метод керованої генерації ідей	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
12	Імітаційне моделювання	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
14	Історико-логічний аналіз	1	2	1	1	1	2	1	1	1	0	0	2	2	1

**Примітка.** У табл. 6.16. перевага  $j$ -го об'єкта перед  $i$ -м позначене цифрою 2, рівноцінність - цифрою 1, а перевага  $j$ -го об'єкта перед  $i$ -м - цифрою 0.

Розрахувати значення вагових коефіцієнтів, отриманих подвійним попарним зіставленням, можна методом послідовного наближення, у якому результат виміру в  $(w)$  наближенні визначається як середньоквадратичне зважене. Первісні результати розглядаються в цьому випадку як перше наближення. У другім наближенні вони використовуються як вагові коефіцієнти  $G_j(2)$  суджень експертів. Отримані з обліком цих вагових коефіцієнтів нові результати, у третьому наближенні розглядаються знову як вагові коефіцієнти  $G_j(3)$  тих же думок експертів і т.д. Згідно з теоремою

Перона-Фробеніуса, при певних, виконуваних на практиці умовах, цей процес сходиться, тобто вагові коефіцієнти прагнуть до деяких постійних значень, що строго відбивають співвідношення між об'єктами експертизи при встановлених експертами вихідних даних.

У даній роботі уточнення вагових коефіцієнтів запропоновано робити методом послідовного наближення.

Первісні результати  $G_j(1)$  визначаються по формулі:

$$G_j(1) = \sum_{l=1}^m K_{jl}, \quad (6.1)$$

де  $K_{jl}$  - число переваг  $j$ -го показника одним експертом ( $l=1 \dots m$ );

$G_j(1)$  – результат виміру  $j$ -го показника в першому наближенні.

Результати виміру  $j$ -го показника в ( $w$ ) наближенні будуть рівні [85]:

$$G_j(w) = \sqrt{[(G_1(w-1)]^2 \cdot K_{j1} + \dots + [(G_m(w-1)]^2 \cdot K_{jm}}, \quad (6.2)$$

де  $G_j(w-1)$  - результат виміру  $j$ -го показника в ( $w-1$ ) наближенні.

Значення вагових коефіцієнтів у ( $w$ ) наближенні визначають, як

$$\gamma_j(w) = \frac{G_j(w)}{\sum_{j=1}^m G_j(w)}, \quad (6.3)$$

Процес уточнення значень триває доти, поки точність не досягнеться заданої, тобто поки не виконається умова:

$$\gamma_j(w) - \gamma_j(w-1) \leq \varepsilon., \quad (6.4)$$

де  $\varepsilon$  – задана точність обчислень, яка звичайно ухвалюється:



$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,001 \text{ при } 1 < a \leq 1; \\ \varepsilon &= 0,01 \text{ при } a > 5 \end{aligned} \quad (6.5)$$

де  $a$  - коефіцієнт, що показує: у скільки раз вага кращого з показників перевершує вага гіршого показника.

Результатом експертних оцінок є дві зведені таблиці показників вагомості процесів життєвого циклу ІПВ окремо для методів із трендовим типом даних і методів із сезонним типом даних.

Показники вагомості методів прогнозування визначають пріоритетний метод прогнозування для конкретного процесу ІПВ. Отже, можна виділити рекомендовані до застосування раціональні для відповідних умов методи прогнозування показників якості процесів ІПВ. Для цього необхідно визначити граничне значення показника вагомості, що розділяє показники вагомості на «важливі» і «неважливі». Методи з показниками вагомості, що перевищують це значення, є рекомендованими до застосування. Граничне значення показника визначається по формулі [85]:

$$q = 1/n \quad (6.6)$$

де  $n$  – кількість аналізованих методів прогнозування в кожному процесі ІПВ.

Таким чином, запропонований метод визначення раціонального методу прогнозування дозволяє значно скоротити час на розробку або заміну прогнозуючої моделі, хоча він не виключає перевірку обраних методів на адекватність і визначення помилки прогнозу. Отже, запропонований метод відіграє важливу роль в оптимізації й підвищенні якості процесів ІПВ на всьому життєвому циклі інструмента й оснащення.

Таблиця 6.2 – Рекомендовані методи прогнозування показників якості процесів ІПВ

Процеси ІПВ по етапах життєвого циклу	Методи прогнозування														
	Екстраполяції	Експонентного згладжування	Вінтерса	Регресійний аналіз	Кореляційний аналіз	Аналітичний метод	Метод «інтерв'ю»	Психоінтелектуальної генерації ідей	Комісій	«Дельфі»	Колективної генерації ідей	Керованої генерації ідей	Прогнозний сценарій	Історико-логічний аналіз	Морфологічний аналіз
1. Виявлення потреби в ТО, її уніфікації	Т	Т	С	С, Т	С, Т	-	-	-	-	-	С, Т	С, Т	С	С	-
2. Підготовка плану випуску ТО	-	Т	-	-	-	-	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	-	С, Т	С, Т
3. Оцінка ефективності використання власної ТО / покупний ТО	-	-	-	-	-	Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	-	-	-
4. Закупівля ТО, матеріалів, елементів і вузлів ТО	С, Т	Т	С	С, Т	С, Т	-	-	-	-	С	С, Т	С, Т	-	С	-
5. Випробування й зберігання покупних матеріалів, елементів і вузлів ТО	Т	Т	С	С, Т	С, Т	-	-	-	-	С	С, Т	С, Т	-	-	-
6. Виготовлення й випуск ТО	-	-	-	-	-	-	-	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	-	-	-
7. Зберігання й облік витрат наявності, стану й потреби в ТО	Т	Т	С	С, Т	С, Т	-	-	-	-	С	С, Т	С, Т	-	-	-
8. Експлуатація ТО	Т	Т	С	С, Т	С, Т	С, Т	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9. Планово-попереджувальний ремонт або відновлення ТО	-	-	-	-	-	-	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	-	-	-
10. Збір і первинна переробка	-	-	-	-	-	-	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	С, Т	-	-	-

Процеси ІПВ по етапах життєвого циклу	Методи прогнозування														
	Екстраполяції	Експонентного згладжування	Вінтерса	Регресійний аналіз	Кореляційний аналіз	Аналітичний метод	Метод «інтерв'ю»	Психоінтелектуальної генерації ідей	Комісій	«Дельфі»	Колективної генерації ідей	Керованої генерації ідей	Прогнозний сленарій	Історико-логічний аналіз	Морфологічний аналіз
відпрацьованого ТО															

**Примітка.** С – метод із сезонним типом даних, Т – метод із трендовим типом даних, «-» – метод не рекомендується.

## 6.2 Практична реалізація запропонованої моделі управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва

Якість процесів інструментальної підготовки виробництва значно підвищується при вдосконаленні механізмів і інструментів обміну та обробки інформації. Аналіз сучасних інформаційних систем, такі, як CALS, як показано в розділі 1, дозволяють підвищити ефективність збору, зберігання, аналізу й передачі інформації в ІС ІПВ. Також, як вже зауважувалось, можливості сучасних інформаційних технологій дозволяють проводити розрахунки великих обсягів при скороченні на це часу.

Управління ІПВ в сучасних умовах вимагає все більшої оперативності при зменшенні витрат та часу простоїв. Тому використання ІС ІПВ є одним з найважливіших важелів функціонування підприємства.

Але необхідно зауважити, що рішення в ІС ІПВ, як і в інших інформаційних системах, приймаються людьми на основі інформації, яка є продуктом ІС, тобто первинна інформація перетворюється на результатну, придатну для прийняття рішень. В ІС ІПВ частина процедур формального перетворення первинної інформації в результатну автоматично виконується технічними засобами за заздалегідь заданими алгоритмами, без безпосереднього втручання людини. ІС ІПВ може повністю функціонувати в автоматичному режимі, але персонал ІС ІПВ визначає склад і структуру первинної та результатної інформації, порядок збору та реєстрації первинної інформації, контролює її повноту і достовірність, визначає порядок виконання

перетворень первинної інформації в результатну, контролює хід виконання процесу перетворень.

Враховуючи вищезазначене, розглянутий в роботі алгоритм прийняття раціонального рішення в ІС ІПВ був реалізований на прикладі процесів тактичного рівня ІС ІПВ за допомогою засобів MS EXCEL, а також розробленого програмного забезпечення «Пошук найкоротшого шляху». Засоби Microsoft Excel застосовуються для автоматизації процесу збору первинної інформації щодо ТЕП ІС ІПВ. Програмне забезпечення «Пошук найкоротшого шляху» дозволяє за описаним у розділі 5.3 алгоритмом Дейкстри отримати результатну інформацію для прийняття рішень. На основі отриманої інформації приймається раціональне рішення в ІС ІПВ.

В якості прикладу розглядалось прийняття раціонального рішення для забезпечення різцями 2103-0714 ВК8 ГОСТ 20872-80 деталі «Вал 1.3910-650.10-02». При прийнятті рішення розглядались варіанти: «придбати 10 різців», «використовувати 10 різців, що є в наявності», «виготовити 10 різців», «модернізувати 10 різців» та «скласти 10 різців з комплектуючих, що є в наявності», при перевірці обмежуючої умови «час». Тобто виконувався блок 3 алгоритму моделі прийняття рішень в ІС ІПВ, яка обґрунтована в розділі 5.1.

Перший етап запропонованого алгоритму включає побудову графу станів процесів ІС ІПВ. Для процесів тактичного рівня ІС ІПВ граф, що зображений на рисунку 5.8 буде мати вигляд, як показано на рис. 6.1.

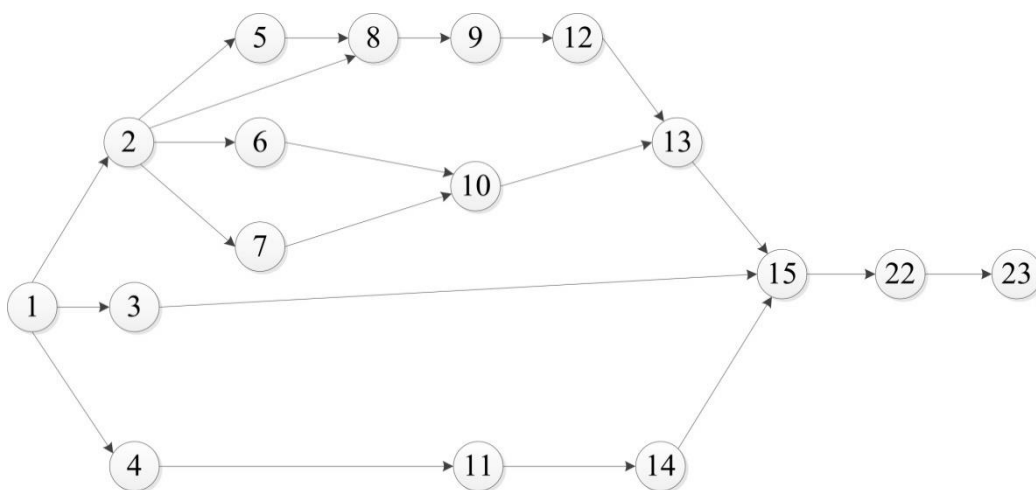


Рисунок 6.1 – Граф станів процесів тактичного рівня ІС ІПВ

Згідно цього рисунка рішення «придбати 10 різців» відповідає шляху 1-4-11-14-15-22-23, рішення «використовувати 10 різців, що є в наявності» – шляху 1-3-15-22-23, «виготовити 10 різців» – шляху 1-2-5-8-9-15-22-23, «модернізувати 10 різців» – шляху 1-2-6-10-13-15-22-23 та «скласти 10 різців з комплектуючих, що є в наявності» – шляху 1-2-7-10-13-15-22-23.

