

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

Л. М. Богданова, В. Л. Аносов

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Монографія

Затверджено
на засіданні вченої ради
ДДМА
Протокол № 5 від 15.03.2017

Краматорськ 2018

УДК 004.414.23 : 621.9.07

Б73

Автори:

Богданова Л. М., канд. техн. наук, доцент;

Аносов В. Л., ст. викладач.

Рецензенти:

Пермяков А. А., д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (м. Харків);

Гусев В. В., д-р техн. наук, професор, Донецький національний технічний університет (м. Покровськ);

Видання здійснено за підтримки міжнародного проекту «Розроблення курсів із впровадження інноваційних віртуальних підходів для інтеграції наукових досліджень, освіти та виробництва в Україні, Грузії та Armenii DESIRE» (544091-TEMPUS-1-2013-BE-TEMPUS-JPCR) за програмою TEMPUS Європейської комісії.

Поданий матеріал відображає думку авторів. Європейська комісія не несе відповідальності за використання інформації, що міститься в монографії.

Богданова, Л. М. Моделювання технологічних систем механічної обробки деталей : монографія / Л. М. Богданова, В. Л. Аносов. – Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2018. – 175 с.

ISBN 978-966-379-749-6.

Представлено етапи розробки математичної моделі технологічної системи для обробки деталей типу вал, оцінка параметрів моделі, результати статистичного моделювання системи в середовищі GPSS W з використанням розробленої моделі. Розглянуто методи структурного синтезу складової частини ТС – різального інструменту, а також метод лінійної резолюції і його використання при формуванні моделей конструкцій. Розроблена методика використання графових моделей потоків подій в технологічній системі з урахуванням зняття обмежень на пуассонівський характер потоків подій.

УДК 004.414.23 : 621.9.07

© Л. М. Богданова,
В. Л. Аносов, 2018
© ДДМА, 2018

ISBN 978-966-379-749-6

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ.....	9
1.1 Методи скорочення штучного часу	9
1.2 Дослідження надійності технологічних систем	14
1.3 Види моделей при описі технологічних систем «людина-машина».....	18
1.4 Аналіз факторів, що впливають на діяльність виконавця в технологічних системах.....	23
РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНІЙНОЇ РЕЗОЛЮЦІЇ.....	29
2.1 Структурний синтез при проектуванні ризального інструменту.	29
2.2 Постановка завдання алгоритмічного "складання" конструкції інструменту	36
2.3 Схема алгоритму синтезу конструкції, заснована на методі лінійної резольюції.....	44
РОЗДІЛ 3. ГРАФОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	54
3.1 Завдання розробки графової моделі відмов інструменту і устаткування та відновлення їх працездатності.....	54
3.2 Ймовірно-статистичний розрахунок часу відновлення в умовах графової моделі.....	58
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВАЛ.....	63
4.1 Опис функціонування технологічної системи моделлю системи масового обслуговування	63
4.2 Визначення надійності технологічної системи на підставі моделі для системи з кінцевим часом відновлення.....	76
4.3 Математична модель інформаційного навантаження на робітника	78
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	80
5.1 Опис змінних моделі – часу напрацювання і часу відновлення для різних стадій обробки.....	80

5.2 Розробка моделі технологічної системи.....	90
5.3 Планування імітаційного експерименту при дослідженні технологічної системи.....	96
РОЗДІЛ 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІД ЧАС РІЗАННЯ	
6.1 Дослідження часу відновлення технологічної системи.....	99
6.2 Аналіз часу обслуговування технологічної системи при різанні	131
6.3 Імітаційне моделювання функціонування технологічної системи при обробці валків	137
РОЗДІЛ 7. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ РІЗНИХ КОНФІГУРАЦІЙ	
7.1 Аналіз адекватності моделі.....	142
7.2 Аналіз результатів моделювання	145
РОЗДІЛ 8. ЗАХОДИ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ.	
8.1 Заходи щодо поліпшення параметрів ефективності технологічної системи.....	159
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	166

ВСТУП

Аналіз сучасного стану машинобудування показав, що спостерігається тенденція скорочення більшості етапів життєвого циклу виробу, обумовлена прагненням виробників швидше й максимально повно задовольняти потреби суспільства. Тому потрібне подальше вдосконалювання механообробного виробництва, пошук нових резервів росту продуктивності праці і якості продукції, прискорення переналагоджуваності виробництва, підвищення його керованості, що може бути реалізовано у рамках САПР.

Одним з етапів життєвого циклу є виробництво машин, що також має тенденцію до зменшення строків в умовах ринкової економіки. Основним регламентуючим документом при виготовленні машини є технологічний процес (ТП) і від його продуктивності залежить час випуску готового виробу. Продуктивність техпроцесу прямо залежить від продуктивності операції (що є найменшою нормованою одиницею ТП), у тому числі від всіх втрат, що становить штучний час на операцію. Для важких токарських верстатів допоміжний час становить 20–45 % від загального часу обробки, тому важливо розглядати допоміжний час і способи його скорочення як резерв підвищення продуктивності обробки деталей. Це також важливо з погляду зменшення втрат від простоїв дорогих важких і великих верстатів.

Простої також можуть бути зменшено за рахунок використання прогресивних конструкцій різальних інструментів. Необхідно, щоб вибрана, або знову спроектована конструкція різального інструменту мала набір властивостей, значення показників яких є оптимальними для конкретного споживача з урахуванням економічних, ергономічних і інших обмежень.

Розглядаючи технологічний процес механообробки необхідно мати на увазі наступне. По-перше, це процес не тільки різання, але й відновлення технологічної системи (ТС) за участю верстатника. При цьому обидва процеси складним чином залежать один від одного.

По-друге, більшість виробничих процесів варто розглядати як стохастичні. Лише з певною ймовірністю можна говорити, що ТП буде виконаний у заданий термін, що за цей час не відбудеться відмова інструменту або що виготовлена деталь не буде забракована. Варто визначати ймовірність виконання ТП і ймовірність появи або відсутності відмов, що

перешкоджають досягненню результату. Вплив випадкових факторів викликає розсіювання вихідних параметрів ТП, таких як точність обробки, економічні показники, продуктивність. У цьому зв'язку у монографії процес обробки аналізується як стохастичний і розглядаються питання підвищення надійності окремих елементів і всієї ТС, як способу підвищення показників її ефективності і якості. Особливе значення питання надійності набувають при обробці дорогих, великих деталей, що мають поверхні великого розміру.

Раніше не звертали належної уваги на те, що серед процесів, пов'язаних з механообробкою, є регулярні, які відбуваються завжди (наприклад, зношування інструмента), і нерегулярні, які варто очікувати з деякою ймовірністю (наприклад, поломка інструменту). Особливо наочним є такий поділ для процесів відновлення. Нерегулярні процеси різко збільшують розсіювання значень часу різання й часу відновлення, що збільшує нестабільність процесу виробництва деталі.

В останні роки приділялася велика увага діагностиці стану технічної частини технологічної системи, але не враховувався найбільш складний і тонкий для діагностики елемент технологічної системи – людина. Стан верстатника залежить від рівня надійності ТС.

У книзі розглядається підвищення ефективності механообробки деталей за рахунок скорочення часу відновлення ТС, як показника її ремонтпридатності, тобто надійності, шляхом зменшення частки нерегулярних прийомів при відновленні системи.

Методологічна основа – системний підхід і аналіз об'єкта досліджень, заснований на використанні:

- теорії технічних систем;
- методів структурного синтезу технічних рішень, зокрема, методу морфологічного аналізу і синтезу;
- методик дослідження надійності, заснованих на використанні математичного апарату теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії графів й систем масового обслуговування;
- хронометражу часу й миттєвих спостережень для аналізу видів витрат часу, їхньої структури;

– методу миттєвих спостережень для визначення питомої ваги й абсолютного значення окремих елементів витрат робочого часу в загальних його витратах за період спостереження;

– формалізації структурних зв'язків технологічної системи у вигляді ефектів схеми факторного експерименту;

– кореляційного й регресійного аналізу для побудови рівнянь регресії функцій відгуку для параметрів ефективності ТС.

У монографії вирішувалися наступні завдання:

1. Виконувалось формування математичних моделей, які можуть бути використані в САПР технічних об'єктів, зокрема складової частини ТС – різальних інструментів;

2. Вивчався процес відновлення технологічної системи через виявлення факторів, які впливають на структуру й тривалість часу її відновлення;

3. Розроблялася логічна, а потім імітаційна модель функціонування технологічної системи при механічній обробці валків на основі аналізу технологічного процесу їхнього виготовлення;

4. Виводились залежності часу відновлення від технологічних факторів з використанням методів теорії ймовірностей і математичної статистики;

5. Проводилося порівняння величини параметрів ефективності ТС, отриманих у результаті моделювання, зі значеннями параметрів у виробничих умовах;

6. Встановлювалась ступінь впливу показників надійності ТС на ефективність, продуктивність ТС, її коефіцієнт готовності, інформаційне навантаження на верстатника, використовуючи імітаційну модель. Розроблялись практичні рекомендації зі зменшення тривалості часу відновлення системи, призначенню режимів різання з урахуванням надійності інструменту.

Розділ перший цієї книги (*Л. М. Богданова, В. Л. Аносов*) присвячений характеристиці досліджуваної предметної області: її основних сутностей, зв'язків між ними.

Другий розділ (*В. Л. Аносов*) присвячено методам автоматизації проектування складової частини ТС – різального інструменту. Розглянуто

методи структурного синтезу, а також метод лінійної резолюції і його використання при формуванні моделей конструкцій.

У третьому розділі (*В. Л. Аносов*) представлена графова модель оцінки ефективності відновлення різального інструменту. Наведено методику імовірно-статистичного розрахунку часів відновлення в умовах графової моделі у термінах системи масового обслуговування.

У четвертому розділі (*Л. М. Богданова*) описується концептуальна модель ТС у термінах системи масового обслуговування. Визначаються змінні моделі. Вибираються показники оцінки ефективності моделі ТС. Також встановлюються залежності для визначення вихідних параметрів ТС у тому числі надійності й інформаційного навантаження робітника. Розробляється структурна модель системи.

П'ятий розділ (*Л. М. Богданова*) присвячений розробці моделі ТС і планування експерименту з моделлю.

У шостому розділі (*Л. М. Богданова*) наводяться дані про функціонування ТС, зібрані у виробничих умовах, що дозволило визначити параметри моделі. Проводиться постановка завдання й створення програми для імітаційного моделювання ТС.

У сьомому розділі (*Л. М. Богданова*) приводиться постановка завдань для моделювання різних конфігурацій ТС із метою оцінки адекватності моделі. Встановлюються діапазони зміни параметрів моделі при яких вона функціонує з найбільшою ефективністю.

У восьмому розділі (*Л. М. Богданова*) приводяться заходи щодо поліпшення ефективності функціонування ТС.

РОЗДІЛ 1

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Методи скорочення штучного часу

Ергатичні системи (ЕС) відносяться до класу цілеспрямованих систем, тобто систем, які завдяки притаманній їм активності прагнуть до досягнення деякої мети. Як відомо, властивість ЕС досягати кінцевої мети – це ефективність ЕС. Вона обумовлюється надійністю функціонування і якістю процесу функціонування, тобто рівнем характеристик процесу функціонування на інтервалах безперебійного функціонування. Взаємозв'язок цих понять представлено на рисунку 1.1 [1]. Для оцінки ефективності системи запропонований показник ймовірності досягнення мети [1].

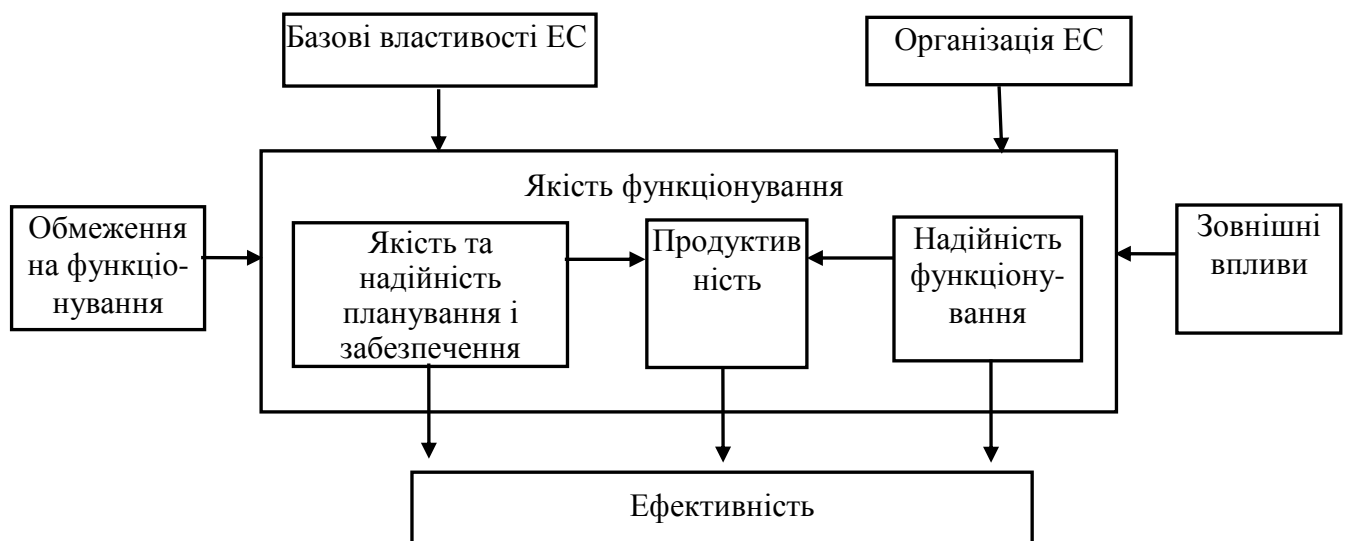


Рисунок 1.1 – Взаємозв'язок якості та ефективності функціонування системи

Продуктивність механічної обробки розраховується різними методами. У роботі [2] вона визначається обернено пропорційно штучному часу на обробку деталі.

Як відомо, штучно-калькуляційний час розраховується по формулі:

$$T_k = T_o + T_d + T_{обс} + T_{від} + T_{пз}/n, \quad (1.1)$$

де T_k – штучно-калькуляційний час у хв;

T_o – час різання, основний час;

T_d – допоміжний час;

$T_{обс}$ – час організаційного й технічного обслуговування;

$T_{\text{від}}$ – час відпочинку;

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час на партію;

n – кількість деталей у партії.

Структура витрат робочого часу протягом робочої зміни наведена в таблиці 1.1 по даним [3]. Як видно з даних таблиці, в умовах індивідуального та дрібносерійного виробництва час різання (основний час T_o) становить у токарських верстатів лише 26 %. Зі збільшенням серійності знижуються непродуктивні витрати та зростає частка основного часу.

Таблиця 1.1 – Розподіл витрат робочого часу (у %) для токарських верстатів протягом зміни

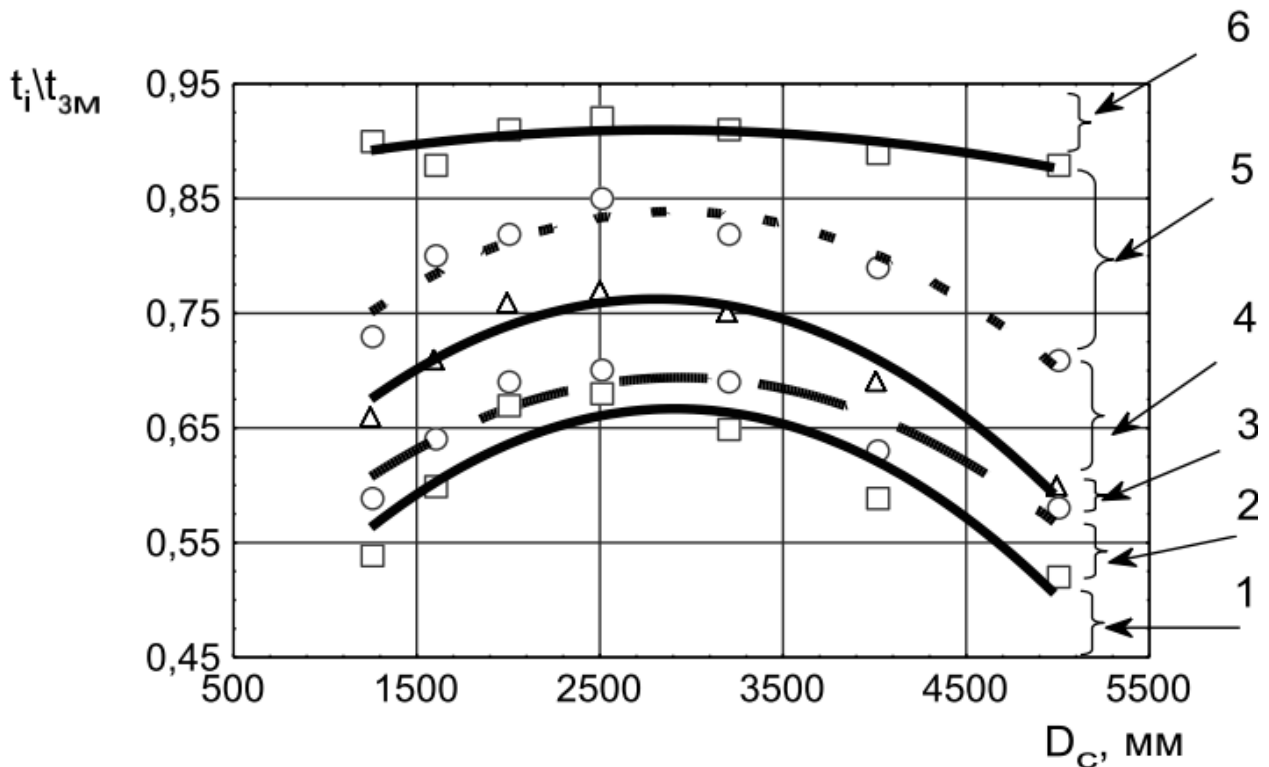
Індивідуальне та дрібносерійне виробництво				
T_o	T_d	$T_{\text{обс}}$	$T_{\text{від}}$	$T_{\text{пз}}$
26	24	5	29	16

Аналіз структури витрат робочого часу при обробці великих деталей по даним [4], отриманий в одному із цехів НКМЗ методом автоматизованого обліку роботи встаткування (відібрані дані, що стосуються важких токарських верстатів) приведено на рисунку 1.2. По осі абсцис відкладений основний розмірний параметр верстата D_c , мм (найбільший діаметр встановлюваного виробу над станиною), а по осі ординат – частка, що накопичується, розглянутих елементів часу t_i від часу зміни $t_{\text{зм}}$. Для важких токарських верстатів більшу частину цього часу (0,55...0,80) становить основний час t_o . Для середніх і великих верстатів частка основного часу падає до $t_o/t_{\text{зм}} = 0,30...0,55$, а для дрібних – до ще менших значень. Відношення $t_o/t_{\text{зм}}$ росте зі збільшенням числа деталей у партії, зі зниженням складності деталей і підвищенням рівня автоматизації обробки.

Навіть у формальній структурі часу, крім різання знаходять відображення тривалі за часом ручні або машинно-ручні роботи (у порядку зменшення загальних витрат часу): заміна деталі, заміна інструменту, контроль деталі, керування верстатом і т.д. З розгляду не слід виключати і простої, які становлять у середньому 10 % календарного часу. Їх доцільно розглядати, як невід'ємну частину виробничого процесу і прагнути до їхнього зниження.

Спостереження за верстатами з ЧПК [5] показали, що простої верстатів і систем становлять від 26 % до 35 %. Основними причинами технічних простоїв є: налагодження верстата (53,01 % часу технічних простоїв), несправність верстата і його електроустаткування (23,47 %), несправність пристрою ЧПК (14,38 %).

Якщо в багатосерійному і масовому виробництвах визначальними елементами є основний і допоміжний час, то при індивідуальному, дрібносерійному й серійному виробництві також велике значення має величина підготовчо-заключного часу.



1 - різання; 2 - керування верстатом; 3 - контроль деталі; 4 - заміна інструменту; 5 - заміна деталі; 6 - простой
 Рисунок 1.2 – Структура часу залежно від розміру важкого токарського верстата

Таблиця 1.2 – Витрати підготовчо-заключного часу

Елементи витрат години	Витрати часу у %
Встановлення і вивірка пристосувань для закріплення заготовки	6,0–9,3
Встановлення і вивірка пристосувань для закріплення різального інструменту	4,0–5,0
Встановлення окремих вузлів верстата в необхідне положення	0,3–0,6
Встановлення упорів	0,1–0,2
Встановлення режимів різання	0,2–0,3
Обробка налагоджувальних деталей	4,0–5,0

З наведених даних (табл. 1.2) видно, що найбільші витрати часу припадають на налагодження верстата — установку, вивірку пристосувань і різального інструменту. Для підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення $T_{пз}$ необхідно насамперед знаходити шляхи і засоби, що забезпечують зменшення часу налагодження верстата.

В умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва значна частка непродуктивних витрат пов'язана з втратами по організаційно-технічних причинах. По даним [3] для токарських верстатів ці втрати відповідають наведеним у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Втрати часу по організаційно-технічних причинах

Елементи витрат часу	Витрати часу, %
Час організаційного обслуговування робочого місця	1,6 – 7,5
Час, затрачуваний на непродуктивну роботу	3,8 – 10,0
Час простоїв по організаційно-технічним причинам	2,7 – 19,0
Час втрат, що залежить від робітників	0,5 – 1,0

Таким чином, на величину штучної продуктивності верстата впливає величина кожного із складових елементів норми часу, що залежить, у свою чергу, від ряду технічних і організаційних факторів. Отже, з метою підвищення продуктивності верстата необхідно вести роботу, спрямовану на скорочення всіх складових штучно-калькуляційного часу.