Наступний етап полягає в створенні бази ТЕП для конкретного підприємства на основі запропонованої в розділі 5 системи. Це відбувається з врахуванням особливостей підприємства, що розглядається, та виключенням загальносистемних ТЕП, а також тих, що корелюють між собою. Для підприємства ПАТ «СМНВО»

Таблиця 6.3 – Система попроцесних ТЕП для процесів ІС ІПВ тактичного рівня підприємства, що аналізується

<b>ТЕП</b>	<b>Відносні, знаходяться в інтервалі 0 – 1 (оптимальне значення 1)</b>	<b>Які мають оптимальне абсолютне значення</b>	<b>Визначаються згідно логічних суджень експертів</b>
Організаційні	Коефіцієнт використання робочого часу	-	-
Виробничі	Показник використання обладнання	Коефіцієнт використання виробничої потужності	-
Якості	Рівень нормативного забезпечення	-	-
Соціальні	Рівень нормативної документації в сфері охорони праці. Рівень інструктажу персоналу Коефіцієнт зайнятості персоналу Показник рівня атестації персоналу, що працює з підвищеною небезпечністю	-	-
Екологічні	-	-	Рівень змісту та оформлення доказової документації екологічної безпеки процесів Рівень виконання вимог до захисту навколишнього середовища

На рисунках 6.2 – 6.3 показані інтерфейс програми Microsoft Excel для збору інформації щодо прогнозних значень ТЕП в ІС ІПВ, розрахунку комплексних ТЕП ІС ІПВ та коефіцієнта сталого розвитку процесів ІС ІПВ.

Значення ТЕП (рис. 6.4) та витрат на якість процесів ІС ІПВ (рис. 6.5) знаходились за допомогою методів прогнозування, рекомендації щодо застосування яких обґрунтовані в розділі 6.1.

Слід зауважити, що на рис. 6.2 значення ТЕП переведені в бали, згідно розроблених в 5.3.3 шкал оцінювання.

Значення ТЕП для процесів ІС ІПВ згідно графу станів, бали											
	виявлення потреб в ТО	рішення про виготовлення, модернізацію ТО чи використання збірного ТО	прийняття рішення про використання ТО, що є в наявності	прийняття рішення про закупівлю уніфікованого ТО	розроблення проекту на виготовлення ТО	розроблення проекту на модернізацію ТО	розроблення проекту на складання ТО	підготовка плану випуску ТО	закупівля матеріалів	закупівля комплекту ючик	закупівля ТО
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Соціальні ТЕП											
Рівень нормативної документації в сфері охорони праці;	5	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Рівень інструктажу персоналу;	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Показник зайнятості персоналу;	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Показник рівня атестації персоналу, що працює з підвищеною небезпечністю.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Комплексні</b>	4,684556	4,60342068	4,414213562	4,414214	4,41421356	4,60342068	4,414214	4,414214	4,414214	4,414214	4,414214

Рисунок 6.2 – Впорядкування інформації щодо значень ТЕП для тактичних процесів ІС ІПВ

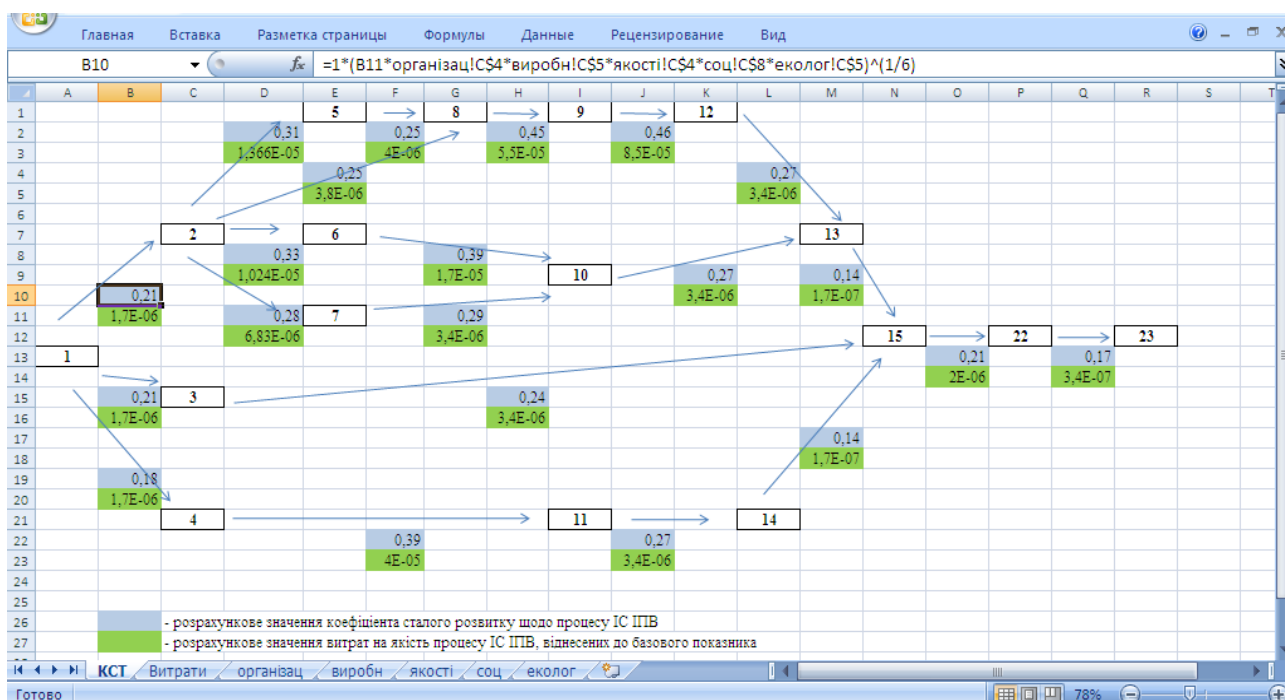


Рисунок 6.3 – Розрахунок коефіцієнта сталого розвитку для тактичних процесів ІС ІПВ

Як видно з рисунків 6.2 та 6.3, файл має сім вкладень, перше (основне) – для розрахунку коефіцієнта сталого розвитку тактичних процесів ІС ІПВ, друге – для розрахунку витрат на якість процесів ІС ІПВ, інші п'ять – для розрахунку комплексних ТЕП соціальної, організаційної, якості, виробничої та екологічної груп.

Після збору вхідної інформації дані переносяться до програмного забезпечення «Пошук найкоротшого шляху», де обчислюється оптимальне значення коефіцієнту сталого розвитку (або часу на виконання процесів ІС ІПВ). На рисунках 6.4–6.6 приведені інтерфейс та основні можливості програми.

На першому етапі відбувається побудова графа станів процесів ІС ІПВ на тактичному рівні, який відповідає рисунку 6.1. Граф будується натисканням кнопок «Разместить вершину» та «Добавить ребро». Є можливість видалити побудовану вершину натисканням кнопки «Удалить вершину».

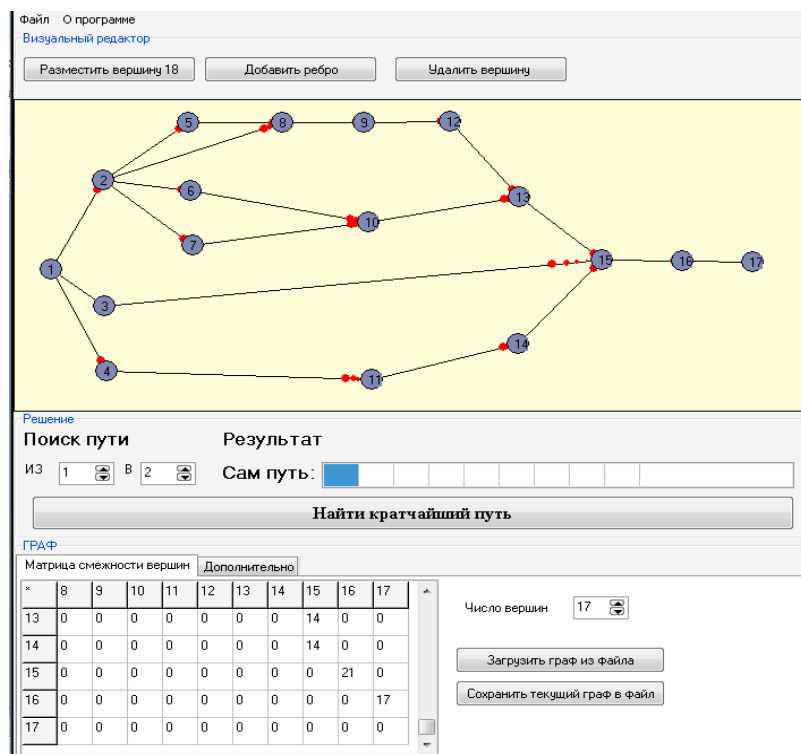


Рисунок 6.4 – Интерфейс программного забезпечення для застосування алгоритму Дейкстри при обчисленні коефіцієнта сталого розвитку

Після побудови графу станів процесів ІС ІПВ заповнюється матриця суміжності, як показано на рисунку 6.6. Обирається номер початкової та кінцевої вершин та натискається кнопка «Найти кратчайший путь». Після цих дій програма пропонує найкоротший шлях, як показано на рисунку 6.4.



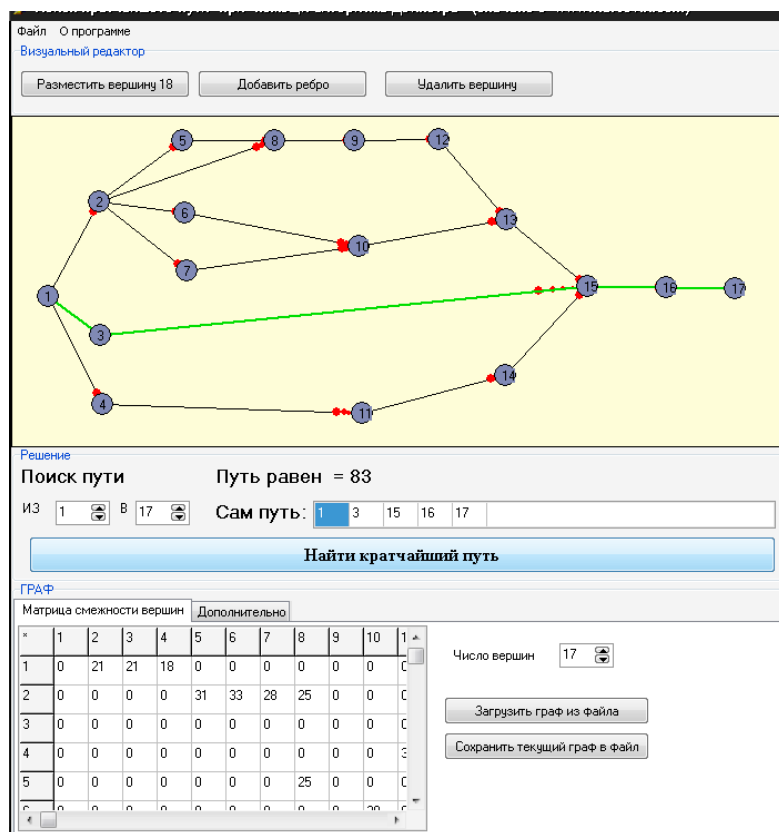


Рисунок 6.5 – Інтерфейс програмного забезпечення для застосування алгоритму Дейкстри при обчисленні оптимального коефіцієнта сталого розвитку

Найкоротший шлях, виділяється зеленим кольором, та описується в рядку «Сам путь» вершинами, які входять у шлях. На рисунку 6.7 цей шлях: 1-3-15-16-17. Значення функції оптимізації висвічується в рядку «Шлях равен», згідно рисунка коефіцієнт сталого розвитку дорівнює 0,83. Тобто при прийнятті рішення «придбати 10 різців», «використовувати 10 різців, що є в наявності», «виготовити 10 різців», «модернізувати 10 різців» та «скласти 10 різців з комплектуючих, що є в наявності», при перевірці обмежуючої умови «час», раціональним рішенням буде «використовувати 10 різців, що є в наявності».

Якщо різців в наявності немає, то ця гілка виключається шляхом виключення вершини «3», та знову проводяться розрахунки коефіцієнта сталого розвитку та перевіряється умова «час». При виключенні гілки

«використовувати 10 різців, що є в наявності» програма пропонує нове рішення – «придбати 10 різців», рисунок 6.8.

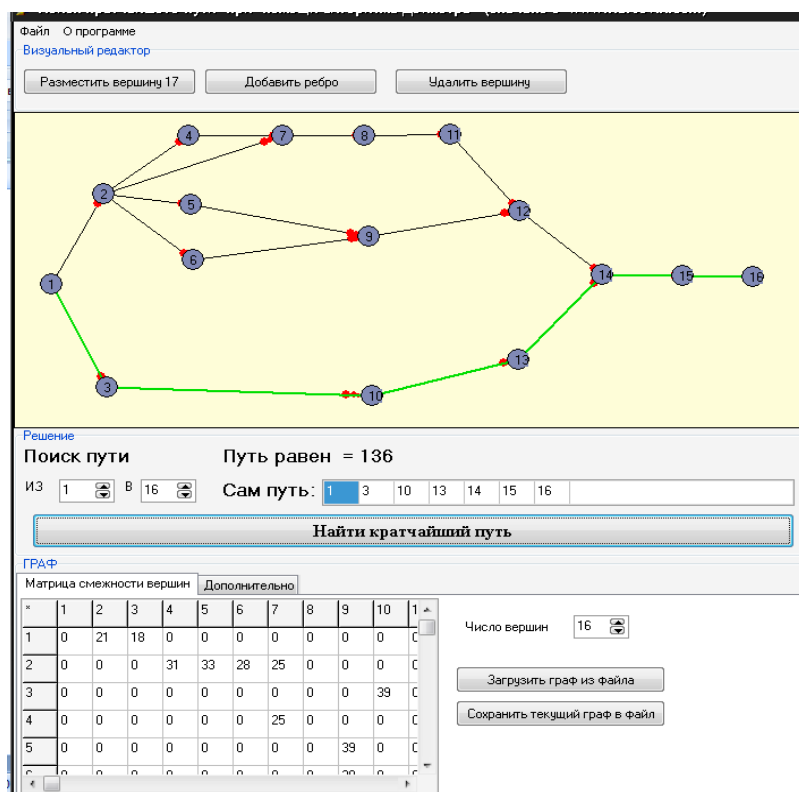


Рисунок 6.6 – Интерфейс програмного забезпечення «Пошук найкоротшого шляху»

Якщо запитаний шлях не існує – програма видає повідомлення «Пути между этими вершинами нет», рисунок 6.7.

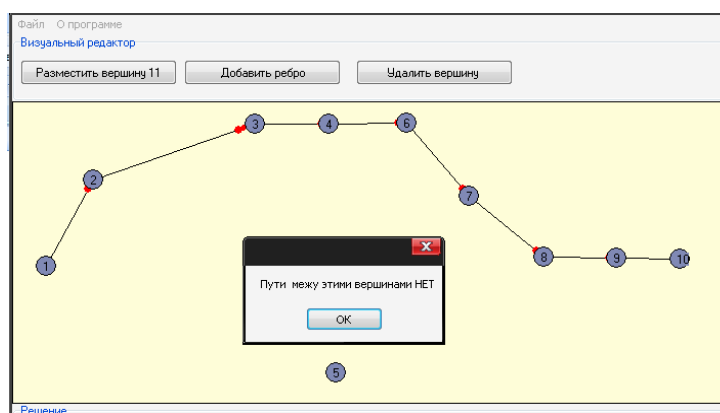


Рисунок 6.7 – Интерфейс програмного забезпечення при невірному запиті шляху

Також наявні додаткові можливості програмного забезпечення, рис. 6.7, 6.8. Є можливість видалити всі ребра графу, оновити зображення, розподілити рівномірно вершини та зберегти побудований граф у файл.

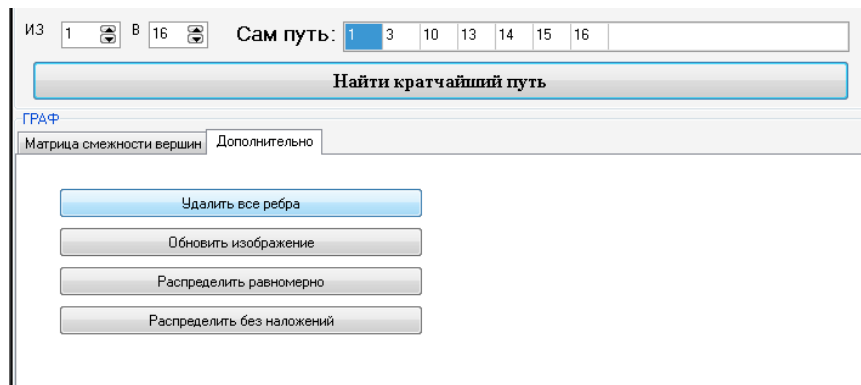


Рисунок 6.8 – Додаткові можливості програмного забезпечення

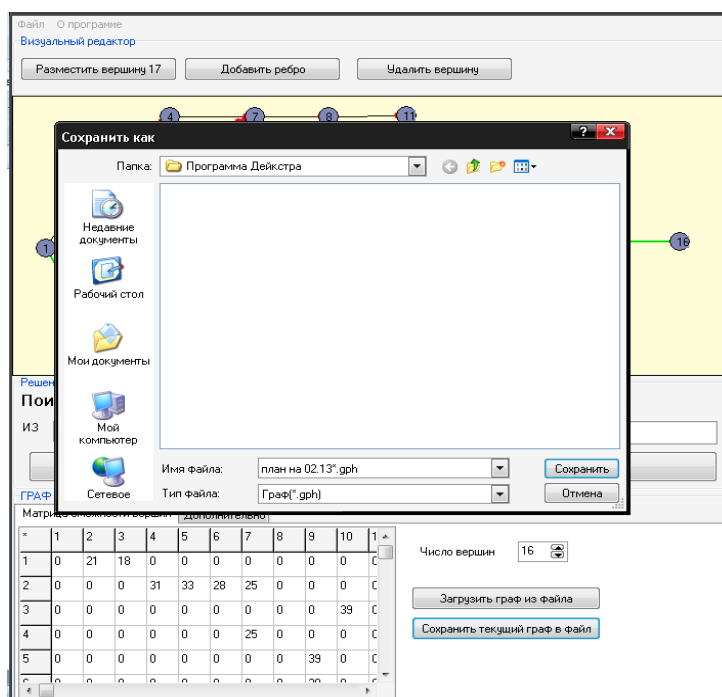


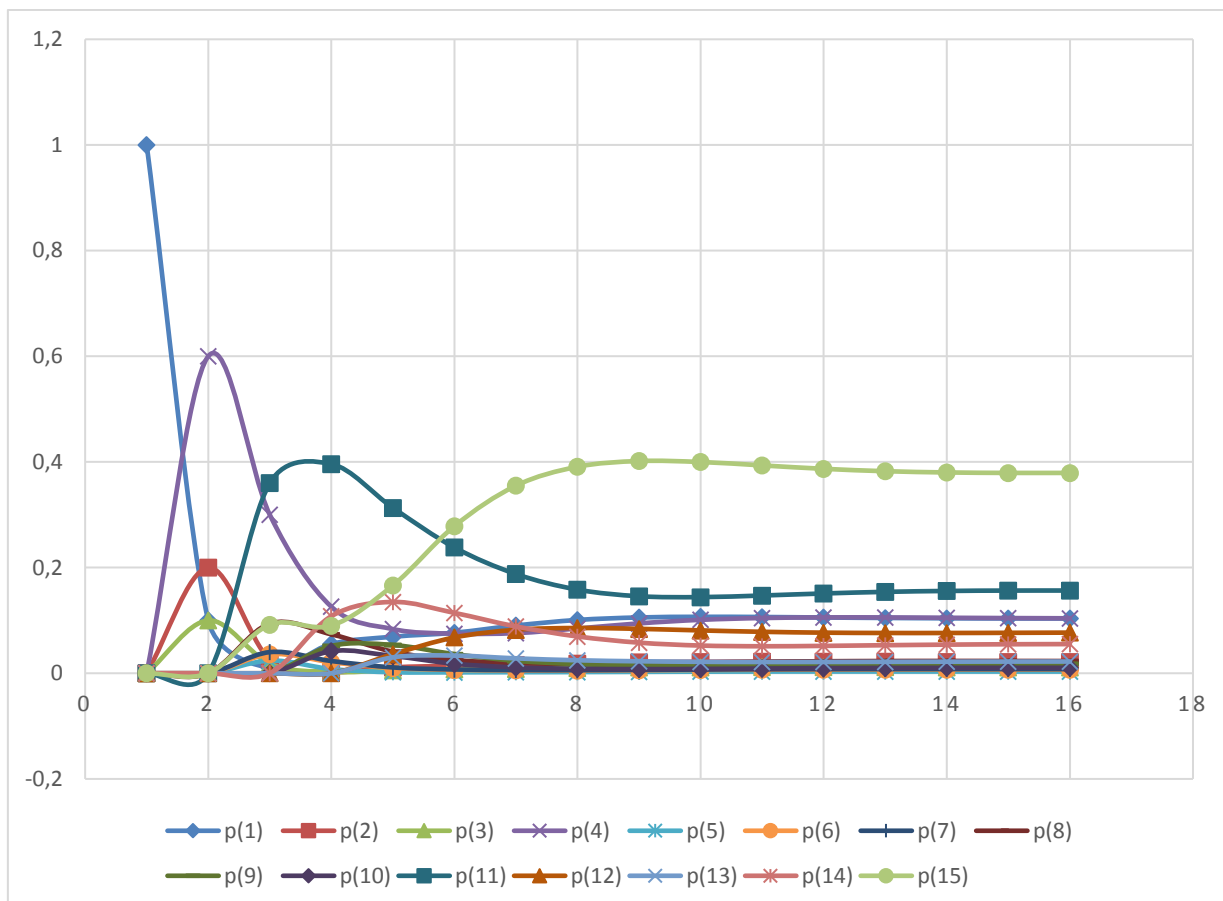
Рисунок 6.9 – Додаткові можливості програмного забезпечення

Для виконання шостого блоку запропонованої моделі розрахунок ймовірності станів ІС ПІВ на  $k$ -му кроці проводиться за допомогою використання марківських ланцюгів за методикою, описаною в п. 5.3.4.



Ймовірність станів після кожного переходу розраховується за формулами 5.22–5.24.

Для прийнятих початкових даних, на основі моделі ІС ІПВ, як марківського ланцюга, були отримані графіки зміни ймовірностей станів ІС ІПВ, які показані на рисунку 6.11.



1 - виявлення потреб в ТО, її уніфікації та нормативному забезпеченні; 2 – прийняття рішення про виготовлення, модернізацію ТО чи використання збірного ТО; 3 – прийняття рішення про використання ТО, що є в наявності; 4 – прийняття рішення про закупівлю уніфікованого ТО; 5 – розроблення проекту на виготовлення ТО; 6 - розроблення проекту на модернізацію ТО; 7 - розроблення проекту на складання ТО; 8 – підготовка плану випуску ТО; 9 – закупівля матеріалів; 10 – закупівля комплектуючих; 11– закупівля ТО; 12 – виготовлення ТО; 13 – приймально-здавальні випробування ТО; 14 – приймальні випробування ТО; 15 – зберігання ТО;

Рисунок 6.11 – Графік зміни ймовірностей станів ІС ІПВ

Аналіз рисунку 6.13 показав, що після восьмого кроку спостерігається стійкість розподілу ймовірності. Найбільш ймовірний процес після процесу зберігання ТО є процес 11 закупівлі ТО. Тобто найбільш ймовірною є обрана раціональна стратегія.

### **6.3 Обґрунтування ефективності впровадження Методики прийняття рішень**

При впровадженні у виробничих умовах запропонованої в другому розділі моделі постає питання ефективності прийнятих рішень.

В процесі дослідження даної проблеми науковцями були виділені наступні підходи [79]: «альтернативної вартості», «оптимальність Парето», «продуктивності факторів виробництва», «ресурсний», «витратний», «результативний», «цільовий», «потрібнісний», «статико-динамічний». Тому вибір обґрунтованого підходу для визначення ефективності є актуальним питанням при впровадженні моделі прийняття рішень в ІС ІПВ.

Вивченням поняття та підходів до розрахунку ефективності займалися ряд вчених, наприклад, Олійник О. В., Ковзель М. О., Рац О. М. Економічна ефективність розглядається ними як результативність економічної діяльності, реалізації економічних заходів.

Результати впровадження запропонованої в розділі 2 Методики прийняття рішень в ІС ІПВ можна оцінити за допомогою економічної ефективності, яка виражає результативність інструментального виробництва. Вона характеризується шляхом зіставлення отриманого економічного ефекту (результату) до витрат ресурсів, які зумовили отримання цього результату.