Переходячи до розгляду шляхів скорочення величин T_k , необхідно відзначити, що в результаті широкого впровадження швидкісних методів обробки досягнуте значне зниження частки основного часу T_o . Так, в [1] відзначається, що сучасні моделі вітчизняних токарських верстатів мають підвищену потужність, швидкохідність, твердість і вібростійкість; ці верстати мають також удосконалену систему керування. У середньому їхню потужність підвищено в 2...4 рази, а швидкохідність — в 3...5 разів за увесь час. Разом із введенням нових марок інструментальних матеріалів це забезпечує роботу на швидкісних режимах різання, що дозволило різко зменшити основний час. Як відзначається в книзі Митрофанова С. П. [1], подальше проведення робіт, спрямованих на скорочення основного часу, дає дуже незначний економічний ефект. При збільшенні швидкості різання, наприклад в 4 рази, але за умови рівності основного й допоміжного часу продуктивність праці зростає всього лише в 1,5 рази.

Отже, для значного підвищення продуктивності ТП (особливо при невеликих величинах основного часу) необхідно поряд із здійсненням заходів, спрямованих на скорочення основного часу, проводити роботи з метою скорочення допоміжного часу.

Так, час на контроль розмірів може бути зменшено при використанні спеціальних систем, поздовжніх і поперечних упорів, різних контрольно-вимірвальних пристроїв і приладів. Час на зміну інструмента може бути зменшено за рахунок застосування багатопозиційних тримачів із заздалегідь установленими на розмір інструментами, револьверних головок і інших пристроїв. Величина інших складових допоміжного часу може бути значно знижена за рахунок автоматизації керування верстатом, застосування

високопродуктивних пристосувань, що забезпечують швидку установку, закріплення і вивільнення оброблюваної деталі, перехід на встаткування зі ЧПУ. У результаті механізації й автоматизації досягається досить значне зниження витрат допоміжного часу в 1,5-2 рази.

Верстати з ЧПК дозволяють досягти економії допоміжного часу на додаток до перерахованих вище методів за рахунок ряду особливостей [5]. Устаткування зі ЧПК забезпечує обробку різних деталей з порівняно невеликим часом переналагодження і швидкодією при виконанні допоміжних команд і холостих переміщень, що викликає економію допоміжного часу. Практика експлуатації встаткування показує [5], що за рахунок автоматизації допоміжних операцій різко підвищується частка машинного часу – якщо на звичайних верстатах воно становить 18-35 %, то на верстатах з ЧПК підвищується до 80 відсотків, а допоміжний час скорочується на 70-90 %.

Варто мати на увазі, що верстати зі ЧПК є більше жорсткими в порівнянні з їхніми універсальними прототипами, мають кращий відвід тепла із зони різання і тому допускають об'єднання стадій обробки. Так, часто сполучають напівчистову і чистову операції на токарських верстатах з ЧПК, що значно підвищує коефіцієнт завантаження верстата.

При виборі послідовності операцій на верстатах зі ЧПК прагнуть до забезпечення повної обробки за умови мінімальної кількості установів, що скорочує час на налагодження верстата. Економія допоміжного часу досягається за рахунок введення інструментального переходу, що може містити кілька елементарних переходів за умови, що вони не будуть перериватися допоміжними переходами. У цьому випадку заощаджується допоміжний час, пов'язаний з переходом. При виборі послідовності обробки по сторонах або зонам заготовки проводиться групування оброблюваних поверхонь з метою виявлення мінімально необхідної кількості типорозмірів різальних інструментів, це скорочує кількість змін інструмента, а значить і час на технічне обслуговування верстата.

Ефективність використання верстатів зі ЧПК, пов'язана з скороченням допоміжного часу, багато в чому залежить від правильного вибору відповідного виду технологічного оснащення: верстатних пристосувань, різального і допоміжного інструмента, а також засобів його розмірного налаштування. У пристосуваннях до верстатів з ЧПК не застосовують кондуктори і розточувальні пристосування з елементами для направлення різального інструменту (кондукторні втулки) або борштанги, тому що орієнтація інструмента забезпечується пристроєм ЧПК по програмі. У якості пристосувань для цих операцій використовують прості установочно-затискні пристосування: косинці, лещата, патрони, поворотні і ділильні стійки. Причому найбільш доцільно застосовувати системи зворотних (переналагоджуваних) пристосувань: універсальних, спеціалізованих і універсально-складальних пристосувань (УСП). Як затискні пристрої застосовуються універсальні гідравлічні затискні пристрої.

Для зниження витрат часу на установку і налагодження пристосувань на столі верстата використовують змінні накладні плити, у яких є координатна сітка отворів, використовувана для установки різних пристосувань. За даними заводської практики середній час налагодження токарського верстата РТ705Ф312 становить 45–60 хв. Середній час налагодження токарського верстата із ЧПК мод. 16ДО20Ф3С1 становить 15–20 хв.

Істотний вплив на скорочення простоїв верстата зі ЧПК, пов'язаних з витратами допоміжного часу на зміну інструмента і його підналаштування, робить система допоміжного інструмента (пристосувань для установки й закріплення різального інструменту). Допоміжний інструмент насамперед забезпечує можливість регулювання довжини інструмента, а також швидку його зміну. Налаштування допоміжного і різального інструмента на задані розміри обробки проводиться попередньо поза верстатом. До допоміжного інструмента для токарських верстатів з ЧПК в основному відносяться різні види державок, які встановлюються на револьверних головках або поперечних супортах. Найбільш часто використовуються державки із циліндричними хвостовиками і хвостовиками з напрямними типу "ласточкін хвіст" або Т-подібним пазами. Останнім часом спостерігається практика використання такого інструмента на універсальних верстатах.

Для підвищення точності завдання координат вершин ріжучих кромek інструментів у сучасних верстатах з ЧПК передбачена корекція на розмір інструмента, що дозволяє компенсувати похибку попереднього налаштування, а також можливе зношування інструмента в процесі обробки.

Варто також ураховувати, що важливими факторами зниження витрат часу є правильне планування робіт, закріплення оброблюваних деталей за певними верстатами, збільшення розмірів партій оброблюваних деталей, гарна організація й обслуговування робочого місця.

Таким чином, в умовах сучасного підприємства є резерви підвищення продуктивності технологічних систем за рахунок зменшення частки допоміжного часу в штучному часі.

1.2 Дослідження надійності технологічних систем

Сучасне виробництво характеризується зростаючою складністю, подальшою автоматизацією технологічних процесів, необхідністю забезпечення високої рентабельності. При виконанні ТП елементи ТС піддані дії неконтрольованих збурювальних чинників. Тоді процес обробки супроводжується розсіюванням у часі вихідних параметрів ТП, зокрема продуктивності. У цих умовах проблема підвищення надійності і якості технологічних систем стає важливим практичним завданням.

При вивченні надійності першорядними є не зазвичай досліджувані причинно-наслідкові зв'язки, а особливості фізичної природи, які виявляються в ході дослідження всієї сукупності явищ і описуються за допомогою апарата теорії міри (зокрема, теорії ймовірностей і статистики). При цьому необхідно враховувати головні особливості такого дослідження, пов'язані з тим що це дослідження явища в часі, воно є ймовірнісним і системним. Надійність - складна властивість, що визначається безвідмовністю, довговічністю, ремонтопридатністю і збережуваністю.

При експлуатації ТС на виробництві мають місце численні випадкові фактори (властивості інструментальних матеріалів, умови виготовлення і експлуатації інструмента піддаються значному розсіюванню), характеристики ТС носять ймовірнісний характер і вимагають статистичної оцінки. Особливість вивчення надійності у відмінності, наприклад, від класичних досліджень зносостійкості і міцності, полягає в тому, що при використанні моделей надійності фізична природа досліджуваних процесів у тому або іншому ступені може залишатися поза полем зору. Одержувані при цьому моделі часто називають ізоморфними. При такому узагальненому аналізі можна досліджувати надійність не тільки ріжучого леза або ріжучої пластини, але й усього інструмента в цілому.

Різальний інструмент має найменший період життя в порівнянні з іншими складовими ТС. Від тривалості його зміни прямо залежить величина допоміжного часу, тому так необхідне дослідження надійності інструменту.

Сінопальніков В. А. [6; 7] одним з перших обґрунтував, що залежності процесу різання і, зокрема, залежність зношування і поломки інструмента від технологічних параметрів обробки є випадковими функціями. Статистичний підхід до дослідження надійності інструмента одержав подальше експериментальне і теоретичне обґрунтування в роботах Кацева П. Г. [8], Хаєта Г. Л. [9], Грицаєнко Ю. Ф. [10], школи Хаєта Г. Л. [11–14], закордонних вчених [14, 15].

Безвідмовність – це одна із складових властивостей надійності. Вона характеризується ймовірністю безвідмовної роботи інструмента $P(\tau)$, інтенсивністю $\lambda(\tau)$, щільністю розподілу стійкості $f(\tau)$, середнім періодом стійкості T . Дослідження Високовського Е. С. [16, 17] проводились для багатоінструментальних налагоджень з метою прогнозування відмови інструмента з наступним розрахунком моменту його регламентованої заміни. Вивчалися також питання скорочення часу на відновлення інструмента і засоби інструментозабезпечення. Рекомендувалось централізоване заточування інструменту, що забезпечує мінімальні коливання його геометрії. Певне значення величини зношування по задній грані служило критерієм відмови інструмента в експерименті. Але недоліком є складність контролю величини цього параметра, що викликає погрішність визначення значень стійкості.

Дослідження [19] показали, що більш тонко реагує на зміну умов експлуатації інструмента гамма-процентна стійкість (T_γ), тобто час, за який

відмова інструмента не виникає з імовірністю γ . За результатами випробувань різців [20] гамма-процентна стійкість T_{90} в 1,75...4,4 разу менше середньої стійкості. Аналіз залежності середньої стійкості і гамма-процентної стійкості проведений у роботі [21].

Розсіювання стійкості різального інструменту найбільше повно характеризується щільністю розподілу стійкості і коефіцієнтом варіації стійкості W_{τ} . Величина цього показника залежить від нестабільності структури, властивостей оброблюваного матеріалу, нерівномірності припуску, неоднорідності пластичної деформації при різанні, різній жорсткості верстата. Як показано в роботі [22], оптимальне значення ймовірності безвідмовної роботи різця тим вище, чим менше його коефіцієнт варіації стійкості, що характеризує величину її розсіювання.

У статті [23] для дослідження надійності інструмента запропонований алгоритм моделювання процесу механічної обробки на основі методу Монте-Карло. На вході процес задається випадковим вектором, компонентами якого є інтервал часу і випадкова величина продуктивності, оцінювана через обсяг знятого металу. Протікання процесу характеризується чергуванням випадкових часів різання і відновлення інструмента у зв'язку з його відмовою, тривалість яких визначається за допомогою методу Монте-Карло. Ймовірність знаходження системи в працездатному стані дорівнює коефіцієнту готовності наладки.

У наведених роботах досліджувалась надійність тільки однієї складової ТС - інструмента. Значно менше робіт з аналізу надійності всієї ТС.

У дослідженні [24] виділяється 4 ієрархічних рівні ТС: ТС операцій, процесів, виробничих підрозділів, підприємств. Розрізняють види ТС: за схемою з'єднання підсистем (послідовні, паралельні, комбіновані), по ступені твердості зв'язку підсистем (тверда, нежорстка), за рівнем автоматизації (механізовані, автоматизовані, автоматичні). Всі ТС розділяють на: ГПС, РТК, автоматичні лінії, металорізальні верстати, комплекти встаткування для виробництва типових деталей. Рівень і вид ТС є визначальними ознаками для вибору показників надійності і методів їхньої оцінки. Для оцінки функціональної надійності ТС всіх рівнів пропонуються параметри: ймовірність безвідмовної роботи і коефіцієнт готовності.

Для оцінки надійності автоматизованої ТС виготовлення деталей гідроциліндрів розроблена імітаційна модель у середовищі GPSS [25]. Вивчалися відмови системи по технічних і організаційних причинах і їхній вплив на завантаження встаткування. Продуктивність оцінювалась величиною штучного часу, надійність ТП – імовірністю виконання завдання, передбачалась можливість коректування графіка запуску деталей на обробку. Але в роботі використовувалися такі показники оцінки ефективності системи як коефіцієнт збереження ефективності технологічної системи, коефіцієнт машинної гнучкості, коефіцієнт ритмічності виготовлення деталей, які краще замінити гостованими показниками.

Кравченко В. М. у своїй роботі [26] пропонує модель опису процесу відновлення кар'єрного комплексу для різних способів об'єднання елементів (гірських машин) у комплекс: послідовно, паралельно, змішано з'єднаних з наступною оптимізацією відновлення їхньої працездатності. В основі моделювання – чисельне інтегрування рівняння Вольтерра. Вихідний вектор моделі містить компоненти: параметр потоку відмов елемента, час на його відновлення, оперативний коефіцієнт готовності. Однак використання рівняння як основної моделі приводить до обмежень при моделюванні можливих станів реального процесу функціонування ТС.

При моделюванні виробничих процесів у гірській промисловості [27] розглядаються підходи, корисні при моделюванні процесів механічної обробки деталей. Так, за допомогою імітаційного моделювання досліджувалися характеристики вантажопотоку з очисного вибою. Всі елементарні періоди роботи і зупинок комбайна можна згрупувати в деякі множини: множина періодів роботи, множина регламентованих перерв, множина перерв по зовнішніх причинах, множина перерв по внутрішніх причинах. Аналіз статистичних даних на гірських підприємствах показав, що тривалість перерв по внутрішніх і зовнішніх технічних причинах підкоряється розподілам; тривалість перерв по зовнішніх організаційних причинах підкоряється гамма-розподілу, а по внутрішніх причинах показовому розподілу; тривалість перерв через гірничо-геологічні порушення підпорядкована показовому розподілу. Цей метод дає можливість одержати рекомендації з формування нових вантажопотоків у випадку зміни організації виробництва і гірничо-технічних умов.

У роботі автора Антипова І. В. [28] визначаються оптимальні параметри техпроцесу, що протікає в ТС, на основі формалізації залежностей її надійності від комплексу гірничо-технічних і організаційних факторів. Як основний показник надійності прийнятий коефіцієнт готовності, тому що він дозволяє одночасно оцінювати безвідмовність і ремонтпридатність технології. Недолік моделі в тім, що вона створена для безлюдних технологій.

У роботі [29] оцінка надійності функціонування ГПС здійснюється за допомогою імітаційної моделі. Як показник надійності прийнятий універсальний показник: $\Psi_{1,2,3,4,5}(T) = Ber\{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, де V_1 – кожний наробіток між відмовами більше припустимого часу, V_2 – хоча б один наробіток більше припустимого часу, V_3 – сумарний наробіток більше сумарного припустимого часу, V_4 – час відновлення менше припустимого часу відновлення, V_5 – кількість відмов менше припустимого.

1.3 Види моделей при описі технологічних систем «людина – машина»

Існують різні підходи при опису технологічних систем, що включають у свій склад людину (ТСЛМ). Основна проблема, що виникає при цьому – це опис участі людини в ТСЛМ, відбиття його впливу на показники ефективності, надійності, якості функціонування технологічної системи. З погляду технології керування людина-оператор володіє двома можливостями. Перша полягає в обробці інформації, що складає в оцінці даних і прийнятті рішень. Друга можливість складається в реалізації функцій регулятора, що працює з об'єктом керування. Якщо зрівняти ці дві можливості людини і будь-яких механізмів, використовуваних у даний період для цілей керування, то, з погляду швидкості і енергії вихідного сигналу, можливості людини виявляються досить низькими. Однак відносно універсальності використання, складності і пристосовності механізми не можуть конкурувати з людиною.

Новітній розвиток виробництва виявляє зростаючу роль людини. Це стосується по-перше, операцій, що важко піддаються або в принципі невіддатливих автоматизації. По-друге, це стосується особливо цінної майстерності працівника в дрібносерійному і одиничному виробництві. По-третє, посилення ролі працівників пов'язане з потребою інтелектоємного виробництва не тільки в знаннях, що упредметнюються в технології, але також у досвіді і неструктурованих знаннях людей, які недоцільно комп'ютеризувати. Забезпечуючи безперебійність сучасного виробництва, запобігаючи ускладненням і дорогому реагуванню на них, людина виконує також функції коректування виробничого процесу і загальний контроль виробництва. Рішення протиріччя живої праці між його темпами і якістю, як і нарощування того і іншого чисто технічними засобами, недосяжне і це змушує пристосовувати виробництво до людини. У виробництві США, де превалює тенденція до надмірної автоматизації, виявлення збитковості економії на живій праці і усвідомлення ефективності вкладення в гнучкі моделі праці йшли майже одночасно. Японія першою відмовилася від надмірної економії на праці. Гранична автоматизація в ряді країн незмінно давала результати гірші, чим традиційне застосування техніки [30, 31].

Уже в період з початку минулого сторіччя до 1930 р., коли вироблялася систематизація самих загальних подань в області автоматичного керування, почалися дослідження особливостей людини з погляду використання їх для керування механізмами. Однак у цей період людина-оператор, в основному, служила об'єктом для досліджень психологів. При цьому використовувалось широко розповсюджене в цей час у теорії автоматичного регулювання поняття "чорний ящик". Однак у нього не вкладалось ніякого кількісного змісту. Ухиляючись від чіткого визначення внутрішньої сутності об'єкта дослідження (людини-оператора), розглядали лише відношення вхідної і вихідної енергій у стаціонарному стані.

В 1940-х роках США і Англія для ефективного використання озброєння проводили дослідження можливостей людини-оператора об'єднаними зусиллями психологів, фізіологів, інженерів і т.д. Таким чином, у результаті збору великої інформації були закладені основи сучасної науки про взаємини людини і техніки. Тастін уперше застосував до людини-оператора теорію керування, показавши, що дії людини можна представити у вигляді передатної функції. До цього напрямку ставляться роботи Норда, Хендерсона, Гріна, Цутія, Макруера, Крендела [32]. Передатні функції, що ставляться до керуючих впливів людини [32], включають коефіцієнт пропорційності, час запізнювання, постійна характеризує адаптацію людини до сигналу. Загальним для цих видів функцій є обов'язкова наявність коефіцієнта пропорційності і часу запізнювання.

Новий вид моделі, запропонований Д. Бекі і Е. Ейнджелом полягає в тому, що вхідний сигнал квантується на невелике число щаблів, а вихідний сигнал обирається з невеликого набору заздалегідь запрограмованих можливих відповідних реакцій. Це означає, що оператор моделюється у вигляді кінцевого автомата [32].

Дослідники цього періоду, розглядаючи людину в цілому як "чорний ящик", аналізували відносини вхідних і вихідних характеристик, використовуючи передатні функції як засіб наближеного еквівалентного опису поведінки людини. Численні нелінійні характеристики, лінеаризація яких була утруднена, розглядалися у вигляді шумів. Підхід не був у достатньої ступені деталізовано з погляду психології, фізіології і т.п.

Після 1965 р. почалися кібернетичні дослідження. Проводилися дослідження нелінійних характеристик, що виявляються в поведінці людини і розглядаються як наслідок внутрішньої будови [33-35].

Для опису діяльності людини були застосовані логічні схеми алгоритмів (ЛСА), запропоновані Ляпуновим. Зараковський на основі ЛСА для оцінки ТСЛМ запропонував операційно-психофізіологічний метод [36]. Сутність трудової діяльності керуючого типу, як вважає автор, у переробці інформації, а не в перетворенні енергії. Для опису будови алгоритму використовуються логічні схеми – вирази, складені з операторів і логічних умов, що впливають один за одним. Критерієм оперативної одиниці на розглянутому рівні вважається одна логічна умова, що фігурує як інформаційна одиниця в процесі формування або вибору рішення. Дія, що приводить до формування однієї умови або певної одиниці інформації – елементарний оператор. Серед ряду показників для кількісної оцінки психофізіологічних особливостей операції запропоновані показники стереотипності і логічної складності [36]. Незважаючи на спірність у визначенні елементарного оператора, цей метод дає можливість більш точно описати реальну діяльність робітника.

Решетов Е. Т. пропонує [37] комплексну оцінку ТС виконувати з умови продуктивності: $P_c = P_y + \Delta P$, де P_c – продуктивність системи; P_y – продуктивність машини; ΔP – зміна продуктивності "СЛМ – виробниче

середовище" при зміні параметрів виробничого середовища палітурно-брошурувального цеху. Параметри системи розбиті на три взаємозалежні групи: ергономічні, естетичні, санітарно-гігієнічні. Вивчався вплив кожного елемента на зміну продуктивності праці, будувалися функціональні залежності. Рівень психологічних навантажень оцінювався як функція кількості інформації в одиницю часу: $E_n = f(\sum i)$. Стомлення фіксувалося медичними приладами. Продуктивності розраховувалась за допомогою функції $\Pi = f(Y)$. Тоді зміна продуктивності від суми факторів:
$$\Pi = K \cdot f\left(\sum_{i=1}^{i=n} Z_i\right)$$
, де K – коефіцієнт участі людини у виконанні операції техпроцесу.

Велике значення для рішення проблеми моделювання діяльності людини мають роботи, що з'явилися, по напрямку системний аналіз [38, 39]. Виділяються основні змістовні ознаки системи: цілісність, ієрархічність, множинність відносин. Для будь-якої досліджуваної системи мінімально необхідним є 3 рівні опису: з погляду властивих їй зовнішніх, цілісних властивостей; з погляду її внутрішньої будови і внеску її компонентів у формування цілісних властивостей системи; з погляду розуміння даної системи як підсистеми більше широкої системи.