Для визначення витрат на підприємстві використовується термін собівартість продукції. Собівартість – показник, що узагальнює всі сторони діяльності підприємства, а також характеризує ефективність його роботи. До собівартості зараховують сукупні витрати на підготовку і виробництво продукції (робіт, послуг) та збут, виражені у грошовій формі. Собівартість характеризує ефективність усього процесу виробництва на підприємстві,

оскільки в ній відображаються рівень організації виробничого процесу, технічний рівень, продуктивність праці та ін. Чим краще працює підприємство, ефективніше використовує виробничі ресурси, тим нижча собівартість.

Порівняльна економічна ефективність визначається при виборі одного з двох і більше варіантів вирішення певної господарської або техніко-економічної задачі, наприклад, при вирішенні питань з виробництва та застосування взаємозамінних матеріалів і продукції; реконструкції діючих підприємств та ін. Вона дає можливість охарактеризувати переваги одного варіанта в порівнянні з іншими. При визначенні порівняльної економічної ефективності в якості величини економічного ефекту приймається економія, отримана від зниження собівартості продукції, в якості витрат – додаткові капітальні вкладення, що зумовили цю економію.

При зіставленні двох варіантів можливо різне співвідношення необхідних капітальних вкладень і рівня собівартості продукції. Той варіант, який характеризується меншими (або рівними) капітальними вкладеннями і одночасно забезпечує нижчу собівартість продукції, за інших рівних умов визнається економічно вигідним. При впровадженні запропонованої методики прийняття рішень на машинобудівних підприємствах не виключаються капітальні вкладення (додаткові витрати), наприклад, на програмне забезпечення, додаткову оргтехніку та ін. Але в цьому випадку вони не враховуються, тому що на ПАТ «СМНВО» впроваджена інформаційна система SAP.

Враховуючи вищезазначене формулу для розрахунку порівняльної ефективності можна представити у вигляді:

$$E = \frac{C_{\sigma}}{C_{np}},$$

де  $C_{\delta}$  – собівартість продукції при виконанні базової стратегії інструментозабезпечення (стратегії підприємства), грн.;

$C_{np}$  – собівартість продукції при виконанні прийнятої стратегії (на основі Методики прийняття рішень), грн.

При калькулюванні собівартості важливе значення має склад витрат, які до неї входять. Собівартість повинна включати до свого складу витрати необхідної праці, тобто витрати, що забезпечують процес відтворення всіх факторів виробництва (предметів і засобів праці, робочої сили і природних ресурсів). Крім того, враховуючи специфіку запропонованої методики прийняття рішень, до собівартості необхідно включати витрати на ІПВ.

Згідно методики [80] до статей калькуляції запропоновано відносити:

- сировина та матеріали;
- основна заробітна плата виробничих робітників;
- додаткова заробітна плата виробничих робітників;
- відрахування на соцстрах;
- відшкодування зносу спеціальних інструментів і пристроїв:
- відшкодування вартості спеціальних інструментів (спецоснащення) і пристроїв цільового призначення;
- витрати на проектування, виготовлення (придбання) спеціального інструменту (спецоснащення) і пристроїв цільового призначення;
- витрати на ремонт і утримання в робочому стані спеціальних інструментів;
- витрати на утримання спеціальних служб підприємства, конструкторських бюро, що спеціально обслуговують поточне виробництво певних видів виробів;
- витрати на проведення епізодичних і періодичних випробувань, оплата експертиз, консультацій, пов'язаних з використанням спеціальних інструментів та пристроїв цільового призначення;



- витрати на виконання спеціальних робіт, передбачених технічними умовами тільки під час виробництва окремих виробів із серії або замовлення (особливе виконання);
- відшкодування вартості втрат від недовикористання деталей і вузлів застарілих конструкцій, а також спеціальних інструментів і пристроїв, коли ці втрати виникли внаслідок проведення поточної модернізації виробу з метою поліпшення його якості, надійності, довговічності та зниження собівартості;
- вартість доданої до виробів технічної документації;
- витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- загально виробничі витрати:
- витрати, пов'язані з управлінням виробництвом, а саме: на утримання працівників апарату управління структурних підрозділів;
- на оплату робіт (послуг) консультативного та інформаційного характеру, пов'язаних із забезпеченням виробництва;
- витрати на службові відрядження;
- витрати на повне відновлення основних фондів та капітальний ремонт (виробничого призначення) у вигляді амортизаційних відрахувань від вартості основних виробничих фондів на реконструкцію, модернізацію та капітальний ремонт фондів, що належать підприємству, а також тих, що перебувають у користуванні підприємства;
- витрати на обслуговування виробничого процесу: придбання сировини, матеріалів, палива, енергії, інструментів, пристроїв та інших засобів і предметів праці;
- загальногосподарські витрати:
- витрати на обслуговування виробничого процесу: придбання сировини, матеріалів, палива, енергії, інструментів, пристроїв та інших засобів і предметів праці; проведення поточного ремонту, технічний огляд і технічне обслуговування основних виробничих фондів загальногосподарського характеру, за винятком їх реконструкції і модернізації; контроль за

виробничими процесами і якістю продукції (робіт, послуг); забезпечення правил техніки безпеки праці, санітарно-гігієнічних та інших вимог та ін.;

– витрати на пожежну і сторожову охорону (включаючи оплату послуг сторонніх підприємств за пожежну та сторожову охорону);

– поточні витрати, пов'язані з утриманням та експлуатацією фондів природоохоронного призначення, витрати на захоронення екологічно небезпечних відходів та ін.;

– витрати, пов'язані з управлінням виробництвом.

Таким чином, впровадження запропонованої в розділі 2 «Методики прийняття рішень в ІС ІПВ» має вплив на пункти 5, 7.д та 8.а вказаного кошторису собівартості.

Для розрахунку *E* впровадження «Методики прийняття рішень в ІС ІПВ» на підприємстві ПАТ «СМНВО» для п'яти технологічних процесів виготовлення деталей були взяті наступні дані за 2016–2017 рр.:

– номенклатура інструменту для їх виготовлення представлена в таблиці 3.5;

– кошторис собівартості деталі (в таблиці 6.6 представлено (у якості прикладу) статті кошторису втулки ущільнення Н17.59.109).

Дані розрахунків порівняльної економічної ефективності впровадження методики прийняття рішень в ІС ІПВ (представлені в таблиці 6.7).

Таким чином, в даному випадку, для чотирьох проектів, у яких виконується обмежуюча умова – виконання інструментозабезпечення точно в строк, – середня ефективність становить 1,13, тобто в середньому ефективність впровадження методики прийняття рішень в ІС ІПВ у відсотках становить:

$$(1,13 - 1) * 100\% = 13 \%$$

Таблиця 6.5 – Номенклатура інструменту по деталям

Деталь	Інструмент, що необхідний для виготовлення деталі
Вал 1.3910-650.10-02	свердло 2301-0015 Р6М5 ГОСТ 10903-77; різець 2103-0714 Т5К10 ГОСТ 20872-80; різець 2103-0714 ВК8 ГОСТ 20872-80;

Деталь	Інструмент, що необхідний для виготовлення деталі
	фреза 2223-0011 P6M5 ГОСТ 17026-71; шліфувальний круг прямого профілю ГОСТ 2424-83
Втулка ущільнення Н17.59.109.01	свердло 2301-3587 ГОСТ 10903-77; свердло центрувальне 2317-0106 ГОСТ 14952-75; різець 2112-0005 T15K6 ГОСТ 18880-73 (R0,2 при вершині); різець 2141- 0059 T15K6 ГОСТ 18883-73. різець спеціальний канавковий; різець підрізний DCLNR 3232P12; пластина CNGP 120408-MM GC2025; різець підрізний DCLNL 3232P12; пластина CNGP 120408-MM GC2025. різець канавковий RAG123K11-40B; пластина N123K2-0600-0004-GM GC1125; канавковий різець: LF123J13-3232BM; пластина N123J2-0500-0004-GM GC1125; різець SVJBL 2525M11; пластина VBMT 110302-MF GC 1125
Вал-шестерня 317-225.261-01	контурний різець C4-PWLN-27050-06JET; пластина WNGG 060402-MFI; канавковий різець C4-CFIR-27060-03JET; пластина LCMF 160302-03-00-FT; різець для проточки канавки спеціальний. фреза 2234-0353 N 9 ГОСТ 9140-78, Сталь P6M5 ГОСТ 19265-73 шліфувальний круг 1 300×25×32 25A F46 N 6 V 35 2.
Поршень верхній 265A.212-5	різець 2102-1367 BK6 ГОСТ 24996-81; різець 21450601 BK6 ГОСТ 20874-75; свердло 2301-3555 P6M5 ГОСТ 10903-77; фреза дискова шлицева 2214-0158 P6M5 ГОСТ 2679-73
Корпус СТКТ 3.1.1.010.320-00.03	свердло 2301-3605 P6M5 ГОСТ 10903-77 – свердло спіральне Ø15,5; свердло 2301-3674 P6M5 ГОСТ 10903-77 – свердло спіральне Ø30; свердло 2301-3708 P6M5 ГОСТ 10903-77 Ø40; різець 2103-0714 BK8 ГОСТ 20872-80; фреза 2214-0155 BK8 ГОСТ 9473-80 – фреза торцева насадна ø125; свердло 2301-3001 P6M5 ГОСТ 10903-77, спіральне свердло діаметром 5 мм; свердло 2301-0015 P6M5 ГОСТ 10903-77, спіральне свердло діаметром 8 мм; зенківка 2353-0114 P6M5 ГОСТ 14953-80; мітчик 2620-1156 P6M5 ГОСТ 3266-81 M6-7H

Таблиця 6.6 – Кошторис собівартості втулки ущільнення Н17.59.109.01

Найменування статті калькуляції	Сума, грн.
Сировина та матеріали	209,7
Транспортно-заготівельні витрати	15,7
Зворотні відходи (віднімаються)	41,31
Основна заробітна плата	59,64
Додаткова заробітна плата	17,2
Відрахування на соціальне страхування	28,82
Відшкодування зносу спеціальних інструментів і пристроїв цільового призначення	17,89

Найменування статті калькуляції	Сума, грн.
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	162
Загальновиробничі витрати	44,33
Разом	513,97

Таблиця 6.7 – Економічна ефективність впровадження запропонованої Методики прийняття рішень в ІС ІПВ

Деталь	Річна програма випуску, шт	Собівартість виготовлення, грн.		Е, %	Примітки
		С <sub>б</sub>	С <sub>пр</sub>		
Вал 1.3910-650.10-02	250	С <sub>б</sub>	14037,04	1,32	+
		С <sub>пр</sub>	10634,12		
Втулка ущільнення Н17.59.109.01	200	С <sub>б</sub>	513,97	1,15	+
		С <sub>пр</sub>	446,9		
Вал-шестерня 317-225.261-01	400	С <sub>б</sub>	72,71	0,995	-
		С <sub>пр</sub>	73,07		
Поршень верхній 265А.212-5	400	С <sub>б</sub>	3143	1,058	+
		С <sub>пр</sub>	2970,7		
Корпус СТКТ 3.1.1.010.320-00.03	250	С <sub>б</sub>	10113,6	1,023	Забезпечення фрези не виконано в заданий термін
		С <sub>пр</sub>	9886,2		

#### 6.4 Висновок

Визначено критерії вибору методу прогнозування, який найбільш адекватно враховує специфіку конкретного процесу ІПВ. На основі визначених критеріїв за допомогою експертного методу проведена кількісна оцінка застосування методів прогнозування показників результативності процесів ІПВ. Хоча запропонований метод не включає перевірку обраних методів на адекватність й визначення помилки прогнозу, він дозволяє значно скоротити час на розробку прогнозуючої моделі щодо оцінювання якості перебігу процесів системи ІПВ та її результативності в цілому. Це дозволяє в повній мірі підвищити гнучкість системи ІПВ вітчизняних промислових підприємств у швидкозмінних умовах.

Апробована математична залежність процесу прийняття рішення при управлінні якістю процесів ІС ІПВ. Доведено, що вона дозволяє в розробленій ІС ІПВ приймати ефективні оперативні рішення.

Показано, що отримані результати і рекомендації відіграють важливу роль в поліпшенні якості перебігу процесів системи ІПВ та її результативності на всіх етапах життєвого циклу інструменту та оснащення будь-якого машинобудівного підприємства.

Запропоноване програмне забезпечення реалізації моделі прийняття рішень дозволяє підвищити ефективність збору, зберігання, аналізу й передачі інформації в ІС ІПВ.

В наш час існує багато підходів для визначення ефективності вдосконалення діяльності шляхом впровадження нових методів. Тому обрання вірного підходу, який враховував би особливості методу, його впровадження, а також особливості підприємства є актуальним питанням сьогодення. Особливістю запропонованого підходу є визначення порівняльної економічної ефективності. Запропонований показник включає собівартість продукції основного виробництва, в яку враховані сукупні витрати на підготовку і виробництво продукції (витрати на придбання інструменту та матеріалів, витрати відшкодування зносу спеціальних інструментів і пристроїв). Ефективність впровадження запропонованої методики прийняття рішень в ІС ІПВ складає 13 %.

## **7 РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТА НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОЦЕСІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА**

### **7.1 Алгоритм розроблення і впровадження інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва**

Впровадження моделі ІС ІПВ, що запропонована в розділі 5.1, значно полегшить управління процесами інструментозабезпечення, оптимізує потоки інформації, як всередині ІС ІПВ, так і назовні, а також ліквідує вузькі місця при управлінні.

Передумовами впровадження ІС ІПВ на машинобудівному підприємстві можуть стати: необхідність автоматизації процесів управління ІПВ та їх складність; необхідність управління потоками робіт; можливість інтеграції із функціонуючими системами; територіальний розкид підприємства, а також відповідність міжнародним, галузевим стандартам.

Проте, треба мати на увазі, що процес впровадження ускладнюється наявністю та співпрацею різних структурних підрозділів та осіб, які відповідають за окремі види діяльності. Тому для мінімізації ризиків, пов'язаних з реалізацією цієї моделі, необхідно розробити (скласти) алгоритм її розробки та впровадження, рисунок 7.1. Впровадження ІС ІПВ полягає в наступному.

Прийняття рішення керівництвом стосовно впровадження ІС ІПВ.

На цьому етапі керівництво повинно визначити групу фахівців і керівника проекту з впровадження системи, визначити й відобразити в документах їхні функції та обов'язки, переконатися в компетентності персоналу, який входить до групи фахівців.

Формування вимог до ІС ІПВ.

Група фахівців формує перелік вимог, яким повинна відповідати ІС ІПВ.

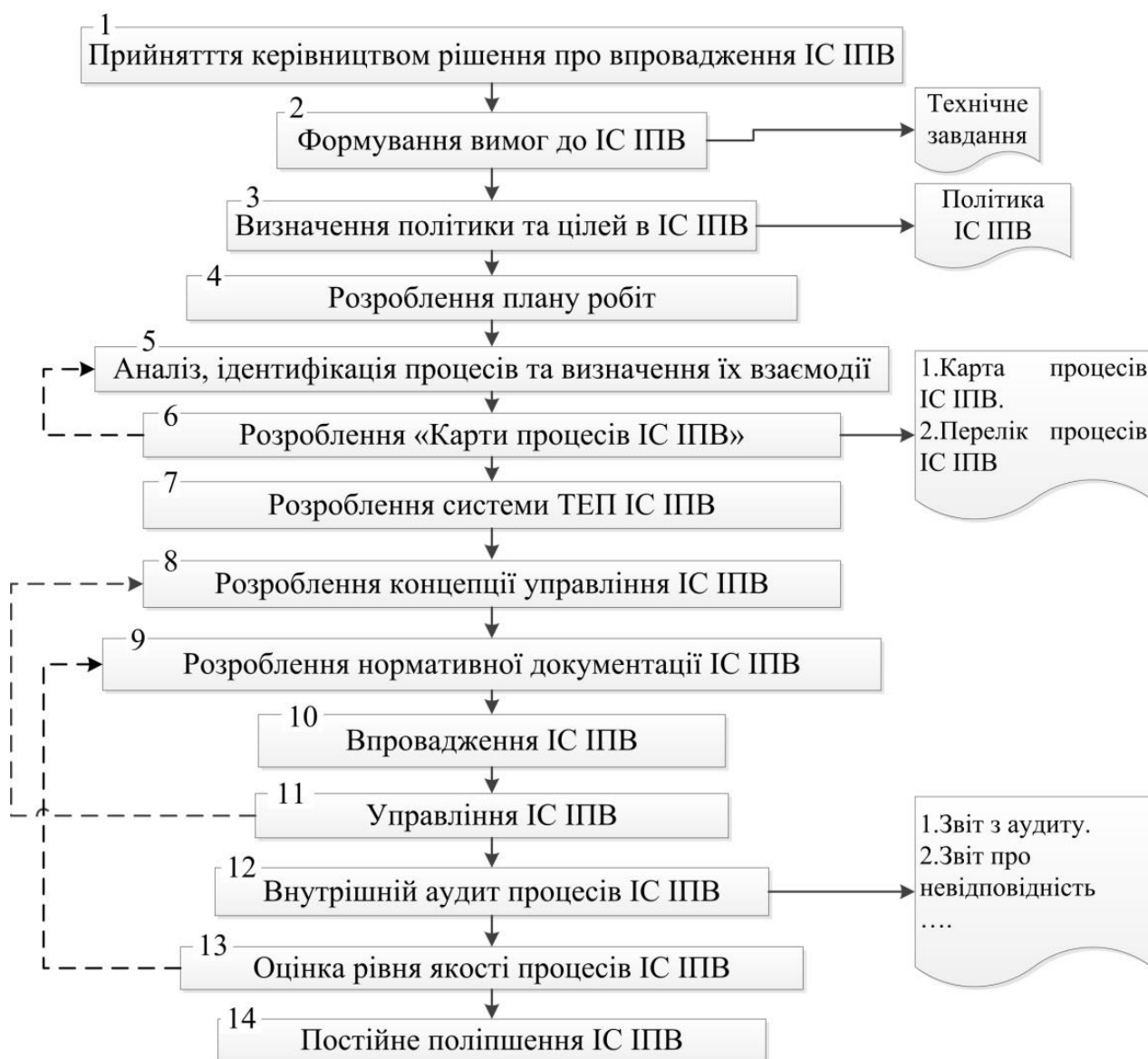


Рисунок 7.1 – Алгоритм впровадження системи ІС ІПВ

На основі переліку вимог до ІС ІПВ та техніко-економічного обґрунтування її впровадження, розробляє проект технічного завдання та подає його на затвердження керівнику підприємства.

Визначення політики та цілей ІС ІПВ.

Робоча група формує проект політики та цілей ІС ІПВ. Керівник проекту узгоджує цей проект зі структурними підрозділами, що є учасниками цього процесу, та подає його на затвердження керівнику підприємства.

Розробка плану робіт.

На даному етапі керівник проекту розроблює проект плану робіт, визначає основні етапи виконання робіт, терміни їх виконання та подає його на затвердження керівнику підприємства.

Визначення, аналіз та ідентифікація процесів, що діють в ІПВ.

Робоча група визначає список процесів ІПВ та виконує їх аналіз.

Ідентифікація процесів ІС ІПВ і визначення їх взаємодій. На основі детального аналізу всіх процесів, що діють в ІПВ, робоча група виділяє окремі процеси, встановлює: власників, споживачів й постачальників кожного процесу; цілі, які мають бути досягнуті в кожному з розглянутих процесів; хто вимірює (оцінює) результати процесів; хто або що ініціює на початку кожного процесу; вхідні параметри процесів, хто і як їх вимірює; як і ким (відповідальні особи) або разом з ким реалізується кожний процес; виходи відповідних процесів, або що є результатом їх виконання; наявність опису алгоритму дій (модель) для перетворення відомих входів в задані виходи кожного процесу; порядок дій при змінах у ході його здійснення; як і за допомогою яких критеріїв проводиться оцінка кожного процесу.

Класифікація, угруповання та кодування процесів ІС ІПВ. Базу для класифікації й угруповання процесів формують діючі на підприємстві положення про структурні підрозділи й посадові інструкції. Основні процеси, тобто процеси, безпосередньо пов'язані зі створенням доданої вартості, доповнюються підтримуючими процесами й процесами управління. Виявлення в організації основних процесів полегшує завдання визначення належності всіх процесів підприємства до певної групи.

Визначення нових процесів ІС ІПВ. Після того, як отримано перелік наявних процесів ІПВ, керівник проекту аналізує анкету детального обстеження з метою виявлення процесів, наявність яких вимагає стандарт ДСТУ ISO 9001:2009, але яких немає в складеному списку. Цей список також необхідно погодити зі співробітниками ІПВ і при необхідності внести в нього зміни. По кожному новому процесу необхідно провести роботи з його ідентифікації. На основі вимог, що пред'являються новою системою,



оцінюється інфраструктура та визначається роль відділу інформаційних систем.

Розроблення «Карти процесів ІС ІПВ».

На основі отриманої інформації про діючі й нові процеси робоча група розробляє «Карту процесів ІС ІПВ» в організації. «Карту процесів ІС ІПВ» погоджують зі співробітниками ІС ІПВ, і при необхідності вносять в неї зміни. На основі «Карти процесів» керівник проекту розробляє «Перелік процесів ІС ІПВ в організації». Потім «Карта процесів ІС ІПВ» і «Перелік процесів ІС ІПВ в організації» затверджуються керівництвом.

Розроблення системи ТЕП ІПВ.

На основі політики та цілей ІС ІПВ розробляється загальна система техніко-економічних показників процесів ІС ІПВ, після чого вона затверджується керівництвом.

Розроблення концепції управління системою ІПВ.

На основі розробленої «Карти процесів ІС ІПВ» та технічного завдання робоча група з залученням представників постачальника програмного забезпечення проводять оцінку необхідних ресурсів для реалізації системи ІС ІПВ, проектують інтерфейс системи та створюють концепцію управління.

Розробка нормативної документації системи ІС ІПВ.

Робоча група з залученням персоналу системи ІПВ проводить роботи з розробки, оформлення та затвердження документації на організаційну модель ІПВ, інформаційну модель системи ІПВ і систему управління якістю ІПВ (рис. 5.1).

Впровадження ІС ІПВ.

Робочою групою з залученням представників постачальника програмного забезпечення проводиться: підготовка персоналу, забезпечення технічними засобами робочих місць, впровадження програмного забезпечення, запуск системи, випробування та її дослідну експлуатацію.

Управління ІС ІПВ.

На цьому етапі керівники підрозділів ІПВ здійснюють обстеження існуючих форм і методів управління виробництвом, їх оцінку і порівняльний аналіз, визначають "вузькі місця" в управлінському процесі та фактори, які відіграють головні як позитивні, так і негативні ролі в управлінні процесом, а також здійснюють пошук критеріїв оцінки ефективності управління процесом. Відповідальний за процес одразу після визначення значення того або іншого показника й виявлення його відхилення сповіщає цю інформацію керівнику підрозділу, який здійснює регулюючий вплив, та розробляє рекомендації, спрямовані на підвищення ефективності управління процесом.

#### Внутрішній аудит ІС ІПВ.

Група з аудиту згідно з графіком проведення внутрішніх аудитів або управлінських рішень керівництва ІПВ проводить внутрішній аудит процесів ІС ІПВ. Аудитори проводять збір даних (методами опитування, вивчення документів, спостереження за діяльністю та ін.), аналізують їх та фіксують невідповідності у «Звіті про невідповідність». Після проведення аудиту групою з аудиту формується «Звіт з аудиту», на основі якого керівники процесів проводять корегуючі та попереджальні дії.

#### Оцінка рівня якості процесів ІС ІПВ.

Відділ управління контролю якості протягом встановленого проміжку часу проводить оцінку рівня якості процесів ІС ІПВ, визначає тенденції змін процесу та, при необхідності, формує рекомендації по його корегуванню. Існують різні підходи щодо методів оцінки рівня якості процесів, які досить детально розглянуті в роботі.

#### Постійне поліпшення ІС ІПВ.

Вище керівництво ІПВ задля постійного поліпшення ІС ІПВ систематично переглядає та актуалізує політику і цілі ІПВ щодо якості, контролює поширення інформації про політику та цілі в сфері якості з метою підвищення обізнаності, мотивації та залучення персоналу на всіх рівнях підприємства, реалізує принцип орієнтації на споживача (основне виробництво) у всіх підрозділах ІПВ, підтримує функціонування

результативної і ефективної системи управління якістю у відповідності з ДСТУ ISO 9001:2009, забезпечує ІС ІПВ необхідними ресурсами, проводить систематичний аналіз ІС ІПВ, розробляє систему заходів для удосконалення ІС ІПВ.