У середині 60-х років минулого сторіччя в рамках Наукової ради по кібернетиці АН сформувався науковий напрямок «Ефективність, якість і надійність систем “людина-техніка”», що створило передумови для становлення функціонально-структурної теорії і узагальненого структурного методу. Особливості останнього дозволяють брати його як основу для моделювання систем на ЕОМ. Оцінка технологічних систем була вперше реалізована при розробці спеціальної алгоритмічної мови АМТС. Моделі побудовані в рамках узагальненого структурного методу (УСМ) Губінського А. І. [1, 41, 42]. У його основі лежить подання про діяльність і дії людини у вигляді сукупності операцій. У теорії надійності технічних систем за основу для побудови моделей приймається структура елементів. У випадку однофункціональних елементів структура функцій (F-Структура) і структура елементів (S-Структура) збігаються. Але у випадку багатофункціональних елементів, якими є людина і ЕОМ на одній S-Структурі можна виконувати кілька функцій. Тому в УСМ для опису людино-машинних систем в основу покладений принцип функціональних структур. В УСМ всім функціональним утворенням (типовим функціональним одиницям, структурам, фрагментам функціональних мереж і функціональних мереж у цілому) приписані (задані або обчислюються) ймовірнісні, тимчасові й ресурсно-вартісні характеристики. Побудова моделі в рамках УСМ заснована на ідеї нарощування ешелонів і шарів з типових функціональних елементів (ТФЕ). Суть принципу типових функціональних одиниць у тім, щоб різноманіття реальних одиниць (актів, операцій людських і машинних, дій, діяльностей) звести до обмеженого набору формалізованих одиниць: функціонерів, композиціонерів і кібернетів. Функціональна надійність оцінюється трьома

показниками: цільовим (припустимий фінальний стан), тимчасовим (своєчасність), параметричним (точність). Діяльність оператора представляється за допомогою набору структурних компонентів: функціонерів, композиціонерів, кібернетів, що різняться по своєму функціональному призначенню. Результати діяльності представляються у вигляді дерева цілей.

Новизна підходу полягає в тому, що елементи планування і прийняття рішень моделюються за допомогою методу ситуаційного керування, а виконання – за допомогою УСМ. За допомогою мови АМТС діяльність програмується і досліджується на основі імітаційного моделювання. Такий підхід дозволив більш повно врахувати особливості людини.

Запропоновано ряд показників для оцінки функціонування ТС. Це показники ефективності (ймовірність виконання запланованої технології), показники якості функціонування (якості підготовки), продуктивність (математичне очікування часу виконання технології, дисперсія часу виконання, ймовірність виконання за час не більше норми), показники надійності (ймовірність безпомилкового виконання завдання, ймовірність правильного виконання, беззривне виконання за час менше t припустимого).

Недоліком даної методики є необхідність вивчення нової вузькоспеціалізованої мови і неможливість її розширення користувачем.

Щоб відповісти на питання, що стосуються об'єкта дослідження, необхідно створити модель і провести моделювання. Існують аналітичні і комп'ютерні моделі [43] (рис. 1.3). Для аналітичного рішення використовуються методи аналізу – теорії диференціального і інтегрального вирахування. Рішення при цьому дається у вигляді формули, що містить всі можливі значення незалежних змінних і параметрів. Аналітичні рішення для простих завдань теорії запасів і теорії масового обслуговування можна знайти в Черчмена. Тейл і Бут розглядають аналітичне рішення моделей, що представляють собою спільну систему лінійних диференціальних рівнянь n -го порядку [43].

При чисельному рішенні замість незалежних змінних і параметрів підставляються числа, і рішення виходить на основі операцій з цими числами. Багато чисельних методів ітеративні, тобто на кожному кроці дають рішення краще, ніж на попередньому, результати якого використовуються в рішенні на новому етапі. Прикладами можуть служити метод лінійного програмування і метод Ньютона для наближеного відшукування корінь рівнянь. До статистичних методів можна віднести метод Монте-Карло [43].

По Хеммерслі і Хендскомбу, метод Монте-Карло визначається в широкому аспекті як будь-який засіб рішення моделі, у якому використовуються випадкові або селестічні числа. Розглядаються три області застосування методу Монте-Карло [43].

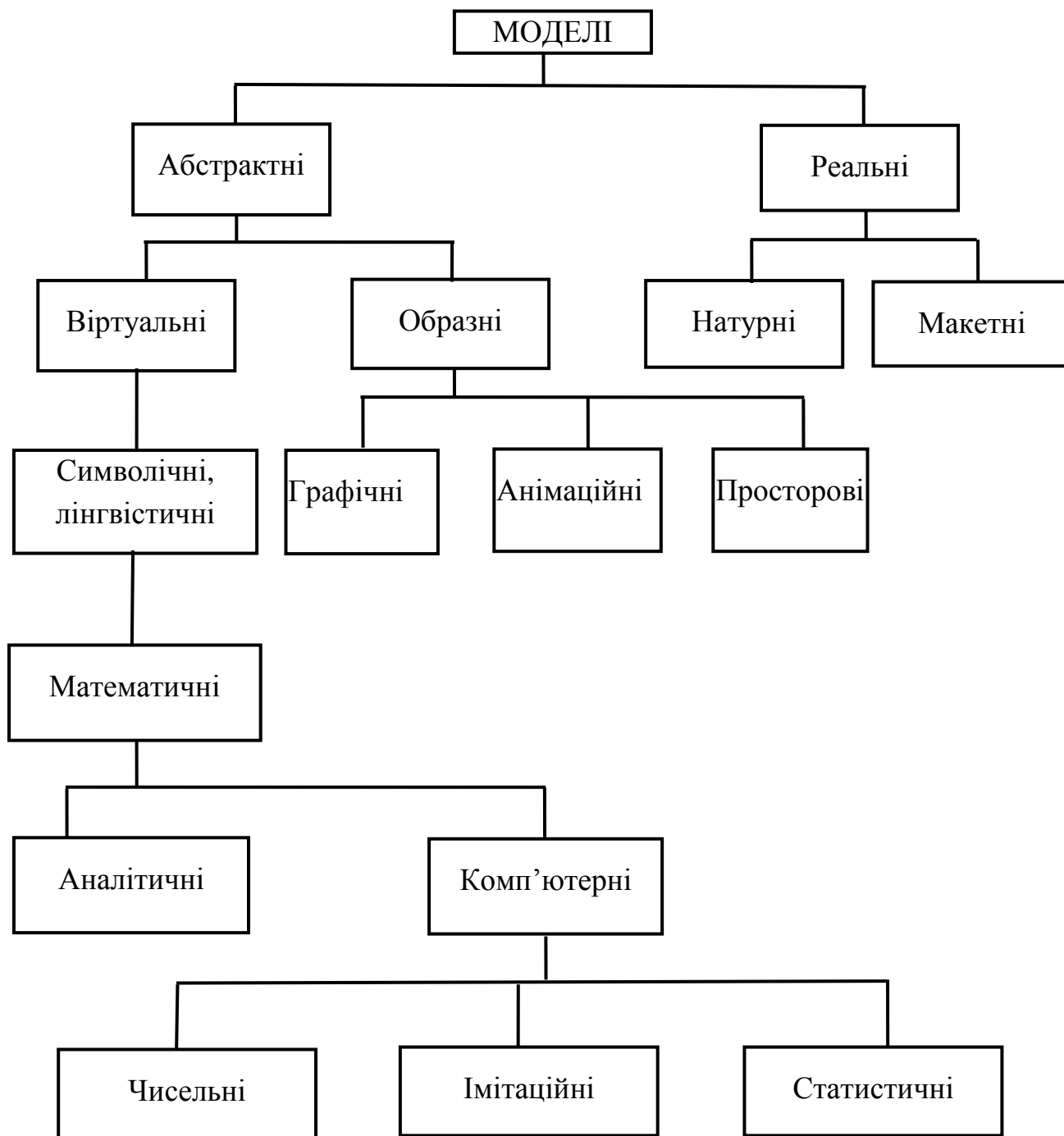


Рисунок 1.3 – Основні типи моделей

Першою областю є рішення детермінованих завдань за допомогою методу Монте-Карло, тобто із застосуванням випадкових чисел. Моргенталер вважає, що термін «Монте-Карло» був запропонований фон Нейманом і Уламом наприкінці 1940-х років саме для способу рішення детермінованих завдань за допомогою випадкових чисел, випадкових величин. Детерміноване завдання вирішується методом Монте-Карло, якщо воно формально записується як деякий випадковий процес.

Інша область застосування методу Монте-Карло – це вибіркові розподіли. Вибірковий розподіл використовується в математичній статистиці кілька десятків років. Метою його є визначення розподілу або деяких параметрів розподілу випадкової величини. Ця випадкова величина, що ми називаємо вихідна змінна, – відома функція однієї або більшого числа інших вхідних випадкових величин, що мають відомі розподіли. Щоб оцінити розподіл вихідної змінної, ми беремо значення кожної із вхідних змінних з їхніх розподілів і обчислюємо значення вихідної змінної. Така вибірка повторюється багато разів, і потім оцінюється шуканий розподіл.

Третя область застосування методів Монте-Карло – разом з імітаційним моделюванням. Багато імітаційних досліджень використовують послідовності випадкових чисел.

З погляду перспективи розвитку моделювання технологічних систем важлива міжнародна програма IMS [44] – ініціатива провідних промислових держав миру, спрямована на створення нового покоління виробничих систем і технологій, на основі спільних досліджень і розробок науково-практичних проектів по всіх аспектах інтеграції, інтелектуалізації і автоматизації виробництва. Основні теми досліджень підрозділяються на групи:

1. Дослідження і моделювання повного життєвого циклу продукції.
2. Дослідження і розробка виробничих, ділових процесів на підприємствах різних галузей.
3. Засоби виробітку стратегій, планування і проектування; людські, організаційні і соціальні фактори виробництва.

Мета проекту NGMS складається в розробці і інтеграції подань про передові виробничі системи в інтересах створення систем нового покоління. У проекті передбачені моделювання і імітація компонентів виробничих систем наступного покоління.

1.4 Аналіз факторів, що впливають на діяльність виконавця в технологічних системах

Потреба в кількісній оцінці і порівнянні різних видів діяльності робітника в ТС викликала ряд досліджень по вивченню структури його дій, а також визначенню природи факторів, що впливають. У числі перших, хто порушив питання про наукові методи організації процесів відновлення і обслуговування ТС у промисловості, був американський інженер Тейлор. Основою його системи було пристосування людини до машини. Гилберт, розкладаючи трудові рухи на найпростіші мікрорухи заклав основи сучасних методів і систем оцінки діяльності по мікроелементах. Послідовниками цього напрямку були: Л. Гант, К. Барт, Д. Меррик, Г. Емерсон, М. В. Иоффе, А. Г. Гастев, П. М. Керженцев, О. А. Ерманський, В. Т. Бехтерев, М. А. Миславский, С. Г. Струмилі.

Німецьким ученим Ланге було уведене поняття «установка». Він експериментально довів, що швидкість реакції індивіда на зовнішню ситуацію залежить від його схильності до сприйняття цієї ситуації.

Істотним розвитком і узагальненням поняття установки є поняття «моделі передбачуваного майбутнього», запропоноване Н. А. Бернштейном. У його роботах був сформульований ряд основних кібернетичних концепцій, у тому числі поняття зворотного зв'язку [45].

А. Г. Гастев [46] досліджує трудові установки, де загальною «абстрактною моделлю» всіх модифікацій «установок» вважається поняття програми. «Соціально-інженерна машина» була саме моделлю робочого макета, де були передбачені не тільки контрольні функції, але і зворотний зв'язок. Виділялися певні рухові стандарти (конструктивні, темпові, силові, координаційні, стандарти режиму), аналізувалися типи трудових рухів, виділялися такі елементи рухів як пальцеві, ліктьові і т.п., класифікувалися прийоми. Було введене поняття операції як елементарної організаційно-виробничої одиниці, що містить у собі робоче місце, станину, інструмент і певний прийом.

Робота з аналітичного дослідження процесів відновлення і обслуговування ТС була почата І. А. Семеновим і іншими, які проводили дослідження за допомогою хронометражу. До найбільш розроблених локальних методів вивчення трудових процесів можна віднести використання робочого часу і завантаження встаткування [47, 48]. Класифікація витрат і втрат робочого часу будується виходячи з структури фонду робочого часу і визначає його внутрішньозмінні і цілодобові резерви з розподілом їх на підлягаючі повному і частковому використанню. Цілодобові і внутрішньозмінні втрати робочого часу підрозділяються на явні і сховані. Враховуються також і непродуктивні витрати праці.

У роботі [49] структуровані витрати часу робітника (рис. 1.4). Трудові прийоми і комплекси прийомів спрямовані на обслуговування подій і приведення ТС у робочий стан.

При створенні нормативів часу проводилися дослідження [50-53], у результаті яких виявлялися технологічні фактори, що впливають на тривалість відновлення ТС. Так, в [54] при визначенні числових величин допоміжного часу, пов'язаного з переходом, поряд з регулярними прийомами були враховані прийоми допоміжного часу, що повторюються нерегулярно: зміна режиму роботи, зміна інструмента, включення охолодження і т.п. Час на установку дано узагальнено на комплекси прийомів. Структура і зміст нормативної бази не дає можливості оперативно вирішувати питання, пов'язані з організацією праці і виробництва. Вона громіздка і її неможливо використовувати при комп'ютерному нормуванні процесів відновлення та обслуговування ТС. До серйозних недоліків варто віднести і той факт, що в цих нормативах не враховується темп роботи.

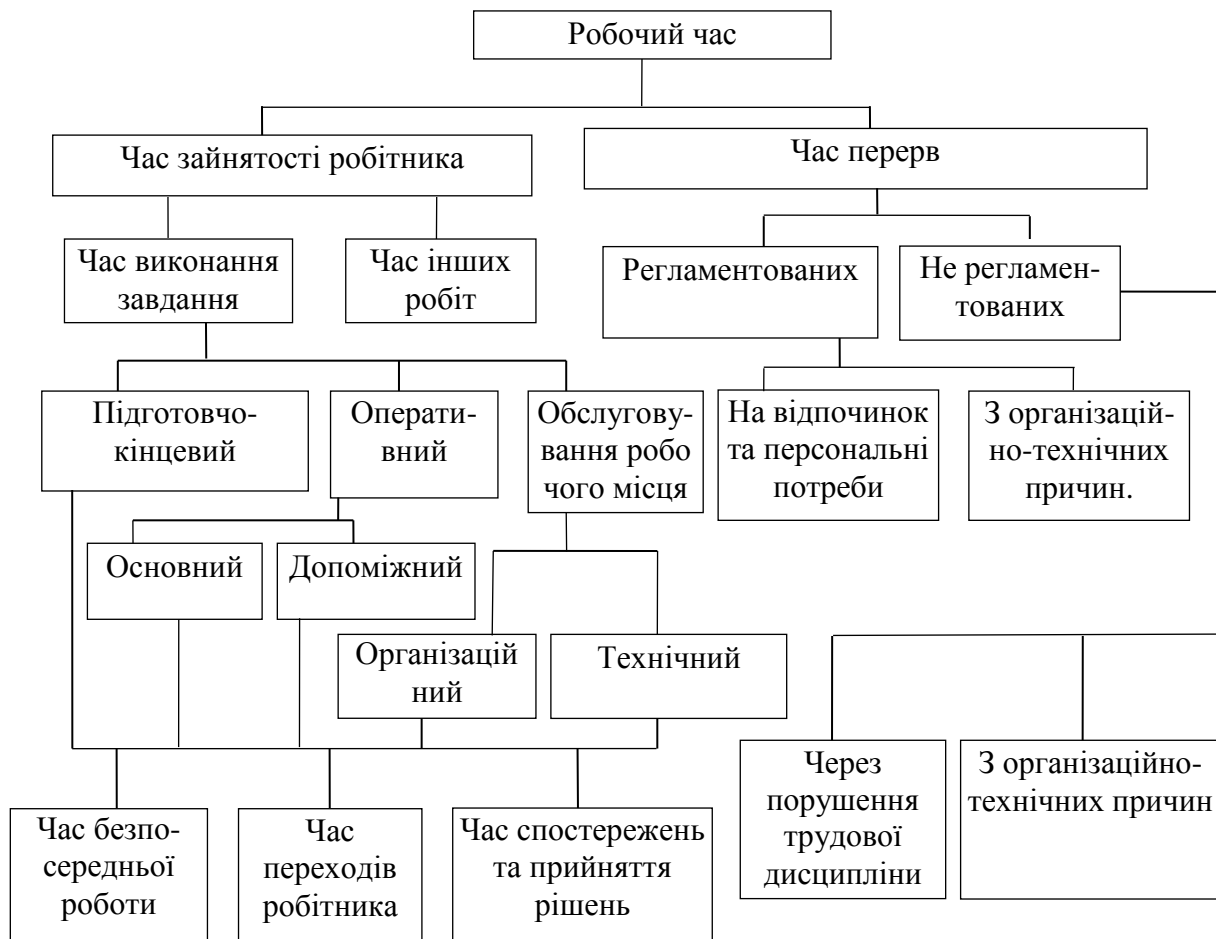


Рисунок 1.4 – Класифікація витрат робочого часу верстатника

У роботі [55] є ряд особливостей. Так, у картах оперативного часу через поправки враховується вплив відстані від торця деталі до фаски, час на установку і зняття різця. Час на обслуговування робочого місця усе ще дається у відсотках від оперативного, але враховується спосіб інструментозабезпечення. Величина поправочного коефіцієнта залежить від способу заточення – централізована або робиться самим робітником у заточувальному відділенні.

Допоміжний час в [55] розраховується залежно від: характеру обробки, вимірюваного діаметра, довжини оброблюваної поверхні. До зазначених факторів додаються: квалітет, число проходів, стадія обробки (напівчистова, чистова), число пробних стружок, розмірний параметр верстата. Облік нерегулярних прийомів (зміна різця, вимір, зміна режимів різання, переналагодження верстата) здійснюється в окремій карті. Наведено карту, де приводяться прийоми, включені в комплекси допоміжного часу, пов'язані з переходом або оброблюваною поверхнею залежно від характеру обробки (гостріння, нарізування різьблення і т.д.) і способу виконання роботи (з взяттям пробних стружок або без взяття).

Головна відмінність [55] складається в аналітичному (за допомогою формул) поданні залежності допоміжного часу від ряду факторів. Такими залежностями описаний допоміжний час на установку і зняття деталі в 4-х кулачковому патроні, допоміжний час, пов'язаний з переходом.

В 70-і роки минулого століття розвивалися переважно методи вивчення фізіологічних аспектів трудового процесу [56]. Однак починають складатися інші напрямки аналізу. Найбільш розроблені методи: алгоритмічний, загальноекономічний.

Алгоритмічний метод характеризується вивченням всіх факторів, що впливають на роботу виконавця [57, 58]. Але алгоритмічний опис не відбиває внутрішню специфіку психофізіологічних процесів.

Загальноекономічний метод [59] використовує комплексні принципи аналізу трудових процесів і сукупність характеристик, що охоплюють діяльність виконавця, роботу встаткування, зовнішнє виробничє середовище. Сукупність характеристик може бути зведена у дві групи: мають наявну кількісну оцінку і не мають такої оцінки. У першу групу віднесені такі характеристики: тривалість елементів трудового процесу, склад і структура трудового процесу, умови праці, величини внутрішньозмінних і цілодобових втрат робочого часу, обсяг виниклих додаткових робіт, фізіологічні моменти трудової діяльності людини, рівень механізації, режим праці. До другої групи характеристик ставляться: застосоване встаткування і технологічне оснащення, технологічні режими, форми організації праці, умови праці (планування робочого місця, безпека), поділ праці.

Постійне вдосконалення трудових норм і нормативів вимагає частих вимірів показників виконання кожного елемента трудового процесу (ТП) і порівняння результатів декількох вимірів із прийнятою базою. Шляхи вивчення машинних і машинно-ручних елементів трудових процесів і методи реалізації системного підходу, орієнтовані на автоматизований збір інформації безпосередньо з робочих місць і її машинну обробку, уже відомі. Але методи аналізу і оцінки ручних елементів ТП, а також працездатності робітника під час виконання будь-якого ТП вимагають подальшого розвитку.

У роботі [60] розглядаються питання машинного розпізнавання тривалості ручних мікроелементів трудового процесу, документованих, зокрема, за допомогою кіно, а також працездатності виконавців і оцінок рівнів освоєння інтенсивності. Основою конкретної методології розпізнавання є типологічне групування. Будь-який трудовий процес може бути описаний за допомогою набору характеристик, які мають як кількісне вираження, так і якісне. Наприклад, до числа динамічних у зміні кількісних характеристик можна віднести тривалість елементів ТП, склад і структуру кожного трудового процесу, внутрішньозмінні втрати робочого часу, обсяг додаткових робіт, тривалість внутрішньозмінних перерв і інші аспекти діяльності. Група характеристик ТП, що не має динаміки кількісних оцінок, включає форму організації праці, планування робочих місць, застосовуване встаткування, відповідність робіт розрядам робітників, привабливість праці і

т.п. Всі кількісні динамічні характеристики ручних і машинно-ручних трудових процесів, зв'язані з часом і простором, названі Р-елементами ТП, а характеристики, що визначають їхній фізіологічний зміст, Ф-елементами ТП. Основна проблема, досліджувана за допомогою РФ-методології, може бути сформульована в такий спосіб: обґрунтувати і виявити таку комплексну оцінку контролю і аналізу ТП, за допомогою якої можливо автоматизоване об'єктивне керування людським фактором у машинобудуванні на внутрішньозмінному, внутрішньоопераційному і нормативному рівнях.