## **7.2 Розроблення рекомендацій щодо нормативного забезпечення інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва**

### **7.2.1 Рекомендації щодо нормативного забезпечення інформаційної системи управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва**

Для впровадження запропонованої інформаційної системи управління якістю процесів ІПВ був розроблений проект типових стандартів організації України для кожного з етапів ЖЦ: проектування, розробки та виготовлення інструменту і оснащення, які показані у додатках Г, Д.

Стандарт організації України (далі – СОУ) – стандарт, що встановлює вимоги до конкретного виду продукції, процесу (роботи), послуги, що розроблений однією фізичною або юридичною особою і вживаний тільки цією фізичною або юридичною особою, починаючи від дати введення в дію до моменту скасування або заміни.

Метою розроблення СОУ є розроблення, актуалізація та підтримка внутрішньої організаційно-методичної та нормативної документації для функціонування організації, яка відповідає вимогам ДСТУ ISO 9001.

СОУ визначають цілі і порядок виконання окремих видів діяльності із зазначенням відповідальності, повноважень та взаємовідносин персоналу, який керує, виконує, перевіряє та аналізує цей вид діяльності.

СОУ розробляються керівниками структурних підрозділів із залученням фахівців безпосередньо займаються видом діяльності, на який поширюється даний вид документа. СОУ рекомендовано викладати та оформлювати згідно

вимог ДСТУ 1.5 «Національна стандартизація. Правила побудови, викладення, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів».

Розроблені проекти СОУ наведені у додатках Г, Д. У додатку Г наведений проект СОУ «Інструментальна підготовка виробництва в інформаційній системі підприємства». Цей стандарт поширюється на інформаційні системи ПАТ, використовувані в процесах життєвого циклу інструментальної підготовки виробництва. Стандарт встановлює стадії і етапи проектування та розроблення ТО, виготовлення ТО, а також зміст робіт на кожному етапі.

Структура стандарту наведена на рисунку 7.2.

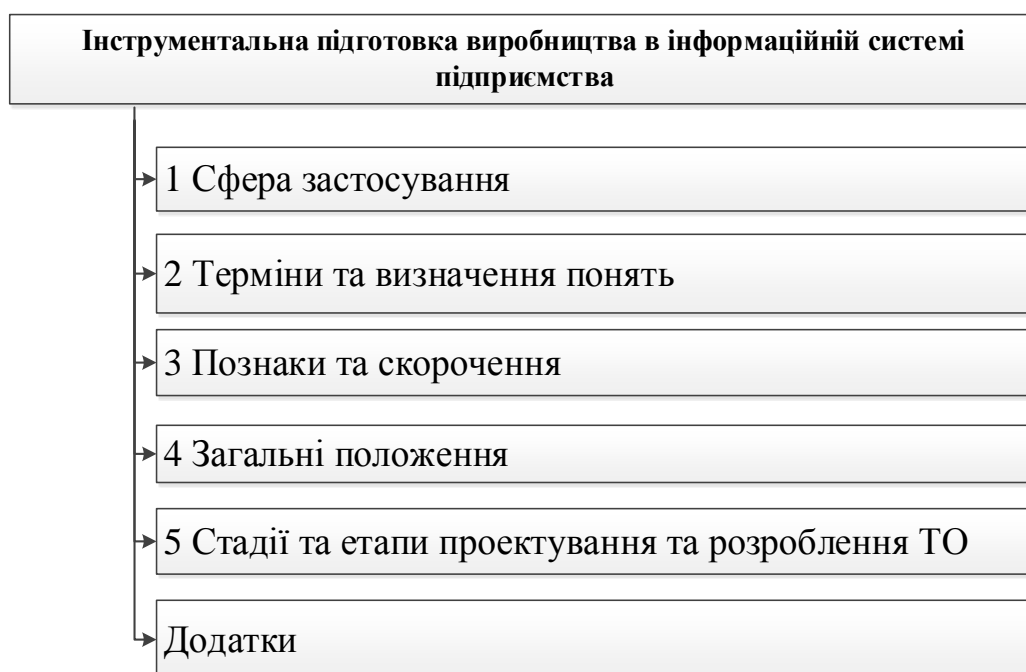


Рисунок 7.2 – Структура СОУ «Інструментальна підготовка виробництва в інформаційній системі підприємства».

В розділі 4 «Загальні положення» наведені цілі процесу проектування та розроблення ТО, викладені вимоги до стадій та етапів розроблення, проектування та виготовлення ТО в умовах ІС ППВ. Перелік стадій та етапів створення ТО наведений в розділі 5 «Стадії та етапи створення ТО». Етапи створення ТО включають: формування вимог до ТО; розроблення концепції ТО; технічне завдання; технічний проект; розроблення робочої документації;

введення в дію та супровід ТО. В розділі 6 наведений документообіг процесу проектування та розроблення ТО машинобудівного підприємства. В цьому розділі в таблицю зведені процеси створення ТО, входи та виходи процесів, отримувачі документів, власники підпроцесів, строки виконання та особи, що виконують контроль за процесами.

В додатку А цього СОУ наведений зміст робіт щодо етапів створення ТО, які викладені в розділі 5. В додатку Д цієї роботи наведений проект СОУ «Експлуатація технологічного оснащення в умовах функціонування інформаційних систем». Цей стандарт поширюється на процес експлуатації технологічного оснащення та на застосування інтерактивних електронних технічних керівництв.

Структура стандарту наведена на рисунку 7.3.

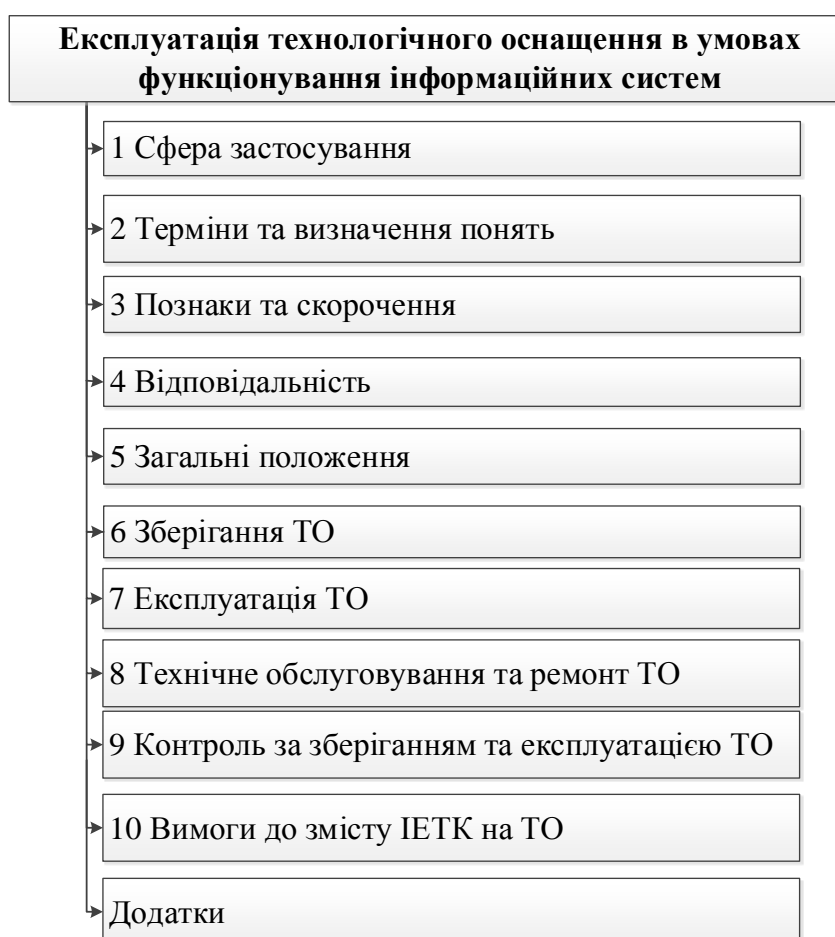


Рисунок 7.3 – Структура СОУ «Експлуатація технологічного оснащення в умовах функціонування інформаційних систем»

В розділі 4 «Відповідальність» покладена відповідальність на головного інженера підприємства за виконання цілей, визначених стандартом.

В розділі 5 викладені загальні положення щодо використання ТО на підприємстві; викладена класифікація ТО; визначені напрями забезпечення ТО; запропоновані рекомендації щодо інтерактивних електронних технічних керівництв ТО.

В розділі 6 наведені основні вимоги до зберігання ТО та основні вимоги до визначення запасу ТО в ІС ІПВ.

Вимоги до експлуатації ТО регламентовані в розділі 7 «Експлуатація ТО». Встановлені вимоги щодо видачі ТО, та заборони щодо використання ТО на підприємстві.

Розділ 8 «Технічне обслуговування та ремонт ТО» містить вимоги до періодичних перевірок ТО, дії стосовно непридатної ТО та вимоги стосовно ремонту ТО.

Також в стандарті наведені вимоги до контролю над еусплуатацією та зберіганням ТО (розділ 9) та вимоги до змісту ІЕТК (розділ 10).

В додатках А-В цього СОУ представлені форми електронних журналів приходу та обліку інструмента, а також вигляд дефектної відомості.

**7.2.2 Розроблення проекту Типової методики прийняття рішень в інформаційній системі інструментальної підготовки виробництва**

На базі проведених досліджень щодо прийняття рішень в ІС ІПВ та враховуючи результати, що отримані при їх апробації на конкретних підприємствах, був розроблений проект «Типова методика прийняття рішень в ІС ІПВ», яка рекомендується для використання на всіх машинобудівних підприємствах України. Розроблений проект Типової методики поширюється також і на системи управління якістю ІПВ, на процеси ІС ІПВ, а також на осіб, що приймають рішення в ІС ІПВ.

Методика призначена для використання при плануванні процесів забезпечення технологічним оснащенням основного виробництва в умовах

функціонування інформаційних технологій. При цьому вона дозволяє уніфікувати методи обстеження ІС ІПВ та отримувати результати щодо рівня ТЕП поточного стану ІС ІПВ, а також планованих ТЕП ІС ІПВ не тільки для підприємств, що аналізувалися, а й в галузі машинобудування в цілому.

Типова методика – нормативний документ, що встановлює порядок виконання оцінки техніко-економічних показників процесів ІС ІПВ, проведення розрахунків коефіцієнта сталого розвитку, та на їх основі прогнозування перебігу процесів з метою прийняття рішення щодо раціональної стратегії управління процесами ІС ІПВ машинобудівних підприємств України.

Методика розроблена в зв'язку з вимогами стандартів ДСТУ ISO 9001, а також враховує основні положення керівних нормативних документів ПАТ «СМНВО» щодо функціонування ІПВ в умовах інформаційних технологій.

Методи, що використовуються для виконання робіт щодо запропонованої методики описані в розділі 5 цієї дисертаційної роботи.

Необхідність розробки Типової методики обумовлена також скороченням витрат на процеси ІС ІПВ, а також на розроблення методів управління якістю процесів ІС ІПВ.

Одним з важливих розділів цієї Типової методики є запропонована класифікація ТЕП ІС ІПВ, а також метод їх оцінювання на основі застосування теорії нечітких множин.

В цілому запропонована Типова методика дозволяє оперативно виконувати дослідження процесів ІС ІПВ, прогнозування їх перебігу з урахуванням специфіки підприємства та, на основі застосування методів оптимізації, приймати раціональне рішення щодо управління якістю процесів ІС ІПВ, як на оперативному, так і на тактичному рівнях.

### **7.3 Нормативне забезпечення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різального інструменту**

#### **7.3.1 Загальний алгоритм прийняття рішення**

Загальний алгоритм прийняття рішення стосовно вибору ЛРІ можна зобразити у вигляді блок-схеми рис. 7.4.

#### **7.3.2 Нормативне забезпечення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різального інструменту**

Для забезпечення неруйнівного експрес-методу оцінювання якості лез різальних інструментів нормативною документацією було розроблено проект методики.

Згідно ДСТУ 1.5, методика має структуру наведену в рисунку 7.5.