Однак у роботах із цієї тематики ще недостатньо освітлені завдання, пов'язані із внутрішньоопераційним аналізом трудового процесу на рівнях окремих рухів або трудових дій, виконуваних робітником в умовах, коли людський фактор істотний.

Ряд робіт [62–65] представляє ще один напрямок вивчення нормування витрат і результатів праці на макрорівні. Як новий об'єкт дослідження виступає невизначеність при нормуванні процесів відновлення і обслуговування ТС. Основою зменшення невизначеності вважається відхилення. Пропонується [65] оперувати не середніми характеристиками, а трійками чисел (T_{\min} , T_{\max} , T_{cp}). При моделюванні використовуються марківські процеси. Виробничі системи або окремі елементи систем представляються як системи, що змінюють свій стан. Тоді S_1, S_2, \dots, S_m – послідовність станів всієї системи. Нормативи станів систем визначають набір виробничих функцій, які зобов'язаний знати фахівець. Тут необхідне рішення двох нормативних завдань: визначення регламентів переходів $S_1 - S_m$ за видами процесів відновлення і обслуговування ТС і обґрунтування строків цих переходів.

Однак, використання при моделюванні теорії марківських процесів приводить до погрішності в прогнозуванні ймовірності станів, тому що в реальності виробничі процеси мають післядію і тому для їхнього опису потрібна більш точна модель. Крім того, маючи досить гарні властивості оцінюваності, марківські і напівмарківські мережі [1] слабо придатні для відображення логіки структур процесу функціонування ТС.

Аналіз властивостей моделей реальних систем, що нараховують багато елементів, проводиться за допомогою композиційного аналізу на мережах Петрі, що дозволяє істотно скоротити час рішення завдання. Мережі Петрі і Е-Мережі [66-69] успішно застосовуються для дослідження систем і процесів у різних прикладних областях. Вони мають більші логічні можливості, але не мають властивості оцінювання.

Таким чином, на продуктивність ТП можна впливати, змінюючи його структуру, параметри, використовуючи автоматизацію процесу обробки і обслуговування ТС, а також удосконалюючи конструкцію її елементів.

Добре розроблені моделі для оцінки надійності окремих елементів, гірше для всієї ТС як цілісної системи. Рівень і вид ТС є визначальними ознаками для вибору показників надійності і методів їхньої оцінки. Найбільш часто використовуваними є показники: імовірність відновлення і коефіцієнт

готовності. Добре описана довговічність та безвідмовність елементів ТС, значно менше робіт з оцінки ремонтпридатності.

У результаті багаторічного вивчення людини, включеної в процеси відновлення і обслуговування ТС розроблені: методологія системного дослідження [39, 40]; концептуальні апарати аналізу діяльності, суб'єкта праці [34, 35]; методи і схеми вивчення людини в трудовій діяльності [36, 37], однак більшість із них є по принципах аналізу локальними, а по процедурі процедурно-орієнтованими або на збір, або на обробку, або на аналіз інформації при недостатній комплексності алгоритмів і сумісності вихідних показників.

Математичні моделі опису систем досить розвинені. Найбільш підходящими є моделі, що одночасно мають властивості описовості і оцінюваності: моделюючі ймовірно-часовий розвиток процесу узагальнено (з обліком всіх принципово можливих реалізацій); моделюючі окремо кожен можливу індивідуальну реалізацію процесу. До першого класу ставляться мережі PERT, GERT, F-Мережі, до другого – всі різновиди методу статистичних випробувань, включаючи метод GPSS.

Виникає необхідність розробки моделі комплексної кількісної оцінки ТС як людино-машинної системи, що використовує принципи аналізу процесів її відновлення і обслуговування. У нашій випадку така модель повинна бути призначена для системного аналізу прийнятих характеристик цих процесів у системі верстат-робітник.

РОЗДІЛ 2

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНІЙНОЇ РЕЗОЛЮЦІЇ

2.1 Структурний синтез при проектуванні ризального інструменту

Сучасна економічна ситуація вимагає зниження собівартості механообробки і підвищення якості продукції, що випускається. Одним із засобів вирішення цієї проблеми є використання прогресивних конструкцій ризальних інструментів. Необхідно, щоб вибрана, або знову спроектована конструкція ризального інструменту мала набір властивостей, значення показників яких є оптимальними для конкретного споживача з урахуванням економічних, ергономічних і інших обмежень. Необхідний рівень продуктивності обробки повинен поєднуватися з підвищенням точності і якості обробки. Рішення цієї задачі об'єднує в собі необхідність автоматизації усіх етапів проектування, починаючи від творчого пошукового проектування і закінчуючи конструюванням і розробкою технічної документації

При цьому багато в чому залишається не вирішеним питання про автоматизацію ранніх стадій проектування, що є найбільш творчим етапом усього процесу проектування [70; 71]. Основні роботи по теорії проектування присвячені питанням параметричного синтезу і геометричного моделювання технічних систем. Порівняно мало робіт присвячених структурному синтезу, при усій його важливості в загальному циклі проектування [71; 72].

Синтез будь-якого об'єкту є проектною процедурою, що є об'єднанням розрізнених елементів об'єкту в єдине ціле, тобто систему, що має нову якість відносно своїх елементів. В процесі синтезу технічного об'єкту необхідно в першу чергу визначити його структуру, потім параметри елементів і, зрештою конструкцію.

Залежно від класифікаційної ознаки, якою можуть виступати як етапи проектування, так і характеристики математичних моделей, можливості формалізації і багато що інше можуть бути представлені різні варіанти класифікації завдань синтезу [73; 74]. Досить логічним варіантом класифікації, що детально розкриває завдання структурного синтезу, можна вважати варіант, запропонований А. Н. Божко і А. Ч. Толпаровим [75] - рисунок 2.1.

Параметричний синтез є визначенням значень параметрів елементів при вже певній структурі об'єкту. Таким чином, завдання параметричного синтезу може бути сформульоване як завдання пошуку в n -вимірному просторі параметрів точки, де умови працездатності виконуються якнайкраще.

Синтез конструкції, що є зазвичай фінальним етапом проектування, спирається на можливості сучасних САД-систем і методів геометричного моделювання.

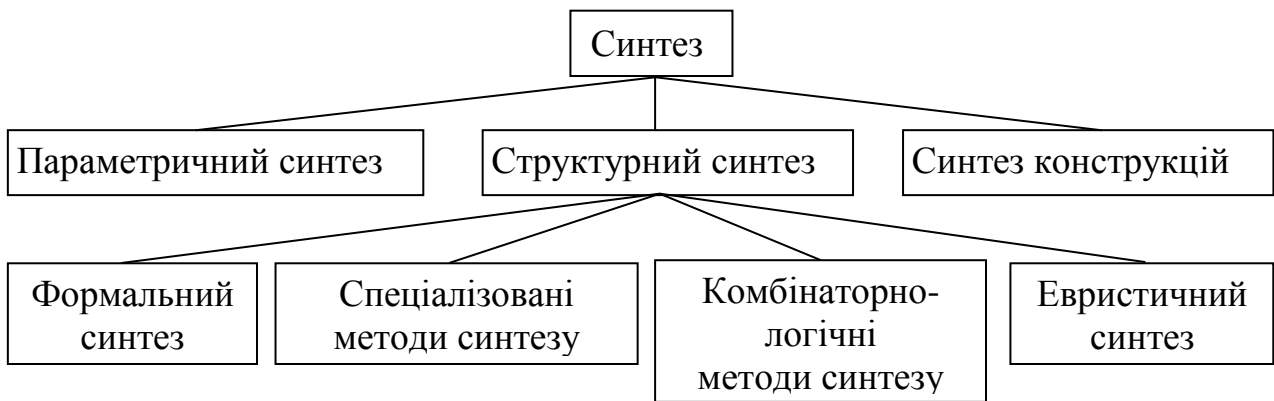


Рисунок 2.1 - Класифікація завдань синтезу за А. Н. Божко

Структурний синтез є важливим етапом проектування, т. до. саме структура об'єкту є основною інформацією про його функціональне призначення і технічні характеристики. При цьому під структурою об'єкту зазвичай розуміють сукупність складових його елементів і зв'язків між ними [75]. Результатом рішення задачі структурного синтезу повинен бути опис складу виробу і усіх істотних зв'язків між його елементами. Залежно від виду проектного рішення таким описом може бути простий перелік елементів і зв'язків між ними, таблиця з'єднань, матриця інцидентності, граф зв'язків, структурна схема, блок-схема, ескіз, компоновання креслення і ін.

Розглянемо загальну постановку завдання синтезу. Задана функція (функціональне призначення, закон функціонування), потрібно розробити опис об'єкту (технічної системи), який реалізує задану функцію і задовольняє деякій сукупності обмежень і особливих умов. Під функцією технічної системи розумітимемо закон перетворення заданих вхідних величин в необхідні вихідні величини, тобто залежність виходів об'єкту від його входів [72; 76; 77]. Обмеження об'єкту, що синтезується можуть мати технічний, фізичний, технологічний, гуманітарний та інший характер. Це можуть бути обмеження маси, габаритних і виконавчих розмірів, елементний склад, можливі структури, патентна чистота варіанту і т. і. Особливі умови і обмеження дозволяють чіткіше визначити клас, до якого належить об'єкт.

З точки зору можливості формалізації завдання структурного синтезу проектних рішень є одним з найбільш складних. Причиною є те, що з одного боку, властивості об'єкту, що синтезується, залежать від великого числа часто випадкових, суперечливих, але не до кінця досліджених, чинників. З іншого боку, при вирішенні задачі синтезу часто доводиться обирати варіант з множини дуже великої чисельної потужності. До того ж, якщо завдання синтезу поставлене в термінах деякої формальної системи, то для реалізації такого вибору необхідно вирішити завдання високої розмірності. Наприклад, вирішити завдання дискретної оптимізації на множині, що складається з великої кількості елементів.

Рішення задачі синтезу істотно спрощує блоково-ієрархічний підхід, при якому увесь процес синтезу об'єкту розбивається на сукупність

взаємопов'язаних ієрархічних рівнів. Синтезується не увесь об'єкт в цілому, а на кожному ієрархічному рівні синтезуються певні підсистеми, рівень деталізації яких відповідає прийнятому способу декомпозиції системи на підсистеми [75].

У процесі проектування можна виділити стадії попереднього, технічного і робочого проектування. Процес синтезу складається з послідовності процедур, впорядкованих згідно декомпозиції процесу проектування на стадії [78]. На стадії попереднього проектування синтезуються основні, принципові рішення, що визначають концепцію технічного об'єкту. Наприклад: фізичний принцип дії, загальна компоновка, загальна структура і т.д. На стадії технічного проектування синтезуються проектні рішення, що уточнюють і реалізують концепцію технічного об'єкту. Наприклад, розробляються конструктивні реалізації фізичних ефектів, що утворюють фізичний принцип дії пристрою. На стадії робочого проектування синтезуються усі параметри об'єкту і розробляється конструкторська документація.

В САПР для рішення задач структурного синтезу найчастіше використовуються методи, які можна віднести до комбінаторних, або комбінаторно-логічних [74; 75; 78]. Основою цього підходу є організований перебір в масиві рішень, які є аналогами і прототипами. При цьому потрібно визначити наступні допущення:

- проєктований об'єкт має структуру;
- проєктований об'єкт належить до деякого класу (множина аналогів і прототипів), що мають однакове функціональне призначення;
- множина аналогів і прототипів має достатню потужність, для того, щоб пошук нових поєднань в цьому комбінаторному просторі був результативний;
- складові частини об'єктів класу мають "хороші комбінаторні здібності".

Варіант класифікації методів комбінаторно-логічного синтезу показано на рисунку 2.2.



Рисунок 2.1 - Класифікація методів комбінаторно-логічного синтезу за А. Н. Божко

Під узагальненою структурою розуміють структуру класу об'єктів, що мають однакове функціональне призначення. Узагальнена структура складається на основі знань цієї предметної області, узагальнення інженерного досвіду і традицій, аналізу аналогів і прототипів. Вона містить інформацію про альтернативні варіанти облаштування об'єктів цього класу [75]. Модифікації методу синтезу на основі узагальненої структури відрізняються один від одного способом опису узагальненої структури, методами пошуку рішень, засобами опису заборон на поєднання різних альтернатив і т. і.

В САПР і системах штучного інтелекту найбільше поширення отримали морфологічні таблиці (морфологічний аналіз і синтез) та А-дерева (І-АБО-дерева).

Морфологічний синтез застосовується на стадії попереднього проектування і конструювання. Метод є одним з широко вживаних комбінаторних методів оцінки існуючих і пошуку нових рішень [80; 81]. Метод дозволяє знайти і систематизувати усі можливі структури об'єкту з необхідним функціональним призначенням. Узагальнена структура класу представляється у вигляді морфологічних таблиць, що часто називаються морфологічним ящиком. Вони можуть бути як бінарними, так і багатовимірними [80; 82]. Це простий об'єкт з добре відпрацьованими правилами заповнення і пошуку рішень. Метод морфологічного синтезу добре піддається формалізації, що дозволяє використати його при автоматизованому проектуванні [82; 83].

Варіантом використання методу морфологічного синтезу є алгоритми пошуку оптимальних структурних схем технічних рішень по заданим експертом бальним оцінкам даних ознак за допомогою послідовної максимізації на нерівномірних ґратах [84; 85]. Вказаний метод морфологічного синтезу, відрізняється тим, що максимум знаходиться не на цілочисельних ґратах значень ознак, а на ґратах з нерівномірним кроком. До того ж вимагається не одного разу вирішити завдання максимізації, а послідовно видати усі точки деякого гіперпросторового паралелепіпеда в порядку незростання цільової функції - прийнятого інтегрального критерію.

Тут структура металорізального інструменту, як технічного об'єкту визначається деякою реалізацією альтернатив для усіх ознак:

$$a_{q_1}^1, a_{q_2}^2, \dots, a_{q_i}^i, \dots, a_{q_n}^n, \quad (2.1)$$

де n – число всіх ознак P^1, P^2, \dots, P^n ;

$a_{q_i}^i$ – конкретна реалізація i -ї ознаки ($a_{q_i}^i \in \{a_1^i, a_2^i, \dots, a_{m_i}^i\}$).

Для кожного рішення - об'єкту типу(2.1) однозначно визначається ціна – значення критерію якості:

$$K_0(a_{q_1}^1, a_{q_2}^2, \dots, a_{q_n}^n) = \sum_{i=1}^n B^i B_{q_i}^i, \quad (2.2)$$

де B^i - вагомість i -ї ознаки якості;

$B_{q_i}^i$ – бальна оцінка реалізації $a_{q_i}^i$ серед усіх реалізацій $\{a_1^i, a_2^i, \dots, a_{m_i}^i\}$

для i -ї ознаки.

Зручним є представлення об'єкту як точки $x_q = (x_{q_1}^1, x_{q_2}^2, \dots, x_{q_n}^n)$ n -мірного Евклідова простору R^n , де

$$x_{q_i}^i = B^i B_{q_i}^i, \quad i=1, \dots, n. \quad (2.3)$$

Для кожної точки $x = (x^1, \dots, x^n)$ даного простору R^n можна визначити її ціну як

$$K_0(x^1, \dots, x^n) = \sum_{i=1}^n x^i. \quad (2.4)$$

Добутки оцінок альтернатив у балах і вагомостей відповідних ознак утворюють n множин чисел:

$$\{x_1^1, x_2^1, \dots, x_{m_1}^1\}, \{x_1^2, x_2^2, \dots, x_{m_2}^2\}, \dots, \{x_1^n, x_2^n, \dots, x_{m_n}^n\}, \quad (2.5)$$

де $x_i^j \leq x_{i+1}^j$ для всіх i і j .

Ці числа можна узяти за основу побудови нерівномірних ґрат X_0 – точок n -мірного Евклідова простору R^n :

$$X_0 := \left\{ (x_{q_1}^1, x_{q_2}^2, \dots, x_{q_n}^n) : q_i \in \{1, \dots, m_i\}, i = 1, 2, \dots, n \right\}. \quad (2.6)$$

Тоді ціна K_0 буде оператором, тобто функціональним відображенням з R^n – $K_0 : R^n \rightarrow R$. Оператор K_0 задає для кожної точки $x \in R$ значення узагальненого критерію якості - ціну $K_0(x) \in R$ (R - множина дійсних чисел) :

$$K_0(x) := \sum_{i=1}^n x^i. \quad (2.7)$$

Самі алгоритми послідовної оптимізації лінійного функціонала на нерівномірних ґратах n -мірної морфологічної таблиці детально представлені в роботах [84; 85].

На рисунку 2.3 приведена структурна схема програмно-методичного комплексу проектування варіантів конструкцій збірного твердосплавного інструменту на основі функціональних образів, отриманих в результаті синтезу, і оцінювання їх напруженого стану.

Запропонована методика використана при розробці нових конструкцій торцевих фрез, синтезовані функціональні образи яких отримали досить високу оцінку для діапазону глибин фрезерування 7-12 мм. В результаті пошуку за рахунок погіршення одних і поліпшення інших альтернатив синтезований

образ $a_4^1 a_2^2 a_4^3 a_2^4 a_1^5 a_1^5 a_3^7 a_7^8 a_1^9 a_1^{10} a_4^{11} a_1^{12} a_2^{13} a_8^{14} a_2^{15} a_5^{16} a_4^{17} a_1^{18}$, що має досить високу узагальнену оцінку значення критерію якості 3,92 з теоретично можливих 5. Отриманий образ вдалося реалізувати у вигляді конструкції [86]. Корпус фрези містить подовжні периферійні пази із закріпленими в них різальними вставками, що базуються в осьовому напрямі на торцеву поверхню корпусу, яка виконана у вигляді кільця. У радіальному напрямі різальні вставки базуються на кільцеві поверхні, розташовані концентрично центральному отвору корпусу. Таким чином, для усіх різальних вставок використовуються єдині бази, легко відновлювані на круглошлифовальній операції.

По аналізу можливості технічної реалізації синтезованого функціонального образу з більш високою оцінкою 4,07 було прийнято рішення про застосування ступінчастої схеми різання (зміна значень альтернатив за ознаками ділення зрізу по товщині і по ширині $a_2^1 a_1^2$). Реалізація конструкції приведена на рисунку 2.4 [87]. Ділення зрізу відбувається за рахунок використання різних кутів в плані (60° і 75°) і різного вильоту ножів.

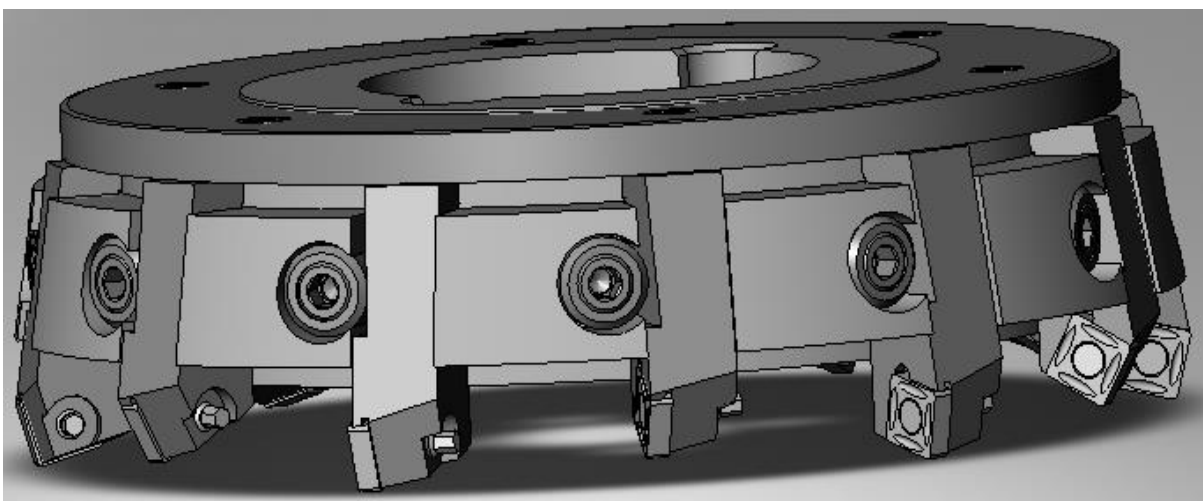


Рисунок 2.4 – Торцева фреза з діленням зрізу по ширині і товщині

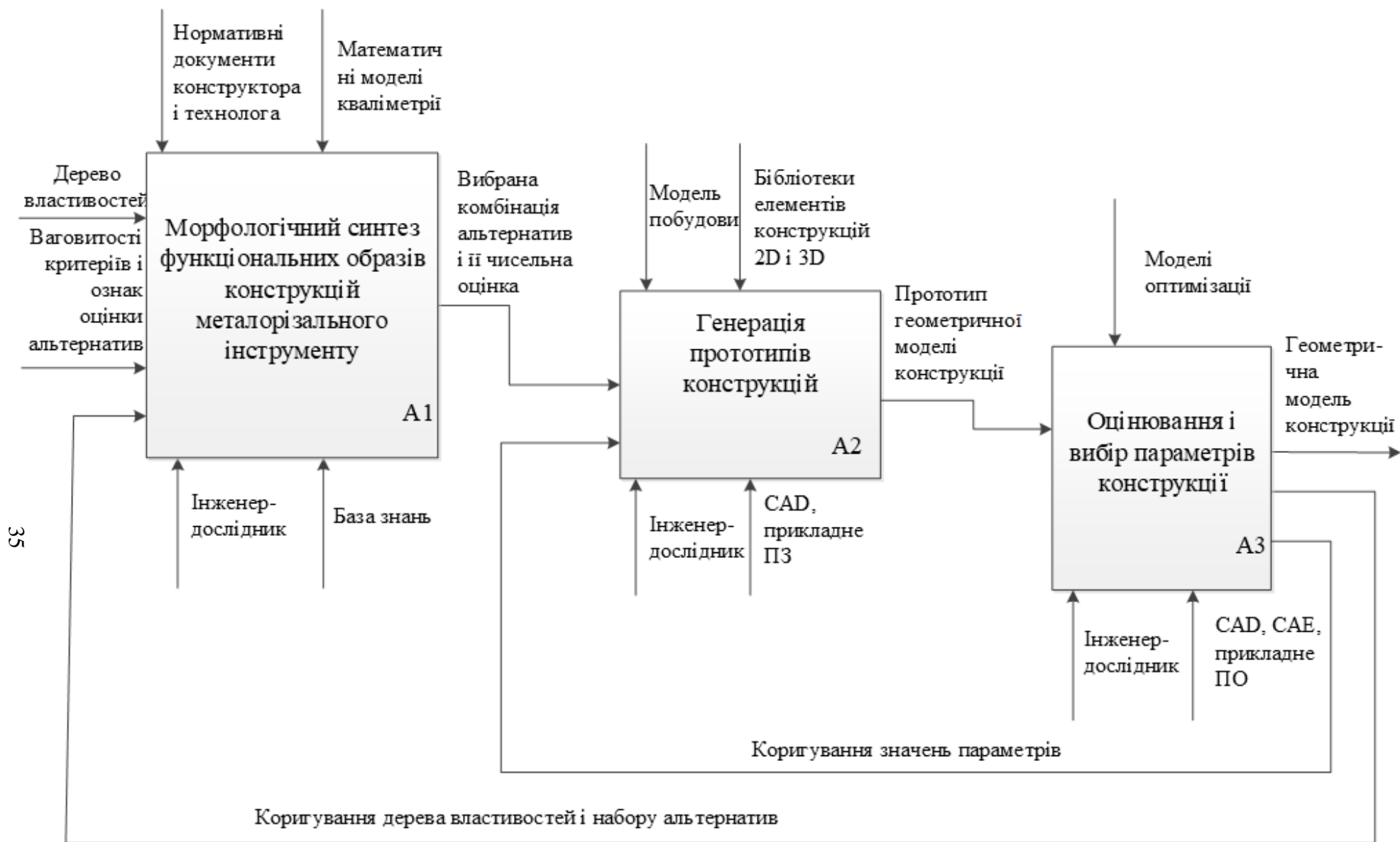


Рисунок 2.3 – Структурна схема ПМК для проектування варіантів конструкцій металорізного інструменту

2.2 Постановка завдання алгоритмічного "складання" конструкції інструменту

Сучасний досвід використання твердосплавних пластин налічує сотні і більше за варіанти конструктивних рішень кріплення цих пластин до корпусу різця. Кожна конструкція вносить якийсь свій оригінальний елемент, запозичуючи інші елементи і рішення з інших конструкцій. Таким чином, існує величезне число конструктивних рішень, причому часто ефективні нові конструкції виходять в результаті поєднання елементів різних вже відомих конструкцій.

Методика морфологічного аналізу і синтезу розроблена для проектування конструкції найбільш ефективної в цих умовах. Вона включає побудову дерева цілей, ранжирування і аналіз альтернатив.

Кожна з цілей більш високого рангу включає декілька підцілей нижчого рангу – рисунок 2.5, які у свою чергу можуть включати підцілі ще нижчого рівня і так далі. Кожна конкретна вершина дерева цілей закінчується набором ознак – властивостей конструкції, що безпосередньо впливають і забезпечують виконання цієї мети або показника якості. Це можуть бути спосіб (вид) кріплення пластини, схем додавання сил і так далі. Як було показано у попередньому пункті, кожна ознака P^i має набір можливостей – альтернатив її реалізації. Наприклад, схеми додавання сил для кріплення твердосплавної пластини можуть бути такі як показані на рисунку 2.6.

У роботах [84; 85] запропоновано декілька алгоритмів, які після ранжирування цілей і оцінки альтернатив послідовно видають функціональні схеми інструменту в порядку незростання узагальненого показника якості K_0 , починаючи з самого найкращого рішення і послідовно переходячи до рішень x з меншим значенням $K_0(x)$.

Залишається невирішеною проблема, як за функціональною схемою інструменту синтезувати власне конструкцію вузла кріплення.

За наявності 10-ти ознак дуже важко за скільки-небудь прийнятний час спробувати скомбінувати запропоновані для усіх них альтернативи $a_{q_1}^1, a_{q_2}^2, \dots, a_{q_{10}}^{10}$. Таким чином, основна трудомісткість процесу синтезу нової конструкції полягає в комбінуванні запропонованих реалізацій $a_{q_1}^1, a_{q_2}^2, \dots, a_{q_{10}}^{10}$, підборі відповідних деталей прихватів, штифтів, стружколомів і тому подібне, які одночасно забезпечують усі десять запропонованих реалізацій цих властивостей (наприклад, $a_{q_1}^1$ - схема прикладення сил (рис.2.6а), $a_{q_2}^2$ - кріплення важелем, що коливається, $a_{q_3}^3$ - базування на корпус і т.д.).

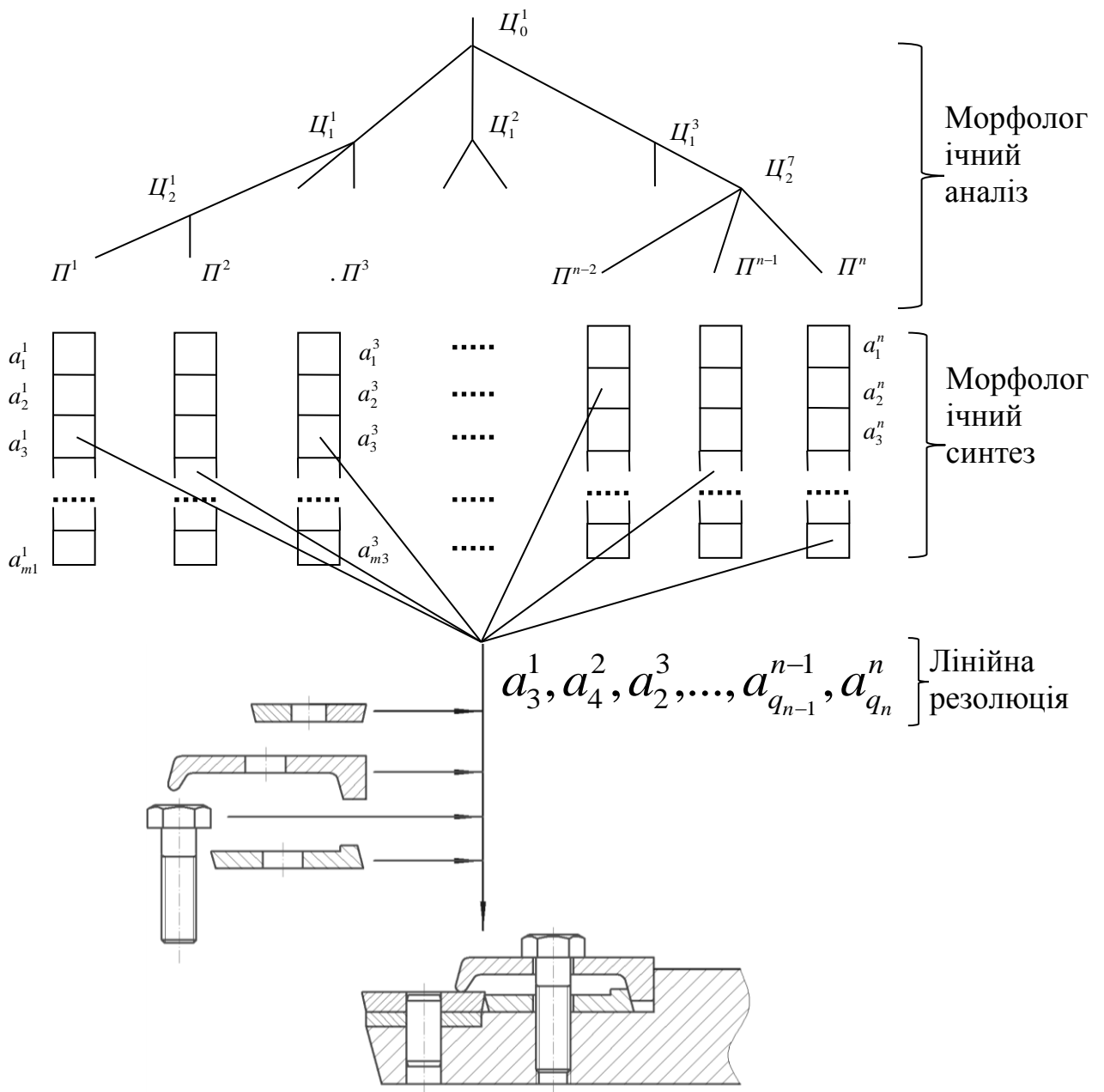


Рисунок 2.5 – Схема «складки» конструкції

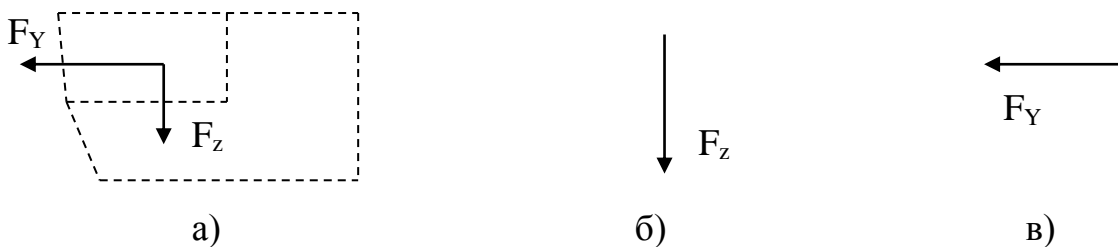


Рисунок 2.6 – Схеми прикладення сил для кріплення твердосплавної пластини

Проблему синтезу конструкції по заданих значеннях альтернатив можна вирішити автоматично, якщо вже є деякий набір "готових" елементів -

деталей, використовуваних в деяких інших конструкціях: прихватів, штифтів, опор, важелів і т.п. різних різновидів. Запропонований метод автоматично збирає вузол кріплення на кшталт того, як це відбувається в дитячому конструкторі. Алгоритм, автоматично перебираючи можливі стани, komponує зрештою готовий вузол кріплення. Цей алгоритм можна було б описувати в термінах механічних дій над елементами деталями конструкцій. Проте ми описуватимемо його в термінах логічних операцій. Алгоритм полягає в дедуктивному виведенні пропозиції виду: "Існують розмірні параметри і сили x_1, \dots, x_n такі, що конструктивне рішення, яке задовольняє заданим властивостям $P(x_1, \dots, x_n)$ виводиться з набору можливих зв'язків

$$\forall x_1 \dots \forall x_n (K_1(x_1, \dots, x_n) \wedge \dots \wedge K_n(x_1, \dots, x_n) \Rightarrow V(x_1, \dots, x_n)),$$

які позначають розмірні, силові і інші реальні зв'язки, що виникають між деталями реальних конструкцій".

Формально ця пропозиція проявляється у вигляді формули (2.16). У основу реалізації цього алгоритму можна покласти метод резолюцій [88] чи зворотний метод [89; 90] дедуктивного виведення.

Основою для переходу від конкретних деталей до логіки предикатів першого порядку, використовуваної в алгоритмі, являється угода, що деяка деталь (наприклад пластина П) може функціонувати в реальних умовах тоді і тільки тоді, коли існує сукупність фіксуєчих її сил F_1, F_2, \dots, F_n , що додаються в точках x_1, x_2, \dots, x_n . Додатково необхідно, щоб безпосередньо дотичні до неї деталі мали деякі особливості форми, наприклад, трикутна пластина вимагає, щоб опора теж була трикутною, а у свою чергу трикутна опора вимагає, щоб і гніздо в корпусі також мало трикутну форму.

Розглянемо конструкцію, зображену на рисунку 2.7, а.

Елемент цієї конструкції може функціонувати тоді і тільки тоді, коли існує сукупність тих, що утримують його в положенні рівноваги сил, прикладених по базуючим (контактним) поверхням.

Елемент цієї конструкції може функціонувати тоді і тільки тоді, коли існує сукупність тих, що утримують його в положенні рівноваги сил, прикладених по базуючим (контактним) поверхням. Фактично елемент (деталь, наприклад, пластина або прихват) повністю визначається сукупністю контактних поверхонь і прикладеними на них силами. Це можна було б виразити так.

$$\forall x_1 \forall x_2 \forall x_3 \forall x_4 [(Pr(x_2) \wedge Ш(x_1) \wedge K(x_3) \wedge O(x_4) \wedge D_n(x_1, x_2, x_3, x_n) \wedge S(x_1, x_2, x_3, x_n) \wedge \Phi_{Pr} \wedge \Phi_{Ш} \wedge \Phi_K \wedge \Phi_O) \Rightarrow П(x_1, x_2, x_3, x_n)] \quad (2.8)$$

Тут x_1, x_2, x_3, x_4 описують сили, прикладені по чотирьох опорних поверхнях до пластини П в окремому випадку що йдуть від штифта (Ш), прихваті (Пр), клину (К) і опори (О). $D_n(\cdot)$ предикат, який означає, що точки прикладення цих сил і самі ці сили повинні знаходитися в деякому взаємному

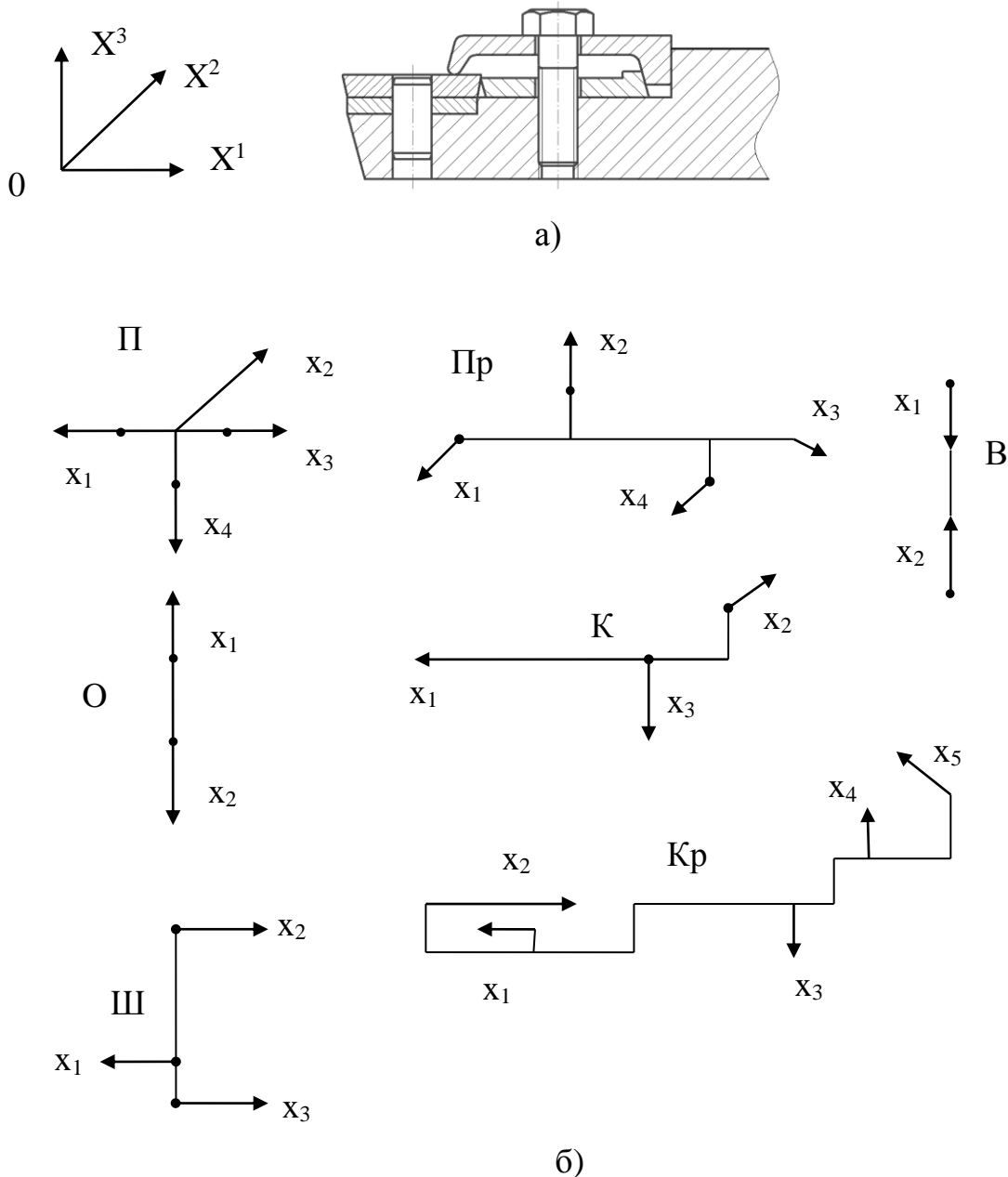


Рисунок 2.7 – Силві зв'язки між деталями конструкції збірної різця

розташуванні один відносно одного, що визначає саме цю (чи цей тип) пластину. Інакше кажучи, $Dn(x_1, x_2, x_3, x_n)$ деякі діапазони усіх сил і точок їх прикладення. $S(x_1, x_2, x_3, x_n)$ предикат істинний тоді і тільки тоді, коли сума усіх сил і усіх моментів, прикладених до пластини дорівнює нулю. $\Phi_{Пр}$, $\Phi_{Ш}$, $\Phi_{К}$, $\Phi_{О}$ предикати істинні тоді і тільки тоді, коли відповідно прихват, штифт, клин і опора мають певну форму контактної поверхні.

Для забезпечення можливості програмної реалізації запропонованого методу прийемо допущення, що усі сили прикладаються в кінцевому числі контактних точок. В цьому випадку самі деталі елементи конструкції можна замінити на жорстко пов'язані системи точок (у вигляді жорстких "ферм", див. рис. 2.7,б). До кожної точки \hat{x}_i , що характеризується трьома

координатами $\hat{x}_i := (x_i^1, x_i^2, x_i^3)$ додається певна сила F_i , що характеризується трьома проекціями $F_i := (F_i^1, F_i^2, F_i^3)$. Тоді кожен аргумент $x_i, i=1, \dots, 4$, в (2.8) – це шістька

$$x_i := (x_i^1, x_i^2, x_i^3, F_i^1, F_i^2, F_i^3), i=1, \dots, 4.$$

В цьому випадку (2.8) можна трактувати так: з того, що в точці \hat{x}_2 прихватом *Pr* прикладена сила F_2 , в точці \hat{x}_2 штифтом *Ш* сила F_1 , в точці \hat{x}_3 - клином *K* сила F_3 , в точці \hat{x}_4 - опорою *O* сила F_4 і взаємне розташування точок $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4$ задовольняє деякому діапазону можливостей (наприклад,

$$b_2^i \leq x_2^i - x_1^i \leq c_2^i; \quad b_3^i \leq x_3^i - x_1^i \leq c_3^i; \quad b_4^i \leq x_4^i - x_1^i \leq c_4^i,$$

де $b_2^i, c_2^i, b_3^i, c_3^i, b_4^i, c_4^i$ - деякі константи, $i = 1, 2, 3$)

і сума проекцій всіх сил і моментів дорівнює нулю

$$(F_1^i + F_2^i + F_3^i + F_4^i = 0; \quad M_1^i + M_2^i + M_3^i + M_4^i = 0; \quad i=1, 2, 3),$$

і прихват, штифт, клин і опора мають потрібну форму впливає (\Rightarrow - знак імплікації) істинність предиката $\Pi(x_1, x_2, x_3, x_n)$, який означає можливість функціонування даного типу пластини.

Приставка " $\forall x_1 \forall x_2 \forall x_3 \forall x_4$ " означає, що пластина Π буде функціонувати при будь-яких (\forall - квантор "для будь-якого") значеннях координат точок прикладання $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4$ і будь-яких значеннях сил F_1, F_2, F_3, F_4 (нагадаємо, що $\hat{x}_1 := (x_1, F_1), \hat{x}_2 := (x_2, F_2), \dots, \hat{x}_4 := (x_4, F_4)$), якщо тільки вони задовольняють перерахованим вище умовам.

У свою чергу, якщо пластина функціонує, вона впливає на прихват, штифт і опору в точках $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4$. Таким чином отримуємо

$$\forall x_1 \forall x_2 \forall x_3 \forall x_4 [\Pi(x_1, x_2, x_3, x_4) \Rightarrow (\Pi(x_1) \wedge \Pi(x_2) \wedge \Pi(x_3) \wedge \Pi(x_4) \wedge \Phi \Pi)]. \quad (2.9)$$

Так само описується можливість функціонування і впливу за умови функціонування для всіх інших елементів конструкції: прихвата, клину, опори, штифта, гвинта і корпусу.