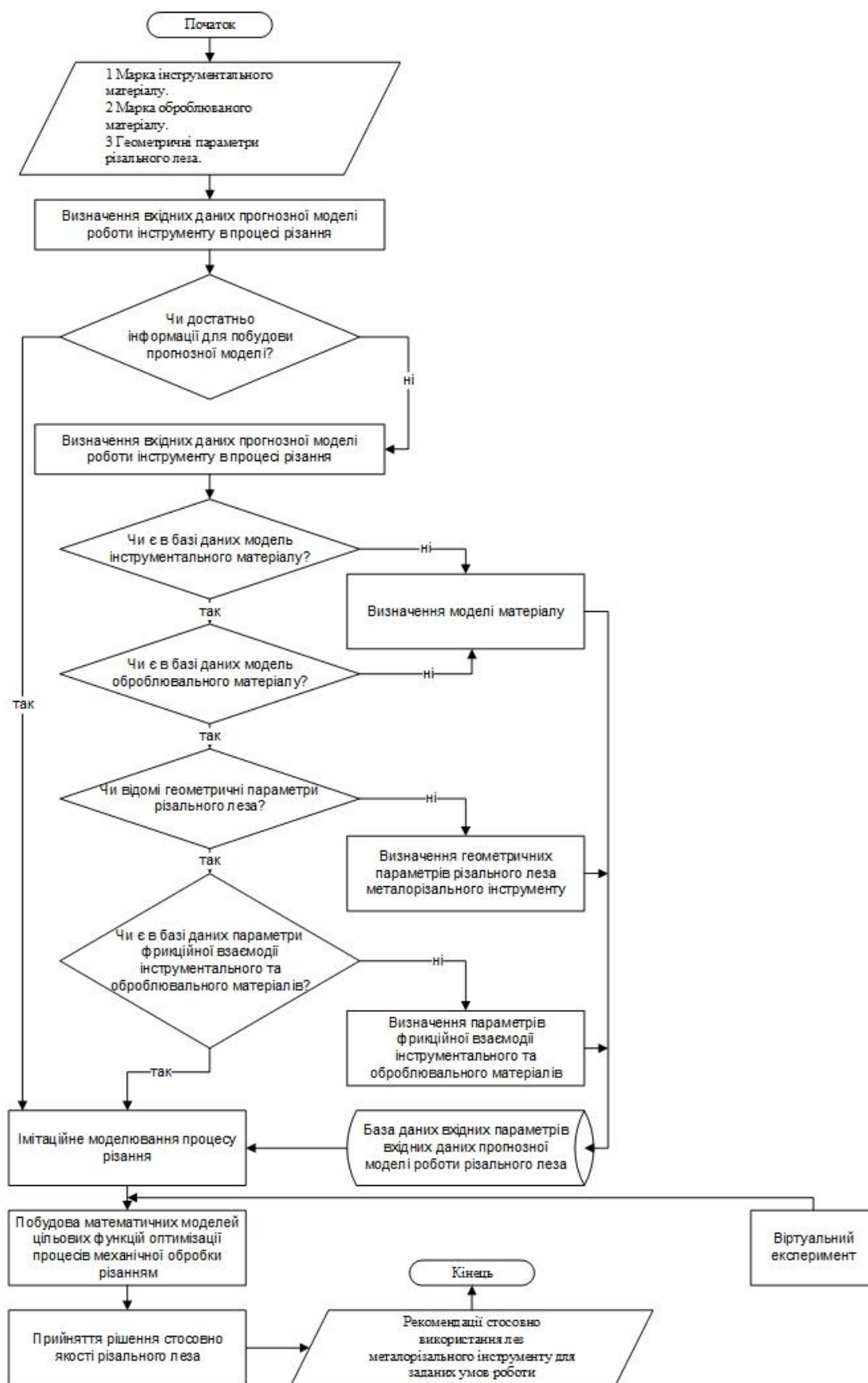


Рисунок 7.4 – Загальний алгоритм прийняття рішення



Рисунок 7.5 – Структура стандарту

#### 7.4 Висновок

1. Розроблено нормативно-методичне забезпечення функціонування ІС ІПВ. Запропоноване нормативно-методичне забезпечення дозволяє на кожному машинобудівному підприємстві розробляти систему управління якістю ІС ІПВ із урахуванням специфіки підприємства, сукупності технологічних процесів, характеру технологічного оснащення, що випускається, та інших виробничих особливостей.

2. Розроблена Типова методика прийняття рішень в ІС ІПВ дозволяє оперативно виконувати дослідження процесів ІС ІПВ, прогнозування їх перебігу з урахуванням специфіки підприємства та, на основі застосування методів оптимізації, приймати раціональне рішення щодо управління якістю процесів ІС ІПВ, як на оперативному, так і на тактичному рівнях.

## ВИСНОВКИ

В роботі за результатами комплексних досліджень щодо створення нових засобів і методів оцінювання якості різального інструменту запропоновано теоретичні основи неруйнівного оцінювання якості лез металорізального інструменту та принципи їх нормативного забезпечення, які дозволяють підвищити ефективність планування інструментального забезпечення на основі експрес-оцінювання якості лез металорізального інструменту; форсованих методів оцінки його стійкості; застосування скінчено-елементного аналізу стосовно прогнозування ресурсу лезового металорізального інструменту з урахуванням техніко-економічних показників машинобудівного виробництва та виконання вимог конкретного виробничого завдання.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в тому, що:

1. Доведено доцільність використання функції залежності технологічної собівартості оброблення деталі від параметрів режимів різання як узагальнювального показника якості ЛРІ з урахуванням вимог конкретного виробничого завдання.

2. Запропоновано неруйнівний експрес-метод оцінювання якості ЛРІ, який ґрунтується на визначенні адгезійної складової коефіцієнту тертя при обробці матеріалів різанням за допомогою спеціального устаткування та індентора з оброблюваного матеріалу.

3. За результатами виробничих випробувань запропонованого неруйнівного експрес методу оцінювання якості ЛРІ встановлено, що значення технологічної собівартості оброблювання, яке отримане експериментально, перебуває в діапазоні 10 % від значення, отриманого за розрахунками технологічної собівартості оброблювання за реальними режимами обробки на підприємствах.

4. Перевірка адекватності методу визначення показників стійкості ЛРІ на основі імітаційного моделювання процесу різання, що враховує

трибологічну взаємодію інструментального та оброблюваного матеріалів та радіус округлення леза різального інструменту, показало розсіювання показників в діапазоні до 25 %. Це зумовлено припущеннями та визначеннями числових значень, що були закладені в імітаційну модель, зокрема для інструментального матеріалу – модуля поздовжньої пружності  $E$ , коефіцієнту Пуассону  $\mu$ , теплопровідності  $\lambda$ , теплоємності  $C$ ; та визначенням безрозмірного коефіцієнту питомого заповнення площі відносної опорної поверхні адгезійного схоплювання на висоті серединної поверхні до повної площі оброблюваної поверхні  $t_{mA}$ .

5. За результатами теоретичних та експериментальних даних рекомендовано стандартизовані геометричні розміри індентора для визначення адгезійної складової сили тертя, а саме: діаметр 6 мм, довжина робочої частини 15 мм, радіус округлення торцю 800 мм.

6. Рекомендовано виробникам металорізального інструменту нормувати такі показники інструментального матеріалу: модуль поздовжньої пружності  $E$ , коефіцієнт Пуассону  $\mu$ , теплопровідність  $\lambda$ , теплоємність  $C$ , що дозволить у подальшому застосувати методи моделювання для визначення техніко-економічних критеріїв роботи інструменту та виконання вимог конкретного виробничого завдання.

7. Рекомендовано в подальшому застосування спеціальних алгоритмів машинного зору щодо визначення безрозмірного коефіцієнту питомого заповнення площі відносної опорної поверхні адгезійного схоплювання на висоті серединної поверхні до повної площі оброблюваної поверхні, що дозволить підвищити точність визначення цього коефіцієнту та автоматизувати цей процес.

8. На основі аналізу сучасних тенденцій в області інформаційних технологій, розроблено модель управління якістю інструментальної підготовки виробництва машинобудівного підприємства в умовах функціонування інформаційних технологій, яка дозволяє простежувати

інформаційні зв'язки ІПВ. Доведено можливість застосування запропонованої моделі на будь-якому машинобудівному підприємстві.

9. Запропоновано критерії вибору раціональних методів прогнозування витрат на процеси ІПВ. На основі запропонованих критеріїв розроблений інструментарій, який дозволяє врахувати специфіку конкретного процесу ІПВ при виборі методів прогнозування будь-яких показників на кожному етапі життєвого циклу технічного оснащення.

10. Сформульовано принципи класифікації витрат на якість процесів ІПВ машинобудівних підприємств. Це дозволило сформувати універсальну класифікацію витрат на якість ІПВ на будь-якому машинобудівному підприємстві.

11. Сформульовано принципи створення системи ТЕП ІС ІПВ, які враховують специфіку протікання її процесів. ТЕП ІС ІПВ доцільно класифікувати за видами діяльності: організаційно-економічні; виробничі; управління якістю; екологічні; соціальні. Запропонована система ТЕП ІС ІПВ може бути використана для раціоналізації діяльності з ІПВ різних машинобудівних підприємств.

12. Запропоновано оцінювання ТЕП на основі застосування теорії нечітких множин. Цей метод дозволяє узгодити ТЕП трьох видів: відносні ТЕП, що знаходяться в інтервалі  $0 - 1$  (оптимальне значення 1); ТЕП, які мають оптимальне абсолютне значення та ТЕП, що визначаються згідно логічних суджень експертів.

13. Запропоновано принципи формування інструментарію управління якістю ІПВ. На їх основі розроблено математичну модель управління техніко-економічними показниками з врахуванням витрат на якість ІПВ, яка дозволить спрогнозувати найбільш ймовірний сценарій протікання процесів ІПВ, оперативно приймати управлінські рішення, тим самим мінімізувати витрати на ІПВ. При виборі раціонального рішення вперше запропоновано застосовувати коефіцієнт сталого розвитку ІС ІПВ. Доведено універсальність

запропонованої моделі та її застосовність не залежно від специфіки підприємства.

14. Доведено універсальність принципів формування нормативного забезпечення системи управління якістю ІПВ методами прогнозування в умовах інформаційних технологій.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. О. В. Івченко, «Дослідження питань нормалізації вимог щодо якості металорізального інструменту на всіх етапах його життєвого циклу (тези) друк. Матеріали 15-й Международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика»,» Киев, 2015, pp. 43-45.
2. Панов А.А., Аникин В.В., Бойм Н.Г. и др.; Под общ. ред. Панова, Обработка металлов резанием: Справочник технолога, М.: Машиностроение, 1988, p. 736.
3. Залога, В. О., Гончаров, В. Д., Залога, О. О., Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник, Суми: Сумський державний університет, 2013.
4. Якімов О.В., Марчук В.І., Лінчевський П.А., Яюмов О.О., Ларшин В.П., Технологія машино- та приладобудування: підручник, Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2005, p. 712.
5. Верещака А.С., Кушнер В.С., Резание материалов: Учебник, М.: Машиностроение, 2009, p. 535.
6. Справочник машиностроителя, т. 5, М.: Машиностроения, 1964, p. 920.
7. Внуков, Ю. М., Залога, В. О., Зношування і стійкість різальних лезових інструментів : навчальний посібник, Суми: Сумський державний університет, 2010.
8. Мазур, М. П., Внуков, Ю. М., Доброскок, В. Л., Залога, В. О., Новоселов, Ю. К., Якубов, Ф. Я., Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів], Львів: Новий Світ – 2000, 2011.
9. Косилова, А. Г., Мещерякова, Р. К., Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах, т.2., Москва: Машиностроение, 1986.
10. «Фундаментальні аспекти прийняття рішень в системі інструментального забезпечення машинобудівних виробництв,» [Онлайновий]. Available:



[http://sumdu.edu.ua/images/stories/scientific\\_inf/research/report/interim2016-Zaloga\(1\).pdf](http://sumdu.edu.ua/images/stories/scientific_inf/research/report/interim2016-Zaloga(1).pdf).

11. С. Rubenstein, «The influence of strain rate in orthogonal cutting,» *Int. J. Mach. Tool Des. and Res.*, pp. 105-120, 1972.
12. Г. И. Грановский, Резание металлов, Москва: Высшая школа, 1985.
13. В. А. Десненко, Л. И. Пупань, А. И. Грабченко та В. И. Кононенко, «Способ контроля качества режущего инструмента». СССР Патент А.С. 1764833 СССР, G 01 N 3/58, 30 09 92.
14. Н. В. Новиков, Л. Н. Девин, А. К. Пискунов, В. Ф. Дрожин та В. Л. Доброскок, «Способ прогнозирования стойкости режущего инструмента». СССР Патент А. С. 1682888 СССР, G 01 N 3/58, 07 10 1991.
15. В. П. Вавилов, В. А. Пушных, В. В. Ширяев та А. В. Шипулин, «А.с. 1651155 СССР, МКИ5 001 N3/58. Метод прогнозирования режущих параметров партии твердосплавных инструментов». СССР Патент № 4633651/28, 23 05 91.
16. И. В. Крагельский, Трение, изнашивание и смазка: Справочник в 2- х т., Москва: Машиностроение, 1978.
17. F. P. T. D. Bowden, *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford: Clarendon Press, 1964.
18. М. Е. Abdelmoneim, «Tool edge roundness and stable buildup formation in finish machining,» в *Trans. ASME.*, 1976, pp. 1258-1267.
19. А. А. Виноградов, «Стужкообразование при точении пластичных металлов инструментом с округленной режущей кромкой,» в *Сверхтвердые материалы*, 1991, pp. 65-70.
20. Г. Ф. Алейниченко, «О соотношении радиуса округления режущей кромки и толщины срезаемого слоя,» в *Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн. техн. сборник.*, Харків, ХГТУ, 1976, pp. 39-40.
21. Г. Л. Цвирко, «Процесс образования стружки и динамика износа инструмента в условиях тонких срезов,» в *Труды Уральской юбилейной научной*

*сессии по итогам научно-исследовательских работ в области машиностроения*, Курган, 1969, pp. 65-68.

22. С. Н. Филоненко, «Особенности стружкообразования при резании с малыми толщинами среза,» в *Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн. техн. сборник*, Харків, Высшая школа, 1977, pp. 73-77.

23. Е. Н. Маслов, Теория шлифования материалов, Москва: Машиностроение, 1974.

24. Грановский, Г. И., Панченко, К. П., Фасонные резцы, Москва: Машиностроение, 1975.

25. В. А. Залого, Разработка научных основ и принципов практического применения нестационарных видов обработки резанием на базе попутного тангенциального течения: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01, СумГУ, 2000.

26. Д. В. Криворучко, Підвищення ефективності процесів чистової обробки на основі аналітичного моделювання силової взаємодії леза з заготовкою: дис. доктора техн. наук : 16.01.03, Київ, 2003.

27. С. С. Ковальчук, Исследование контактных нагрузок на поверхностях режущего инструмента при изменении его геометрических параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01, Хмельницкий, 1993.

28. F. Klocke, «Scaling Effects of the Cutting Edge Rounding on the Minimum Uncut Chip Thickness and 3D FE Modeling in Drilling,» в *Proceedings of the 10th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations*, 2007, pp. 197-208.

29. S. Sathyan, Some Investigations of Scaling Effects in Micro-Cutting, Georgia Institute of Technology, 2006.

30. H. A. Kishawy, «Arbitrary Lagrangian Eulerian analysis on cutting with a honed tool,» в *Proc. IMeshE Vol. 222 Part B: Engineering Manufacture*, 2008, pp. 155-162.

31. Y. C. Yen, «Influence of Cutting Edge Radius of Coated Tool on Chip Formation in Orthogonal Cutting of Alloy Steel,» в *Proceedings of the 7th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations*, 2004.

32. V. P. Astakhov, «Tools (geometry and material) and tool wear,» в *Machining: Fundamentals and Recent Advances*, London, 2008, pp. 29-57.
33. Е. Д. Баклунов, «Использование двойного микроскопа МИС-11 для определения радиуса округления режущих лезвий,» в *Труды Николаевского кораблестроительного института*, 1974, pp. 51-54.
34. Т. М. Волкова, «Измерение радиуса округления режущей кромки инструмента,» в *Измерительная техника*, 1968, pp. 78-79.
35. К. N. Nakayama, «Способ оценки остроты режущей кромки,» в *Сэймицу когаку кайси*, J. Jap. Soc. Presic. Ing., 1989, p. 2261–2266.
36. W. S. Schafer, «Измерение радиуса округления режущих кромок инструмента,» в *Экспресс информация*, 1972, pp. 174-176.
37. W. Charles, *Optical radius gauge*, 1992.
38. О. В. Івченко, Управління якістю інструментальної підготовки виробництва багатомоделного машинобудівного підприємства: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.02, Київ, 2009.
39. Ю. К. Перский, Автоматизация управления инструментальным, М.: Машиностроение, 1985, p. 304.
40. НПО "НИИПТМаш", Организация инструментального хозяйства, основные положения: методические рекомендации, Краматорск: НПО НИИПТМаш, 1988, p. 168.
41. Инструментальная подготовка производства на машиностроительном предприятии: Справочник, К.: Техніка, 1985, p. 103.
42. А. В. Івченко, «Оптимизация организационной структуры инструментальной подготовки производства,» *Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць.*, № 2, pp. 238-248, 2008.
43. Бокс Дж., Анализ временных рядов, прогноз и управление, М.: Мир., 1974, p. 406.

44. Организация инструментального хозяйства, основные положения: методические рекомендации, Краматорск: НПО "НИИПТМаш", 1988, р. 168.
45. S.J. Torvinen, «Integration of a CIM tool-management to an intelligent feature based process planning system,» *Computers in Industry*, 1991.
46. Лилия Губич, «Компьютеризация инструментального производства – приоритетная задача промышленности,» «САПР и графика», № 2, pp. 23-25, 2001.
47. В. Баронов, Автоматизация управления предприятием: серия «Секреты менеджмента», М.: ИНФРА-М, 2000, р. 239.
48. «Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла (CALS «Continuous acquisition and life-cycle support»),» [Онлайновый]. Available: <http://www.emb.ustu.ru/kurs/ispu/download/1/gud.htm>. [Дата звернення: 2017].
49. «Методология создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и оперативного управления позаказным машиностроительным производством,» *САПР и графика*, № 8, pp. 81-86, 2011.
50. «Концепция построения системы в условиях реальной производственной среды,» [Онлайновый]. Available: [http://leport.ru/analitika/press\\_1.html](http://leport.ru/analitika/press_1.html) . [Дата звернення: 2018].
51. Применение ИПИ технологий в задачах обеспечения качества и конкурентоспособности продукции. Методические рекомендации, М.: НИЦ CALS технологии «Прикладная логистика», 2004, р. 104.
52. Т. П. Барановская, Информационные системы и технологии в экономике: учебник для студентов сельскохозяйственных учебных заведений, М.: Финансы и статистика, 2006, р. 416.
53. Manufacturing Resource Planning. A Pocket Guide, Robin Goodfellow, 1993.
54. Управление производством на базе стандарта MRP-II, СПб.: Питер, 2002, р. 352.
55. Інформаційні системи і технології на підприємствах, К.: КНЕУ, 2001.

56. Сухінін Д. В., «Процесний підхід до організації діяльності з надання» [Онлайновий]. Available: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej2/txts/techno/05sdvnmp.pdf> . [Дата звернення: 2018].
57. Методы прогнозирования социально-экономических процессов: Учебное пособие, Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004, р. 212.
58. «Техніко-економічні показники» [Онлайновий]. Available: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Техніко-економічні\\_показники](http://uk.wikipedia.org/wiki/Техніко-економічні_показники) . [Дата звернення: 2017].
59. «Види техніко-економічних показників» [Онлайновий]. Available: <http://lection.com.ua/managment/-remosfd/vidi-tehniko-ekonomichnih-pokaznikiv> . [Дата звернення: 2018].
60. Horváth und Partner, Balanced Scorecard umsetzen, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2007, р. 452.
61. Д. В. Антипов, «Управление качеством изготовления режущего инструмента на основе интеграции методов менеджмента,» в *Вектор науки ТГУ*, 2009, pp. 15-20.
62. Глудкин, О. П., Горбунов, Н. М., Гуров, А. И., Всеобщее Управление качеством: Учебник для вузов, Москва: Горячая линия, 2001.
63. Хаєт, Г. Л., Гузенко, В. С., «Этапы развития теории надежности и оптимизации технологических систем,» в *Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: Сб. научных трудов.*, Краматорск, ДГМА, 1999, pp. 3-15.
64. Ozel, T., Altan, T., «Determination of workpiece flow stress and friction at the chip-tool contact for high-speed cutting,» *Int. J. of Machine tools & Manufacture*, pp. 133-152, 2000.
65. Ozel, T., Zeren, E., «Determination of work material flow stress and friction for FEA of machining using orthogonal cutting test,» *Journal of Material Processing Technology*, pp. 1019-1025, 2004.

66. М. Ф. Полетика, Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента, Москва: Машиностроение, 1969.
67. Н. Chandrasekaran, S. G. Kapoor, «Photoelastic analysis of tool-chip interface stresses,» *Trans. ASME*, № 87, pp. 78-91, 1965.
68. Г. С. Андреев, «Исследование напряжений в рабочей части резца на порязризационно-оптической установке с применением киносъемок,» *Вестник машиностроения*, pp. 34-38, 1958.
69. В. А. Остафьев, Физические основы процессов резания металлов, Київ: Высшая школа, 1976.
70. Б. Ф. Бобров, Основы теории резания металлов, Москва: Машиностроение, 1975.
71. Писаренко, Г. С., Агаев, В. А., Квитка, А. Л., Соппротивление материалов, Київ: Вища школа, 1979.
72. U. Heisel, «Cause Analysis of Errors in FE Prediction Orthogonal Cutting Performances,» в *Proceedings of the 10th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations*, Calabria, 2007, pp. 141-148.
73. F. Klocke, «2D-FEM simulation of the orthogonal high speed cutting process,» в *Machining Science and Technology*, 2001, pp. 323-340.
74. P. Sartkulvanich, «Effects of flow stress and friction models in finite element simulation of orthogonal cutting – A sensitivity analysis,» в *Machining Science and Technology*, 2005, pp. 1-26.
75. J. Sohner, Beitrag zur Simulation zerspanungstechnologischer Vorgange mit Hilfe der Finite-Element-Methode: Doktors der Ingenieurwissenschaften, Karlsruhe: Universitat Karlsruhe, 2003.
76. Habak, M., leburn, J. L., Badie-Levet, D., «Effect of the Microstructure on the Tool/Chip Tribological Contact in Hard Turning of 100Cr6 Bearing Steel,» в *Proceedings of the 10th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations*, 2007, pp. 365-372.

77. Интеллектуальная поддержка автоматизированной системы управления инструментообеспечением на машиностроительном предприятии, Набережные Челны: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.06, 2009.
78. Н. А. Янковский, Совершенствование системы управления промышленным предприятием: проблемы и решения: монография, Донецк: Норд-Пресс, 2006, р. 393.
79. М. В. Чорна, Оцінка ефективності інноваційної діяльності підприємств: монографія, Харків: ХДУХТ, 2012, р. 210.
80. Наказ Міністерства промислової політики України від 09.07.2007 р. № 373, Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості, Київ: Міністерство промислової політики України, 2007.
81. Стандартизация, Москва: Госстандарт, 2018.
82. Г. Корн та Т. Корн, Справочник по математике для научных работников и инженеров, Москва: Наука, 1974.
83. Семь инструментов качества в японской экономике, Москва: Издательство стандартов, 1990.
84. С. Б. Погребинский и В. П. Стрельников, Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ, Москва: Радио и связь, 1988.
85. Применение ИПИ технологий в задачах обеспечения качества и конкурентоспособности продукции. Методические рекомендации., Москва: НИЦ CALS технологии «Прикладная логистика», 2004.
86. В. П. Стрельников та А. В. Федухин, Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем, Киев: Логос, 2002.
87. Надежность электрорадиоизделий, Москва: "Мороз-6" и "Надежность ВТ", 2006.
88. Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості, Наказ Міністерства промислової політики України від 09.07.2007 р. № 373..

89. Bosco, W. M. Chan, «Tool Management for flexible manufacturing,» *Int. J. of Computer Integrated Manufacturing*, 1992.