Для того, щоб продемонструвати правила накладання обмежень на форму контактних поверхонь елементів конструкції, прийемо для прикладу, зображеного на рисунку 2.6,а допущення, що трикутна форма пластин вимагає трикутної форми корпусу. Інші обмеження на форму для простоти і стислості опису враховувати не будемо. Тоді взаємний вплив елементів конструкції зображених на рисунку 2.7,а і схематично на рисунку 2.7,б будуть виражені наступними формулами обчислення предикатів першого порядку (для простоти будемо скорочувати число аргументів з квантором \forall):

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [\Pi(x_1, x_2, x_3, x_4) \Leftarrow (\text{Pr}(x_2) \wedge \text{Ш}(x_1) \wedge \text{K}(x_3) \wedge \text{O}(x_4) \wedge$$

$$\wedge \text{Dn}(x_1, x_2, x_3, x_4) \wedge \text{S}(x_1, x_2, x_3, x_4) \wedge \text{O}_{\text{Tr}}]; \quad (2.8')$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [\Pi(x_1) \leq (\Pi(x_1, x_2, x_3, x_4) \vee \Pi(x_2, x_1, x_3, x_4) \vee \Pi(x_2, x_3, x_1, x_4) \vee \Pi(x_2, x_3, x_4, x_1))]; \quad (2.9')$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [\Pi_{\text{Tr}} \leq \Pi(x_1, x_2, x_3, x_4)]; \quad (2.9'')$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [\text{Pr}(x_1, x_2, x_3, x_4) \leq (\Pi(x_1) \wedge \text{B}(x_2) \wedge \text{Kp}(x_3) \wedge \text{K}(x_4) \wedge \wedge \text{DPr}(x_1, x_2, x_3, x_4) \wedge \text{S}(x_1, x_2, x_3, x_4))]; \quad (2.10')$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [\text{Pr}(x_1) \leq (\text{Pr}(x_1, x_2, x_3, x_4) \vee \text{Pr}(\text{Pr}(x_2, x_1, x_3, x_4) \vee \vee \text{Pr}(x_2, x_3, x_1, x_4) \vee \text{Pr} \text{Pr}(x_2, x_3, x_4, x_1)))] \quad (2.10'')$$

$$\forall x_1 \forall x_2 [\text{O}(x_1, x_2) \leq (\Pi(x_1) \wedge \text{Kp}(x_2) \wedge \text{Do}(x_1, x_2) \wedge \text{S}(x_1, x_2) \wedge \Pi_{\text{Tr}} \wedge \text{Kp}_{\text{Tr}})];$$

$$\forall x_1 \forall x_2 [\text{O}(x_1) \leq (\text{O}(x_1, x_2) \vee \text{O}(x_2, x_1))];$$

$$\forall x_1 \forall x_2 [\text{O}_{\text{Tr}} \leq \text{O}(x_1, x_2)];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_3 [\text{K}(x_1, x_2, x_3) \leq (\Pi(x_1) \wedge \text{Kp}(x_2) \wedge \text{Kp}(x_3) \wedge \wedge \text{DK}(x_1, x_2, x_3) \wedge \text{S}(x_1, x_2, x_3))];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_3 [\text{K}(x_1) \leq (\text{K}(x_1, x_2, x_3) \vee \text{K}(x_2, x_1, x_3) \vee \text{K}(x_2, x_3, x_1))];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_3 [\text{Ш}(x_1, x_2, x_3) \leq (\Pi(x_2) \wedge \text{Kp}(x_1) \wedge \text{Kp}(x_2) \wedge \wedge \text{DШ}(x_1, x_2, x_3) \wedge \text{S}(x_1, x_2, x_3))];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_3 [\text{Ш}(x_1) \leq (\text{Ш}(x_1, x_2, x_3) \vee \text{Ш}(x_2, x_1, x_3) \vee \text{Ш}(x_2, x_3, x_1))];$$

$$\forall x_1 \forall x_2 [\text{B}(x_1, x_2) \leq (\text{Pr}(x_1) \wedge \text{Kp}(x_2) \wedge \text{D}_{\text{B}}(x_1, x_2) \wedge \text{S}(x_1, x_2))];$$

$$\forall x_1 \forall x_2 [\text{B}(x_1) \leq (\text{B}(x_1, x_2) \vee \text{B}(x_2, x_1))];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_5 [\text{Kp}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \leq (\text{Ш}(x_1) \wedge \text{Ш}(x_2) \wedge \text{B}(x_3) \wedge \wedge \text{K}(x_4) \wedge \text{Pr}(x_5) \wedge \text{DKp}(x_1, \dots, x_5) \wedge \text{S}(x_1, \dots, x_5) \wedge \text{O}_{\text{Tr}})];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_5 [\text{Kp}(x_1) \leq (\text{Kp}(x_1, x_2, \dots, x_5) \vee \text{Kp}(x_2, x_1, \dots, x_5) \vee \dots \vee \text{Kp}(x_2, x_3, x_4, x_5, x_1))];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_5 [\text{Kp}_{\text{Tr}} \leq \text{Kp}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)]. \quad (2.10)$$

Формули для завдання предикатів діапазонів та сум сил і моментів виглядають наступним чином.

$$\forall x_1 \forall x_2 [S(x_1, x_2) \Leftarrow (x_1^4 + x_2^4 = 0 \wedge x_1^5 + x_2^5 = 0 \wedge x_1^6 + x_2^6 = 0 \wedge x_2^4(x_2^2 - x_1^2) = 0 \wedge x_2^4(x_2^3 - x_1^3) = 0 \wedge x_2^5(x_2^2 - x_1^2) = 0 \wedge x_2^5(x_2^3 - x_1^3) = 0 \wedge x_2^6(x_2^2 - x_1^2) = 0 \wedge x_2^6(x_2^3 - x_1^3) = 0)];$$

$$\forall x_1 \forall x_2 \forall x_3 [S(x_1, x_2, x_3) \Leftarrow (x_1^4 + x_2^4 + x_3^4 = 0 \wedge \dots \wedge x_1^6 + x_2^6 + x_3^6 = 0 \wedge x_2^4(x_2^2 - x_1^2) + x_3^4(x_3^2 - x_1^2) = 0) \wedge \dots \wedge (x_2^6(x_2^2 - x_1^2) + x_3^6(x_3^2 - x_1^2)) = 0)];$$

.....

$$\forall x_1 \dots \forall x_5 [S(x_1, \dots, x_5) \Leftarrow (\dots)];$$

$$\forall x_1 \forall x_2 [D_o(x_1, x_2) \Leftarrow ((bo_2^1 \leq x_2^1 - x_1^1 \leq Co_2^1) \wedge (bo_2^2 \leq x_2^2 - x_1^2 \leq Co_2^2) \wedge (bo_2^3 \leq x_2^3 - x_1^3 \leq Co_2^3) \wedge (bo_1^4 \leq x_1^4 \leq Co_1^4) \wedge (bo_1^5 \leq x_1^5 \leq Co_1^5) \wedge (bo_1^6 \leq x_1^6 \leq Co_1^6) \wedge (bo_2^4 \leq x_2^4 \leq Co_2^4) \wedge (bo_2^5 \leq x_2^5 \leq Co_2^5) \wedge (bo_2^6 \leq x_2^6 \leq Co_2^6))];$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [D_n(x_1, x_2, x_3, x_4) \Leftarrow ((bp_j^i \leq x_j^i - x_1^i \leq Cp_j^i, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4) \wedge (bp_j^i \leq x_j^i \leq Cp_j^i, i = 4, 5, 6; j = 1, 2, 3, 4))];$$

.....

$$\forall x_1 \dots \forall x_5 [D_{pr}(x_1, \dots, x_5) \Leftarrow ((bpr_j^i \leq x_j^i - x_1^i \leq spr_j^i, i = 1, 2, 3; j = 1, \dots, 5) \wedge (bpr_j^i \leq x_j^i \leq spr_j^i, i = 4, 5, 6; j = 1, \dots, 5))]. \quad (2.11)$$

З урахуванням того, що x_i^1, x_i^2, x_i^3 - координати точки x_i , а x_i^4, x_i^5, x_i^6 - проєкції F_i^1, F_i^2, F_i^3 сили F_i , прикладеної в точці x_i , в формулах (2.11) ми послідовно задаємо те, що

1) сума проєкцій сил повинна бути дорівнює нулю, наприклад, $x_1^4 + x_2^4 = 0$ - деякий предикат $E(x_1^4, x_2^4)$, який правдивий тоді і тільки тоді, коли виконується відповідна рівність;

2) сума проєкцій моментів повинна бути дорівнює нулю, наприклад, $x_2^4(x_2^2 - x_1^2) = 0$ - предикат $M(x_2^4, x_2^2, x_1^2)$ істинний коли момент, створюваний F_2^1 щодо x_1 в площині $x^3=0$, дорівнює нулю;

3) точки докладання зусиль можуть варіюватися, але в певних межах, наприклад, $bo_2^1 \leq x_2^1 - x_1^1 \leq Co_2^1$ - предикат $L(x_2^1, x_1^1)$ істинний коли проєкція на Ox^1 вектору з першої точки (константа x_1) в другу (x_2) знаходиться у відповідному діапазоні (що пов'язано з відносним розміром деталі (в даному випадку опори) і можливим положенням точки прикладання сили, зокрема, на деякій "контактної" поверхні);

4) самі сили $F_{oj}, F_{nj}, \dots, F_{kpi}$ додаються в різних точках до опори, пластини та ін. деталей повинні знаходитися в деякому діапазоні, наприклад,

$bo_1^4 \leq x_1^4 \leq Co_1^4$ - предикат $F(x_1^4)$ істинний, коли проекція F_1^1 сили додається в точці x_1 до опори знаходиться у відповідному діапазоні.

В цілому набір формул (2.10), (2.11) описує сукупність властивостей пластини, прихвата, опори, клину, гвинта, штифта і корпусу певної конфігурації (задається діапазонами і додатковими вимогами форми), що забезпечують функціонування останніх, зокрема, так як це показано на рисунку 2.7,а.

Припустимо, що у нас є також формули, що описують можливість функціонування елементів інших конструкцій, наприклад, чотирикутної пластини Π_4 , прихвата Про , штифта Шо , зображених на рисунку 2.8 і т.п.:

$$\begin{aligned} & \forall x_1 \dots \forall x_4 [\Pi_4(x_1, x_2, x_3, x_4) \leq (\dots)]; \\ & \forall x_1 \dots \forall x_4 [\Pi_4(x_1) \leq (\Pi_4(x_1, x_2, x_3, x_4) \wedge \dots)]; \\ & \forall x_1 \dots \forall x_4 [\Pi_{\text{чтр}} \leq \Pi_4(x_1, x_2, x_3, x_4)]; \\ & \forall x_1 \dots \forall x_5 [\text{Про}(x_1, \dots, x_5) \leq (\dots)]; \\ & \forall x_1 \dots \forall x_5 [\text{Про}(x_1) \leq (\dots)]; \\ & \forall x_1 \dots \forall x_3 [\text{Шо}(x_1, x_2, x_3) \leq (\dots)]; \\ & \forall x_1 \dots \forall x_3 [\text{Шо}(x_1) \leq (\dots)]; \dots \end{aligned} \tag{2.12}$$

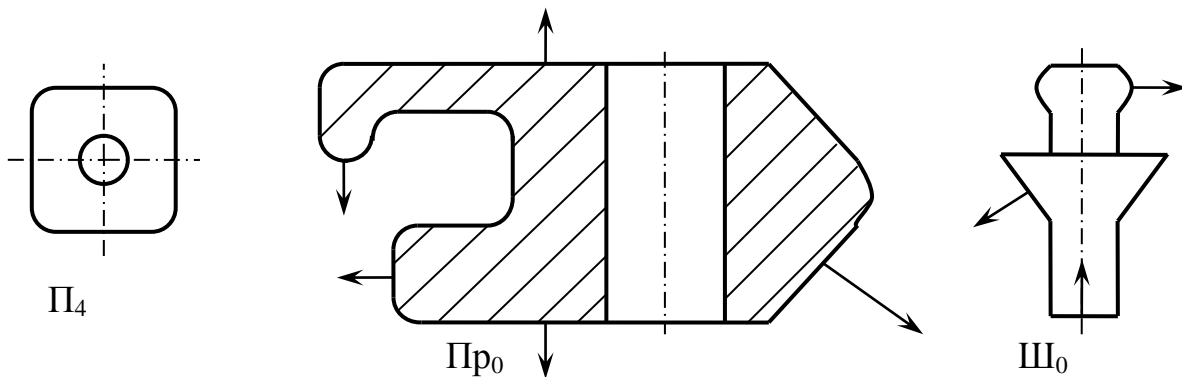


Рисунок 2.8 – Можливі елементи конструкцій збірного різця

Таким чином, у нас є набір деталей які належать різним конструкціям і описаних наближено тими зв'язками, в які вони вступають з іншими деталями в конструкції і які необхідні в свою чергу для їх функціонування. Тут ми можемо комбінувати різні елементи, якщо виконуються найпростіші умови їх поєднання - збіг отворів, виступів, розмірів та ін.

Додаємо до наявних описів класифікатори типу

$$\forall x_1 \dots \forall x_4 [\text{Пласт}(x_1, x_2, x_3, x_4) \leq (\Pi(x_1, x_2, x_3, x_4) \vee \Pi_4(x_1, x_2, x_3, x_4))] \quad (2.13)$$

які означають, що, зокрема, пластина може бути двох типів трикутна з формою заданої $\Pi_{тр}$ і одна з таких пластин - $\Pi(x_1, x_2, x_3, x_4)$ і чотирикутна з формою $\Pi_{чтр}$ і одна з цих пластин - $\Pi_4(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

2.3 Схема алгоритму синтезу конструкції, заснована на методі лінійної резолюції

Нашим завданням є перейти від структурної функціональної схеми інструменту $a_{q_1}^1, \dots, a_{q_n}^n$ до конкретної конструкції. Тобто метод синтезу повинен автоматично "зібрати" конструкцію як тільки задана функціональна схема $a_{q_1}^1, \dots, a_{q_n}^n$.

Нехай aq_1^1 означає, що схема сил кріплення пластини має вигляд зображений на рисунку 2.7,а), а aq_2^2 означає, що форма пластини повинна бути трикутною. Тоді наш запит можна висловити так: чи існують хоч якісь значення параметрів x_1, \dots, x_4 , що забезпечують функціонування потрібної пластини, або формально,

$$\exists x_1 \exists x_2 \exists x_3 \exists x_4 (\text{Пласт}(x_1, x_2, x_3, x_4) \wedge \Pi_{тр} \wedge F_{zy}(x_1, x_2, x_3, x_4)), \quad (2.14)$$

де F_{zy} - предикат, що означає що хоча б якісь з доданих до пластині сил повинні мати проекції F_z і F_y

$$\begin{aligned} & (b_z \leq F_z \leq c_z \text{ и } b_y \leq F_y \leq c_y: \\ & \forall x_1 \dots \forall x_4 [F_{zy}(x_1, x_2, x_3, x_4) \leq [(b_z \leq x_1^6 \leq c_z \wedge b_y \leq x_2^5 \leq c_y) \vee \\ & \vee (b_z \leq x_1^6 \leq c_z \wedge b_y \leq x_3^5 \leq c_y) \vee \dots \vee (b_z \leq x_4^6 \leq c_z \wedge b_y \leq x_3^5 \leq c_y)]] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Позначимо формули (2.10) через $B_3^1, B_3^2, \dots, B_3^{n3}$; формули (2.11) - через B_4^1, \dots, B_4^{n4} ; (2.12) - через B_5^1, \dots, B_5^{n5} ; (2.13) – через B_6^1, \dots, B_6^{n6} ; (2.14) – через B_8 . Тоді на мові логіки предикатів першого порядку нам необхідно довести формулу

$$\begin{aligned} & (B_3^1 \wedge B_3^2 \wedge \dots \wedge B_3^{n3} \wedge B_4^1 \wedge \dots \wedge B_6^{n6} \wedge B_8) \Rightarrow \\ & \exists x_1 \exists x_2 \exists x_3 \exists x_4 (\text{Пласт}(x_1, \dots, x_4) \wedge \Pi_{тр} \wedge F_{zy}(x_1, \dots, x_4)), \end{aligned} \quad (2.16)$$

Якби ми не мали справу з дійсними числами (коефіцієнтами точок і значеннями проекцій сил), то ми б могли встановити істинність або хибність формули (2.16). У першому випадку вона б виводилася за допомогою гильбертовської системи аксіом і правил виведення *modus ponens* і узагальнення [91], а в другому виводилося б зворотне твердження. В силу ж

відсутності додаткових роз'яснюють правил щодо $E(\cdot)$, $M(\cdot)$, $L(\cdot)$ та ін. в формулах (2.11) дана формула (2.16) не є ні істинною ні помилковою.

У зв'язку з цим деякий додаток стандартного методу резолюцій правилами поводження з дійсними числами буде встановлювати істинність формули (2.16) і в кінцевому підсумку збирати конструкцію вузла кріплення твёрдосплавної пластини. Зауважимо, що будь-яка формула виду $A \Rightarrow B$ еквівалентна $\bar{A} \vee B$, де \bar{A} - заперечення A . Перетворимо кожен з формул B_3^1, B_3^2, \dots, B_8 вида

$$\forall \bar{x}_1 \dots \forall \bar{x}_n (B \leq A_1 \wedge \dots \wedge A_m)$$

в еквівалентну формулу

$$\forall x_1 \dots \forall x_n (B \vee A_1 \vee \dots \vee A_m),$$

а формулу виду

$$\forall x_1 \dots \forall x_n (B \leq A_1 \vee \dots \vee A_m)$$

в еквівалентну формулу виду

$$\forall x_1 \dots \forall x_n ((B \vee \bar{A}_1) \wedge \dots \wedge (B \vee \bar{A}_m)).$$

Тоді, перепозначивши усі змінні у формулі (2.16) так, щоб змінні замкнуті різними кванторами мали різні імена і, виносячи усі квантори вліво, приходимо до еквівалентної формули

$$\exists x_1 \dots \exists x_n (B_3^1 \vee B_3^2 \vee \dots \vee B_a \vee [\text{Пласт}(\cdot) \wedge \Pi_{\text{тр}} \wedge F_{zy}(\cdot)]), \quad (2.16')$$

яка, як можна переконатися, має вигляд диз'юнктивної нормальної форми

$$\exists x_1 \dots \exists x_n (D_1^1 \wedge \dots \wedge D_{m_1}^1) \vee (D_1^2 \wedge \dots \wedge D_{m_2}^2) \vee \dots \vee (D_1^k \wedge \dots \wedge D_{m_k}^k). \quad (2.16'')$$

Зокрема, $D_{mk}^k \in F_{zy}(\cdot)$, а $D_1^1 \in \bar{\Pi}(\cdot)$.

Продемонструємо роботу методу резолюцій на простій формулі

$$\exists x \exists y \exists z ([\bar{A}(x) \wedge B(x)] \vee [A(f(z)) \wedge B(x)] \vee [\bar{B}(y) \wedge C(f(y))] \vee \bar{C}(x)). \quad (2.17)$$

Беремо перші два кон'юнкти $\bar{A}(x) \wedge B(x)$ і $A(f(z)) \wedge B(x)$ і знаходимо взаємно зворотні $\bar{A}(x)$ і $A(f(z))$. Виконуємо підстановку $x=f(z)$ і викреслюючи з кон'юнктив $\bar{A}(f(z)) \wedge B(f(z))$ і $A(f(z)) \wedge B(f(z))$ взаємно зворотні частини, сполучаємо залишки в новий кон'юнкт $B(f(z)) \wedge B(f(z))$. Останній називається резольвентою. Проводимо уніфікацію резольвенти, скорочуючи однакові

члени, і отримуємо кон'юнкт $V(f(z))$. Нескладно бачити, що на будь-якій моделі предметної області (тобто інтерпретації змінних x, y, z функціонального символу f і предикативних змінних A, B і C) формула з додатковим кон'юнктом $V(f(z))$:

$$\exists x \exists y \exists z ([\bar{A}(x) \wedge B(x)] \vee [A(f(z)) \wedge B(x)] \vee [\bar{B}(y) \wedge C(f(y))] \vee \bar{C}(x) \vee V(f(z))) \quad (2.17')$$

істинна тоді і тільки тоді, коли істинна початкова формула (2.17).

Беремо далі кон'юнкти $\bar{B}(y) \wedge C(f(y))$ і $V(f(z))$, отримуємо резольвенту $C(f(f(z)))$ (при підстановці $y:=f(z)$). Додаємо резольвенту в список кон'юнктів

$$\exists x \exists y \exists z ([\bar{A}(x) \wedge B(x)] \vee \dots \vee \bar{C}(x) \vee V(f(z)) \vee C(f(f(z))))). \quad (2.17'')$$

Нескладно переконатися (безпосереднім розбором випадків, коли $C(f(f(z)))$ істинно або неправдиво $\bar{B}(y)$ істинно або неправдиво і так далі), що на будь-якій моделі випадки істинності (2.17'') співпадають з випадками істинності (2.17). Нарешті в (2.17'') видно, що, якщо $\bar{C}(x)$ істинно, у разі $x:=f(f(z))$, то формула істинна, а якщо $\bar{C}(x)$ неправдиво, то виявляється істинним $C(f(f(z)))$ - останній кон'юнкт. Аналітично це виражається тим, що будується резольвента кон'юнктів $\bar{C}(x)$ і $C(f(f(z)))$, яка виходить порожньою. (Резольвента $\bar{C}(x) \wedge \emptyset$ і $C(f(f(z))) \wedge \emptyset \in \emptyset \wedge \emptyset$ чи \emptyset , де \emptyset - символ порожньої множини предикатів). Таким чином, отримання порожньої резольвенти означає істинність початкової формули і кінець доказу.

У загальному випадку можна помітити, що з істинності резольвенти на деякій моделі завжди витікає істинність хоч би одного з кон'юнктів, і зрештою усієї формули. Те що деяка резольвента буде істинною в нашому випадку витікатиме з існування конкретної механічної конструкції, а в загальному випадку доводиться на підставі теореми Ербрана [88; 92].

Зауважимо, що у формулі (2.16') аргументи x_1, \dots, x_n не є змінними типу x, y, z у формулі (2.17) звичайного числення предикатів, оскільки вони є дійсними числами. Якщо ми отримуємо в звичайному численні предикатів резольвенту $V(x) \wedge V(f(z)) \wedge A(y, z)$, то можна провести уніфікацію: $V(f(z)) \wedge A(y, f(z))$. Якщо ж ми маємо предикати $M_1(x_1, \dots, x_n)$ і $M_2(x_1, \dots, x_n)$, кожен з яких описує систему рівності або (і) нерівностей виду

$$\begin{cases} \sum_{i,j,l,s} b_{j_s}^{i_l} x_j^i x_s^l + \sum_{i,j} c_j^i x_j^i = 0; \\ \sum_{i,j} d_j^i x_j^i \leq 0, \end{cases} \quad (2.18)$$

де $b_{j_s}^{i_l}, c_j^i, d_j^i$ - постійні коефіцієнти (див. (2.11)), то результатом уніфікації резольвенти

$$M_1(x_1, \dots, x_n) \wedge M_2(x_1, \dots, x_n) \wedge A(x_1, \dots, x_n)$$

буде кон'юнкт

$$M_{12}(x_1, \dots, x_n) \wedge A(x_1, \dots, x_n),$$

де $M_{12}(x_1, \dots, x_n)$ описує систему виду (2.18), яка є об'єднанням систем для $M_1(x_1, \dots, x_n)$ і $M_2(x_1, \dots, x_n)$.

У нашому випадку використовуватиметься також простіший випадок лінійної резолюції. Дійсно, розглянемо формули B_3^1, B_3^2, \dots, B_8 (див. (2.10) - (2.13), (2.15)). Всяку формулу виду

$$\forall x_1 \dots \forall x_n [A(x_1, \dots, x_n) \leq B_1(x_1, \dots, x_n) \vee \dots \vee B_m(x_1, \dots, x_n)]$$

можна представити у вигляді кон'юнкції формул

$$\forall x_1 \dots \forall x_n [A(x_1, \dots, x_n) \leq B_1(x_1, \dots, x_n)]$$

$$\forall x_1 \dots \forall x_n [A(x_1, \dots, x_n) \leq B_m(x_1, \dots, x_n)].$$

Тоді усі формули B_3^1, B_3^2, \dots, B_8 набувають однакової форми:

$$\forall x_1 \dots \forall x_n [A(x_1, \dots, x_n) \leq B_1(x_1, \dots, x_n) \wedge \dots \wedge B_m(x_1, \dots, x_n)]. \quad (2.19)$$

У остаточній формулі (2.16') кожна з цих формул (2.17) набирає вигляду деякого кон'юнкта:

$$\exists x_1 \dots \exists x_n (\dots \vee \bar{A}(\cdot) \wedge B_1(\cdot) \wedge \dots \wedge B_m(\cdot)) \vee \dots \vee [\text{Пласт}(\cdot) \wedge \text{Птр} \wedge F_{zy}(\cdot)] \quad (2.16'')$$

Тоді візьмемо останній кон'юнкт $\text{Пласт}(\cdot) \wedge \text{Птр} \wedge F_{zy}(\cdot)$. Формули (2.10) - (2.13), (2.15) влаштовані таким чином, що серед них в лівій частині від знаку \leq знайдуться $\text{Пласт}(\cdot)$, Птр і $F_{zy}(\cdot)$ (відповідно до (2.13), (2.9'') і (2.15)). Кожен з предикатів $\text{Пласт}(\cdot)$, Птр і $F_{zy}(\cdot)$ в лівій частині від знаку \leq (у формулах (2.13), (2.9'') і (2.15)) перетворюється в результуючій формулі (2.16'') у своє заперечення $\bar{\text{Пласт}}(\cdot)$, $\bar{\text{Птр}}$ і $\bar{F}_{zy}(\cdot)$. Тому ми можемо послідовно побудувати резольвенту кон'юнкта $K_0 := \text{Пласт}(\cdot) \wedge \text{Птр} \wedge F_{zy}(\cdot)$ з кон'юнктами отриманими в результаті перетворення формул (2.13), (2.9'') і (2.15), тобто з кон'юнктами

$$\bar{\text{Пласт}}(\cdot) \wedge \text{П}(\cdot); \quad (2.13')$$

$$\bar{\text{Пласт}}(\cdot) \wedge \text{П}_4(\cdot); \quad (2.13'')$$

$$\bar{\text{Птр}} \wedge \text{П}(\cdot); \quad (2.9''')$$

$$\bar{F}_{zy}(\cdot) \wedge M_1^1(\cdot) \wedge M_2^1(\cdot); \quad (2.15')$$

.....

$$\bar{F}zy(\cdot) \wedge M_1^{12}(\cdot) \wedge M_2^{12}(\cdot), \quad (2.15'')$$

де $M_1^1(\cdot)$ описує $b_z \leq x_1^6 \leq c_z$; $M_2^1(\cdot) - b_y \leq x_2^5 \leq c_y$; $M_1^{12}(\cdot) - b_z \leq x_4^6 \leq c_z$; $M_2^{12}(\cdot) - b_y \leq x_3^5 \leq c_y$.

Таким чином, ми можемо послідовно видалити з кон'юнкта K_0 предикати $\text{Пласт}(\cdot)$, Птр , $Fzy(\cdot)$ шляхом резольвенти K_0 з кон'юнктами, заданими формулами (2.13'), (2.13''), (2.9''') і (2.15'). В результаті, як нескладно перевірити, виходять послідовно наступні кон'юнкти

- 1) $\text{П}(\cdot) \wedge \text{Птр} \wedge Fzy(\cdot)$ (з (2.13''));
- 2) $\text{П}(\cdot) \wedge \text{П}(\cdot) \wedge Fzy(\cdot)$ (з (2.9'''));
- 3) $\text{П}(\cdot) \wedge Fzy(\cdot)$ (уніфікація);
- 4) $\text{П}(\cdot) \wedge M_1^1(\cdot) \wedge M_2^1(\cdot)$ (з (2.15')).

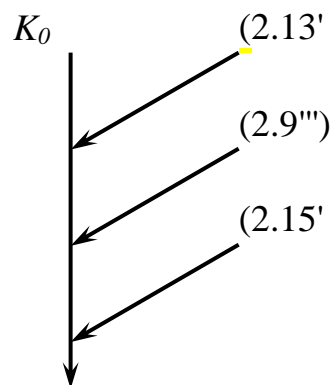


Рисунок 2.9– Формування кон'юнкта K_0

Таким чином, робота проходить увесь час з одним (поточним) кон'юнктом, до якого "підключаються" кон'юнкти, що відповідають формулам (2.10)-(2.13), (2.15), які "розшифровують" окремі предикати поточного кон'юнкта. Більше того, видно, що потрібний для резольвенти предикат завжди розміщується зліва від знаку \leq (це завжди заперечення деякої предикативної букви). Разом з гілкою 4), яка може виявитися неперспективною метод породить

$$4') \text{П}(\cdot) \wedge M_1^i(\cdot) \wedge M_2^i(\cdot), \quad (2.20)$$

де $M_1^i(x_1, \dots, x_4)$ істинно тоді, коли $b_z \leq x_2^6 \leq c_z$, а $M_2^i(x_1, \dots, x_4)$, - тоді, коли $b_y \leq x_3^5 \leq c_y$. Це відповідає тому випадку прикладення сил до пластини, який має місце для конструкції на рисунку 2.7. Метод резолюцій, як відомо, має той недолік, що він разом з корисними варіантами поєднань резольвент породжує багато варіантів, хибність яких відразу встановити не вдається. Для припинення його роботи в "неперспективних" напрямках існують спеціальні методи (наприклад, метод відсікань). Ми розглянемо спочатку "перспективну" гілку методу лінійної резолюції, що призводить до "успіху" (тобто порожньому кон'юнкту і тим самим до завершення складання усієї конструкції). Потім ми обговоримо можливі способи скорочення непотрібного перебору неперспективних поєднань.

Продовжимо гілку методу резолюцій що йде від формули (2.20) п. 4'):

$$5) \text{Пр}(x_2) \wedge \text{Ш}(x_1) \wedge \text{К}(x_3) \wedge \text{О}(x_4) \wedge \text{Дп}(\cdot) \wedge \text{S}(\cdot) \wedge \text{Отр} \wedge M_1^i(\cdot) \wedge M_2^i(\cdot) \quad (\text{з (2.8')});$$

$$6) \text{Пр}(x_2, y_1, y_2, y_3) \wedge \text{Ш}(x_1) \wedge \text{К}(x_3) \wedge \text{О}(x_4) \wedge \text{Дп}(\cdot) \wedge \text{S}(\cdot) \wedge \text{Отр} \wedge M_1^i(\cdot) \wedge M_2^i(\cdot) \\ (\text{з (2.10")}, \text{перший випадок});$$

$$7) \text{П}(x_2) \wedge \text{В}(y_1) \wedge \text{Кр}(y_2) \wedge \text{К}(y_3) \wedge \text{Дпр}(x_2, y_1, y_2, y_3) \wedge \text{S}(x_2, y_1, y_2, y_3) \wedge \text{Ш}(x_1) \\ \wedge \text{К}(x_3) \wedge \text{О}(x_4) \wedge \text{Дп}(\cdot) \wedge \text{S}(\cdot) \wedge \text{Отр} \wedge M_1^i(\cdot) \wedge M_2^i(\cdot) \quad (\text{з (2.10')}).$$

Тут (\cdot) означає (x_1, x_2, x_3, x_4) . У 5) предикат $\text{П}(x_1, \dots, x_4)$ "розшифровується" через предикати з одним аргументом $\text{Пр}(x_2)$, $\text{Ш}(x_1)$, $\text{К}(x_3)$, $\text{О}(x_4)$, що означають що до пластини повинні прилягати у відповідних точках відповідні деталі. Далі в 6) один з таких предикатів $\text{Пр}(x_2)$ розшифровується через $\text{Пр}(x_2, y_1, y_2, y_3)$, що означає, що в точці x_2 може прилягати прихват, причому правильну комбінацію дає той випадок, коли у прихвата "здійюється" перший аргумент. Далі в 7) предикат $\text{Пр}(x_2, y_1, y_2, y_3)$ розшифровується через одномісні $\text{П}(x_2)$, $\text{В}(y_1)$, $\text{Кр}(y_2)$, $\text{К}(y_3)$, що означають, що до прихвата у відповідних точках повинні прилягати відповідні деталі.

Одним з найбільш ефективних методів скорочення непотрібного перебору в нашому випадку служить перевірка спільності системи рівності і нерівностей виду (2.18) отримуваної кожного разу при додаванні нових предикатів $\text{Дп}(\cdot)$, $\text{S}(\cdot)$, Отр , $M_1^i(\cdot)$, $M_2^i(\cdot)$ у одну систему виду (2.18) і в цьому випадку можна вважати цю систему описуваною одним предикатом $M_5(x_1, x_2, x_3, x_4)$. Якщо наш алгоритм в процесі пошуку потрібної пластини вибрав предикат $\text{П}(x_1, x_2, x_3, x_4)$, що задає пластину з потрібною схемою сил кріплення (див. рис. 2.6,а), то система нерівностей, задана $\text{Дп}(x_1, x_2, x_3, x_4)$ повинна виявитися спільною з системами $M_1^i(\cdot)$, $M_2^i(\cdot)$, а також мають бути такі значення усіх сил, при яких сума сил і моментів, що задається $\text{S}(x_1, x_2, x_3, x_4)$ дорівнює нулю. Таким чином, при деяких дійсних x_1, x_2, x_3, x_4 (нагадаємо, що кожен x_i - це шість дійсних чисел) предикат $M_5(x_1, x_2, x_3, x_4)$ істинний.

Далі на кроці 7) алгоритму породжується система обмежень на розміри і сили для прихвата, що задаються предикатами $D_{пр}(x_2, y_1, y_2, y_3)$, $S(x_2, y_1, y_2, y_3)$. Тут y_1, y_2, y_3 - нові змінні, а x_2 - змінна та ж, що і для пластини, що означає стикування прихвата з пластиною в точці x_2 (з урахуванням як положення, так і сил), що додаються. Якщо, наприклад, з формули (2.10") узято друге визначення для $Pr(x_2)$ тобто

$$\forall x_2 \forall y_1 \forall y_2 \forall y_3 [Pr(x_2) \leq Pr(y_1, x_2, y_2, y_3)],$$

то буде виконуватися спроба підстановки прихвата до пластини другою точкою x_{2np} (див. рис. 2.7,б). В цьому випадку діапазон сил, що додаються до пластини в x_2 не співпадає з діапазоном сил для прихвата (ці діапазони передбачаються малими і "майже рівними" тій силі, яка додається зазвичай до пластини (прихвату) "базового" зразка в цій точці). Таким чином, в цьому випадку система, що задається $D_{пр}(x_2, y_1, y_2, y_3)$ виявиться неспільною з системою $M_5(x_1, x_2, x_3, x_4)$ і алгоритм повернеться назад і на наступному кроці випробувуватиме наступну можливість (тобто підстикування прихвата до пластини іншою точкою - x_{1np} чи x_{3np}).

У нашому випадку система рівності і нерівностей, що є об'єднанням систем, що задаються $M_5(x_1, x_2, x_3, x_4)$, $D_{пр}(x_2, y_1, y_2, y_3)$ і $S(x_2, y_1, y_2, y_3)$ повинна виявитися спільною (позначимо її через $M_7(x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3)$ - далі позначення цього виду використовуватимемо як для предиката так і для самої системи).

Далі алгоритм переходить до наступного кроку це може бути або підстикування наступної деталі до пластини, що відповідатиме "розшифровці" в кон'юнкції п. 7) одного з предикатів $Ш(x_1)$, $K(x_3)$, $O(x_4)$ (цей крок природніший і така послідовність роботи ефективніша); або підстановка наступної деталі до прихвата шляхом розшифровки $B(y_1)$, $Kp(y_2)$ чи $K(y_3)$ (така послідовність зазвичай якраз має місце на практиці в силу простішої реалізації за допомогою рекурсії).

Розглянемо, зокрема, підстикування клину до прихвата. В цьому випадку в 7) на першому кроці $K(y_3)$ замінюється на $K(z_1, y_3, z_2)$, причому діапазони сил, що задаються в (4) для клину, гарантують, що y_3 стоїть на потрібному місці (підстикування зроблене правильно). Одній зі своїх точок (x_1 на рис. 2.7,б) клин замикається на пластину, що виражається появою на кроці 9) одномісного предиката $\Pi(z_1)$:

$$9) \Pi(x_2) \wedge B(y_1) \wedge Kp(y_2) \wedge \Pi(z_1) \wedge Pr(y_3) \wedge Kp(z_2) \wedge Ш(x_1) \wedge K(x_3) \wedge \\ \wedge O(x_4) \wedge M_9(x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2).$$

Таким чином, в поточній резольвенті виникає "зворотний зв'язок". При розшифровці зворотний зв'язок, наприклад $\Pi(z_1)$, знову призводить до виникнення предиката $\Pi(v_1, v_2, z_1, v_3)$, задаючого пластину. Контроль діапазонів гарантує, що підстановка зроблена правильно. З формальної точки зору

відповідна формула зі вставленням замість $\Pi(z_1)$ предиката $\Pi(v_1, v_2, z_1, v_3)$ є правильною. Проте, другим ефективним обмеженням зайвого галуження методу резолюцій є збереження усіх предикатів, що описують усі вже задіяні деталі і при черговій розшифровці одномісних предикатів, використання передусім предикатів, що відповідають задіяним раніше деталям.

Так, наприклад, нехай на кроці 10) з'явився предикат $\Pi(v_1, v_2, z_1, v_3)$:

$$10) \Pi(x_2) \wedge \dots \wedge \Pi(v_1, v_2, z_1, v_3) \wedge \dots \wedge M_9(x_1, \dots, z_2). \quad (2.21)$$

Формально логічно можна вважати, що ця резольвента вставлена як один з кон'юнктив в початкову формулу (2.16"):

$$\begin{aligned} & \exists x_1 \dots \exists x_4 \exists y_1 \dots \exists y_3 \exists z_1 \dots \exists z_3 \exists v_1 \dots \exists v_3: \\ & ([D_1^1 \wedge \dots \wedge D_n^1] \wedge \dots \wedge [\Pi(x_2) \wedge \dots \wedge \Pi(v_1, v_2, z_1, v_3) \wedge \dots \wedge M_9(x_1, \dots, z_2)]). \end{aligned} \quad (2.22)$$

Тоді, разом з (2.21) у формулу (2.22) можна додати кон'юнкт

$$\Pi(x_2) \wedge \dots \wedge \Pi(v_1, v_2, z_1, v_3) \wedge \Pi(x_1, x_2, x_3, x_4) \wedge \dots \wedge M_9(x_1, \dots, z_2). \quad (2.23)$$

Отримана при цьому формула буде на будь-якій моделі істинна тоді і тільки тоді, коли істинна початкова формула (2.16"). У кон'юнкції ж (2.23) з урахуванням системи обмежень $M_9(x_1, \dots, z_2)$ можна провести уніфікацію, виключивши $\Pi(v_1, v_2, z_1, v_3)$ і залишивши $\Pi(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Таким чином, в загальному випадку при роботі методу ефективним способом усунення непотрібного галуження буде:

1) в першу чергу розшифровувати одномісні предикати зв'язку (типу $\Pi(z_1)$) за допомогою предикатів тих, що відповідають вже задіяним деталям (так, треба брати $\Pi(v_1, v_2, z_1, v_3)$, а не $\Pi_4(v_1, v_2, z_1, v_3)$, що відповідає цьому виду пластин);

2) якщо для розшифровки використаний вже задіяний раніше предикат, то новий предикат вже не вставляється в резольвенту і в цьому випадку відбувається просто видалення з резольвенти одномісного предиката (формула (2.21), наприклад має вигляд

$$\Pi(x_2) \wedge \dots \wedge M_9(x_1, \dots, z_2)).$$

В цілому видно, що поточна резольвента час від часу виявляється такою, що складається тільки з одномісних предикатів і предиката, задаючого систему обмежень. Число одномісних предикатів убуває в результаті описаної вище процедури "уніфікації" і зростає тільки при появі нової деталі. Третій спосіб усунення зайвого галуження і забезпечення кінцівки алгоритму (звичайний метод резолюції може працювати скільки завгодно довго) полягає в тому, що якщо з деякої функціональної групи узята деяка деталь (наприклад, прихват) і задіяний відповідний предикат, то нова деталь з цієї ж групи (наприклад, прихват іншої форми) не береться до тих пір, поки перша

не буде знехтувана, причому повторно деталі не використовуються. Таким чином, усілякі "химерні" конструкції з незвичайним поєднанням форм алгоритм опрацьовуватиме тільки до тих пір, поки не будуть перебрані усі функціональні групи (тобто в конструкції не виявиться по одному прихваті, по одній пластині і так далі). Якщо є повний набір деталей усіх функціональних груп, але алгоритм все ж не може завершити роботу (залишається незадіяним ряд зв'язків, що відповідають одномісним предикатам), то ця комбінація визнається такою, що не реалізовується і алгоритм переходить до наступної.

З урахуванням останнього доповнення до методу резолюцій видно, що кількість одномісних предикатів в поточній резольвенті убаватиме (чи вичерпуватиметься кінцевий список можливих комбінацій). Кінець кінцем, усі одномісні предикати - зв'язки виявляться задіяними (чи буде вичерпаний список усіх потенційно можливих комбінацій). Таким чином, видно, що якщо комбінація в принципі реалізовується, то запропонований метод, кінець кінцем, задіює усі предикати, що відповідають їй, задаючи кожну деталь. При цьому будуть задіяні у вигляді змінних координати усіх точок і проєкції усіх сил в цих точках. Рішення системи обмежень $M_n(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots, z_1, z_2, \dots)$, яка повинна виявитися спільною на останньому кроці дає можливі значення усіх координат і усіх сил взаємодії деталей. Таким чином, конструкція буде побудована.

Невеликі діапазони, що задаються для розмірів деталей (а саме для відстаней і взаємного розташування точок контакту) роблять дані деталі як би "гумовими", тобто вони можуть дещо змінюватися в розмірах в тих межах, в яких дозволяє їх функціональне призначення і передбачувана форма. В результаті для збіраної конструкції замість прихвата, наприклад, зображеного на рисунку 2.7,а, може бути задіяний прихват, зображений на рисунку 2.8 дещо іншої форми. У нинішній момент форма задіяного прихвата визначається тим, що він повинен зістикуватися з усіма вже використаними деталями. Зрештою форма конструкції, що синтезується, і використовувані деталі можуть варіюватися в тих межах, в яких це задано початковим функціональним призначенням (в розглянутому прикладі схемою сил закріплення на рис. 2.6а і трикутною формою пластини). Нагадаємо, що якщо конструкція в принципі реалізовується (з урахуванням додаткового зв'язку внаслідок деякої рухливості розмірів), то вона неодмінно буде побудована алгоритмом за кінцеве число кроків (верхня оцінка залежить від числа введених для аналізу деталей-предикатів).

Висновки за розділом

Структурний синтез – одне з найважливіших завдань в проектуванні технічних систем і процесів, яке, зазвичай, виконується на стадії попереднього проектування. До завдань структурного синтезу належать як

простий вибір вже існуючого технічного рішення з масиву існуючих, так і складні методики синтезу, що вимагають значних кваліфікованих зусиль.

Формалізація завдання структурного синтезу – важлива умова створення повнофункціональних САПР.

Для отримання працездатного варіанту технічної системи потрібно урахування значної кількості додаткових обмежень, які накладаються на елементи і об'єкти. Актуальним є завдання розробки моделі структурного синтезу, яка дозволяє врахувати додаткову інформацію про сполучуваність об'єктів у складі одного рішення.

Одним з широко вживаних комбінаторних методів оцінки існуючих і пошуку нових рішень є морфологічний синтез. Метод дозволяє знайти і систематизувати усі можливі структури об'єкту з необхідним функціональним призначенням. Метод морфологічного синтезу добре піддається формалізації, що дозволяє використати його при автоматизованому проектуванні. Варіантом використання методу морфологічного синтезу є алгоритми пошуку оптимальних структурних схем технічних рішень по заданим експертним оцінкам даних ознак.

Представлено структурну схему програмно-методичного комплексу проектування варіантів конструкцій збірних твердосплавних інструментів на основі функціональних образів, отриманих в результаті синтезу, і оцінювання їх напруженого стану. При цьому структура металорізального інструменту, як технічного об'єкту визначається деякою реалізацією альтернатив для усіх ознак.

Завдання синтезу конструкції за функціональною схемою інструменту пропонується вирішувати за допомогою методу лінійної резолюції. Докладно розглянуто процес синтезу конструкції вузла кріплення для збірних різців.

РОЗДІЛ 3

ГРАФОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

3.1 Завдання розробки графової моделі відмов інструменту і устаткування та відновлення їх працездатності

Структурні моделі потоків подій у вигляді графів ефективно можуть бути використані для опису процесів механобробки. Обмежуючою умовою тут є те, що потоки подій передбачаються пуасонівськими [93]. За допомогою цих потоків, що виникли спочатку при розгляді завдань обслуговування телефонних викликів, можна моделювати процеси відмов складових технологічної системи - верстата і інструменту, а також їх усунення (ремонт або обслуговування). Зокрема, цьому присвячена робота [94]. У ній припущення про те, що потоки являються пуасонівськими, дозволило використати математичний апарат марківських процесів і за допомогою системи рівнянь Колмогорова розрахувати граничні вірогідність перебування системи в кожному з станів.

Проте, за останні роки зібраний досить великий експериментальний матеріал по розподілу часу перебування технологічної системи в тому або іншому стані від однієї поломки (зносу) інструменту до іншої, і часу обслуговування (заточування інструменту або підналадки верстата) [95; 96]. Тут показано, що характер розподілу може бути будь-яким і тільки іноді пуасонівським.

Розгляд таких потоків, що називаються процесами відновлення, вимагає застосування досить складного математичного апарату. На відміну від пуасонівських потоків процеси відновлення мало досліджені [97] і ще в меншій мірі досліджені складні завдання взаємодії цих потоків і включення в загальніші системи масового обслуговування (зокрема, системи типу G/G/M згідно поширеної класифікації [98]).

Розглянемо індивідуалізовану графову потокову модель. Процесом відновлення називається потік подій, для якого заданий розподіл часу τ_i між $(i-1)$ -ою подією і i -ою. Так можна розглядати, наприклад, потік подій - виходу з ладу різального інструменту при механобробці. Тоді час роботи інструменту зазвичай передбачається розподіленним за деяким законом і його математичне очікування може бути визначене як період стійкості.

Нехай заданий граф, вершинами якого є стани A_1, \dots, A_n , а дугами - можливі переходи з одного стану в інший.

У кожному стані A_i протікає процес відновлення, для якого заданий розподіл часу $\rho_i(\tau)$ перебування в цьому стані у вигляді щільності вірогідності. Позначимо $M[\tau_i]$ - математичне очікування розподілу $\rho_i(\tau)$. Потім система переходить в якийсь інший стан.

Фрагмент графової потокової моделі наводиться на рисунку 3.1. Тут A_{Sj} ($j=1, \dots, m$) – підмножина станів, безпосередньо передуючих настанню стану A_i , A_{Kp} ($p=1, \dots, q$) – підмножина станів в які може перейти A_i .

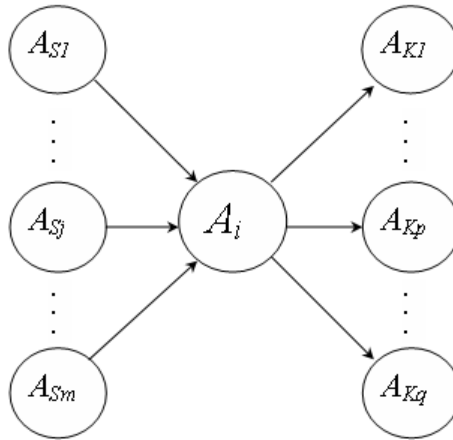


Рисунок 3.1 – Фрагмент графової моделі переходів між станами

Не обмежуючи спільності можна вважати модель циклічною, тобто, якщо система працює достатньо довго, то вона багаторазово проходить через будь-які із станів A_i . При цьому істотно, що якщо система знову повертається в стан A_i , то потік поновлюється і триває, начебто він не уривався. Якщо процес механобробки був перерваний, наприклад, для підналадки, а після неї знову був продовжений, то при розрахунку часу роботи інструменту і устаткування можна умовно вважати, що процес не уривався. Таким чином, нехай є потік однорідних подій і заданий розподіл часу τ_i від $(i-1)$ -ої до i -ої події ($i=1,2,\dots$), причому випадкові величини τ_i і τ_j при $\tau_i \neq \tau_j$ передбачаються незалежними.

Визначимо випадкову величину v_{it} - число перебувань системи у стані A_i за час t . Відповідно, $M[v_{it}]$ – математичне очікування. Для будь-якого скільки завгодно малого $\varepsilon > 0$, має місце:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P\left(\left|\frac{M[v_{it}]}{t} - \frac{1}{M[\tau_i]}\right| < \varepsilon\right) = 1. \quad (3.1)$$

Розгорнутий доказ твердження приведений в роботі [7]. При досить великому значенні часу t формулу (3.1) в графовій моделі процесу механобробки можна представити у вигляді:

$$M[\tau_i] \cdot M[v_{it}] \approx t. \quad (3.2)$$

Називатимемо інтенсивністю події A_i середнє число його настань в одиницю часу. Тоді інтенсивність λ_i на основі (3.1) і (3.2) логічно записати так

$$\lambda_i = \frac{1}{M[\tau_i]}. \quad (3.3)$$

В силу циклічності графової моделі при досить великому t кількість входів у будь-який із станів A_i , дорівнює кількості виходів з цього стану. Позначимо через T_i сумарний час перебування у стані A_i при досить великому часі функціонування моделі T_0 . Тоді:

$$T_0 = \sum_{i=1}^n T_i. \quad (3.4)$$

У загальному випадку, в кожному із станів A_i протікає декілька процесів відновлення (рис. 3.2а), кожен з яких характеризується деяким розподілом часу між подіями $\rho_{ip}(\tau)$, ($p=1, \dots, q_i$). Коли відбувається одна з подій B_{ip} , то система переходить в стан A_K . Тут протікають інші n_K процесів (рис. 3.2б), які можуть задаватися, в окремому випадку, вимірною щільністю $\rho_{Kp}(\tau)$, ($p=1, \dots, q_K$).

Як вже було відмічене, розподіл часів між подіями в технологічній системі не завжди є показовим [95]. Зокрема, для експлуатації різального інструменту це стосується як часу до критичного зносу, так і часу обслуговування. У роботі [96] проведений аналіз характеру розподілу часу на заміну ножів і пластин ряду конструкцій торцевих фрез. Залежно від конструктивних особливостей характер розподілів був логарифмічно-нормальним, Вейбула-Гнеденко і нормальним.

Час T_i можна розбити на фрагменти, кожен з яких є частина часу, коли система знаходилася в стані A_i , переходячи з нього в подальші стани A_{Kp} , тобто

$$T_i \sum_{p=1}^{q_i} \frac{1}{M[\tau_{Kip}]}. \quad (3.5)$$

З іншого боку, з урахуванням інтенсивностей переходів в стан A_i з передуючих A_{Sj} :

$$\sum_{j=1}^{m_i} \frac{T_{Sj}}{M[\tau_{Sji}]}. \quad (3.6)$$

Таким чином, при досить тривалому функціонуванні графової моделі механобробки, оцінки часу перебування її в кожному із станів, отримаємо лінійну систему рівнянь :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n T_i = T_0, \\ T_i \sum_{p=1}^{q_i} \frac{1}{M[\tau_{Kip}]} = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{T_{Sj}}{M[\tau_{Sji}]} \end{cases} \quad (3.7)$$

для кожного із станів $i=1, \dots, n$.

Система рівнянь(3.7) узагальнює систему граничних станів Колмогорова на випадок, коли знімається обмеження на те, що потоки подій пуасонівські.

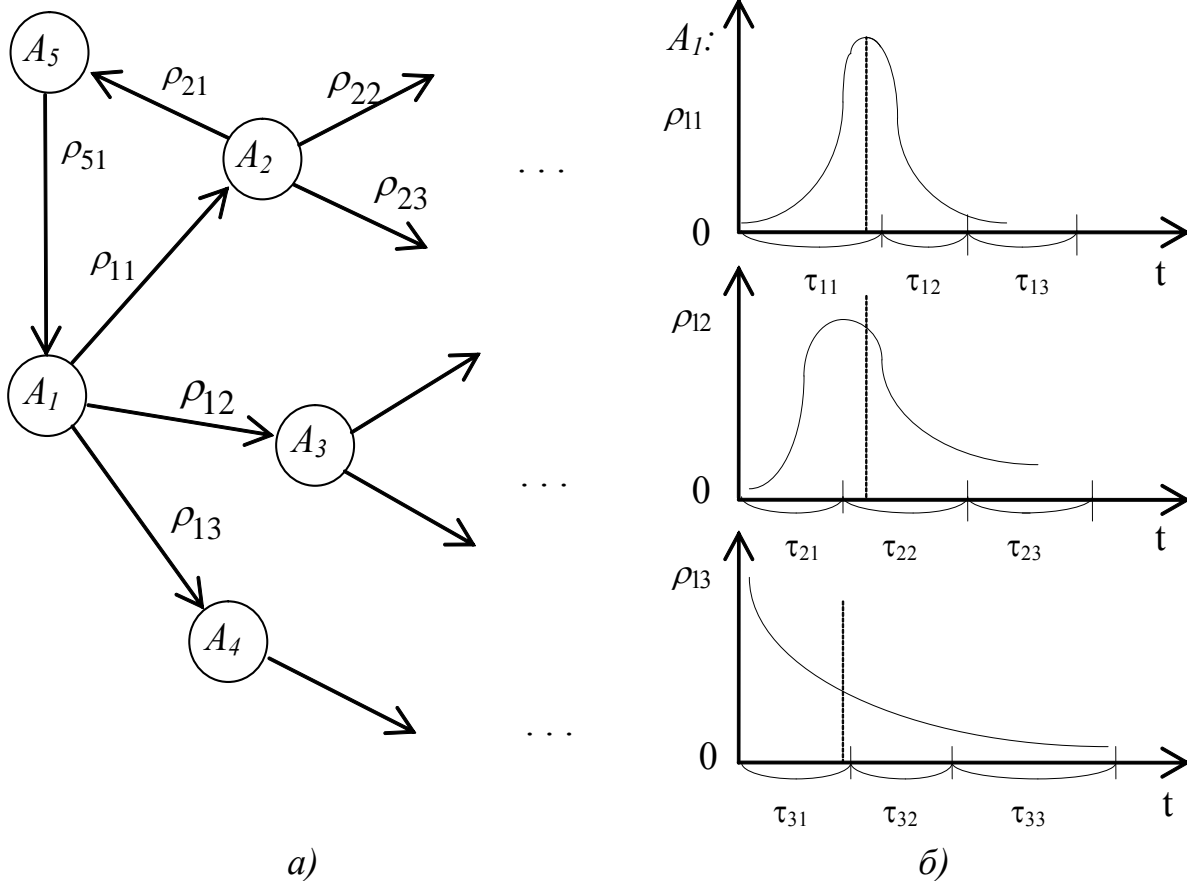


Рисунок 3.2 Графова модель переходів між станами:
 а) загальний вигляд моделі;
 б) щільність вірогідності переходів із стану A_1

Характерним для механообробки, являється одночасність протікання ряду процесів. Виходячи з цього, не обмежуючи спільності, можна побудувати іншу графову модель, включивши в неї не досліджені раніше процеси, оцінивши, таким чином, граничні часи їх протікання.

Для практичної оцінки часу перебування технологічної системи в i -ому стані з використанням системи (3.7) досить задати час перебування системи в одному із станів TS або загальний час роботи системи T_0 . Звідси можна знайти і інші часи $T_i, i = 1, \dots, m (i \neq j)$.

Далі можна визначити дисперсію цих часів по формулі [99]:

$$DT_i = T_i \sum_{p=1}^{q_i} \frac{D\tau_{Kip}}{M[\tau_{Kip}]} . \quad (3.8)$$

Вважатимемо, що часи τ_{ije} задані щільністю розподілу вірогідності $\rho_{ij}(\tau)$.

Якщо задати необхідний час перебування системи у стані A_1 (процес різання) для обробки партії деталей T_1 , то інші часи T_2, \dots, T_8 можуть бути розраховані з рівнянь системи (3.7).

Дисперсія часів $T_i, i=2, \dots, n$ може бути оцінена по формулі(3.8). Загальна ж дисперсія усього часу обробки партії деталей:

$$DT_0 = \sum_{i=2}^n DT_i . \quad (3.9)$$

Таким чином, розглянута методика дозволяє не лише розрахувати середні часи протікання різних процесів і загальний сумарний час T_0 для процесів відновлення загального вигляду, але і отримати оцінку дисперсії сумарного часу обробки DT_0 за умови різних дисперсій і законів для часів різних процесів.

3.2 Ймовірностно-статистичний розрахунок часу відновлення в умовах графової моделі

Як приклад розглянемо завдання побудови графової моделі роботи і обслуговування універсального металорізального верстата. Увесь час впродовж зміни або декількох змін підряд розбивається на час різання і час обслуговування. Впродовж часу різання одночасно відбувається ряд різних процесів рисунок 3.3:

1) процес старіння і зносу інструменту, який можна характеризувати часом роботи $\tau_{12e}, e = 1, 2, \dots$ інструменту до відмови;

2) процес появи поломок і несприятливих режимів у верстаті, включаючи сюди можливість появи несприятливої форми стружки і тому подібне. Можна характеризувати цей процес часом роботи $\tau_{13e}, e = 1, 2, \dots$ до появи наступної необхідності зупинки процесу різання і підналадки системи;

3) процес появи необхідності зміни або перевстановлення деталі, який характеризуватимемо часом τ_{14e} , $e = 1, 2, \dots$ від однієї установки до іншої;

4) процес накопичення втоми робітника, який характеризуватимемо часом τ_{15e} , $e = 1, 2, \dots$ від одного відпочинку робітника до іншого (при цьому розподіл часу такий, що враховується тільки навантаження від самого(безперервного) процесу різання).

Процеси п. 1-4 протікають одночасно впродовж процесу різання, який можна вважати першим станом A_1 .

Після того, як відбувається подія процесів 1, 2, 3 або 4 система переходить відповідно в стани A_2 , A_3 , A_4 и A_5 .

В стані A_2 протікає два процеси:

1) процес обслуговування інструменту. Цей процес характеризується часом τ_{21e} , $e = 1, 2, \dots$ після якого система повертається в стан A_1 , тобто процес різання поновлюється.

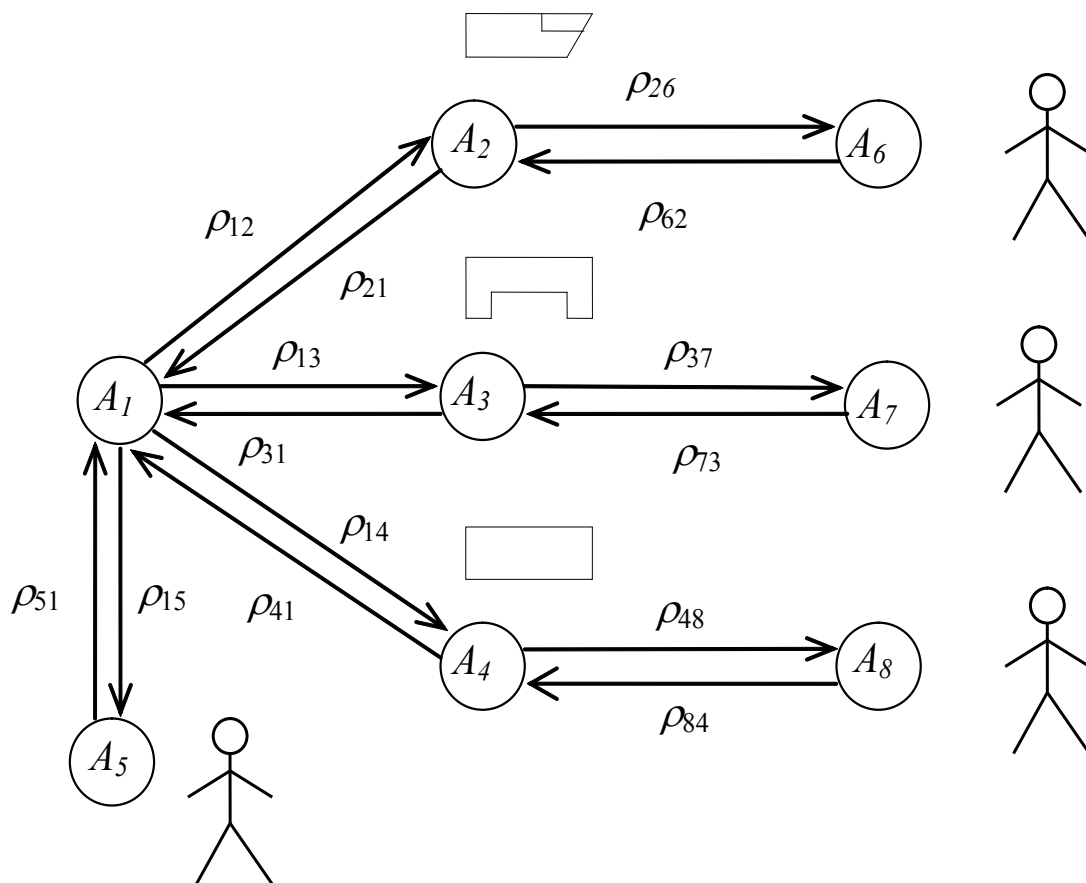


Рисунок 3.3 – Графова модель роботи і обслуговування металорізального верстату

2) процес підвищеного накопичення втоми робітника, який характеризується часом $\tau_{26e}, e=1,2,\dots$ від одного відпочинку робітника до іншого, якби він був безперервно зайнятий обслуговуванням інструменту. Якщо відбувається подія цього процесу, то система переходить в стан A_6 відпочинку робітника. Відмітимо, що при цьому втома, накопичена робітником в процесі різання і в процесі заточування, враховується окремо впродовж часів t_1, t_2 перебування системи відповідно в станах A_1, A_2 .

У станах A_3 і A_4 також відбуваються одночасно по два процеси:

1) процес підналагодження верстату (для A_3) чи встановлення деталі (для A_4), що характеризується часом $\tau_{31e}, e=1,2,\dots$, або $\tau_{41e}, e=1,2,\dots$, відповідно, після яких система повертається в стан A_1 , тобто процес різання поновлюється;

2) процес накопичення втоми робітника, який характеризуються різною інтенсивністю при підналагодженні і при установці деталі і відповідно визначається часом $\tau_{37e}, e=1,2,\dots$, або $\tau_{48e}, e=1,2,\dots$.

У станах відпочинку робітника A_5, A_6, A_7, A_8 відбувається один процес, який характеризується часом відпочинку відповідно $\tau_{51e}, \tau_{62e}, \tau_{73e}, \tau_{84e}, e=1,2,\dots$, після яких система повертається відповідно в стани A_1, A_2, A_3, A_4 , у яких відповідний процес різання або обслуговування поновлюється.

Далі розглянемо приклад з числовими значеннями. Припустимо, що математичні очікування часів $\tau_{ij e}$ і їх коефіцієнти варіації такі, як це вказано в таблиці 3.1 (у хвиликах).

Таблиця 3.1 - Часові характеристики процесів, що відбуваються

	τ_{12e}	τ_{13e}	τ_{14e}	τ_{15e}	τ_{21e}	τ_{31e}	τ_{41e}	τ_{51e}	τ_{62e}	τ_{73e}	τ_{84e}	τ_{26e}	τ_{37e}	τ_{48e}
$M\tau_1$	40	50	60	90	10	5	20		10			20	20	30
$\frac{\sqrt{D\tau_1}}{M\tau_1}$	0.3	0.4	0.1	0.3	0.2	0.5	0.2		0.3			0.2	0.2	0.2

Нехай необхідний час перебування системи у стані A_1 (процес різання) для обробки партії деталей з 100 штук $T_1 = 100 \cdot 60 = 6000$ хв. Тоді інші значення часу T_2, \dots, T_8 можуть бути розраховані виходячи з (3.7):

$$T_2 = \left(\frac{6000}{40} + \frac{T_6}{10} \right) / \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{20} \right); \quad (3.10a)$$

$$T_3 = \left(\frac{6000}{50} + \frac{T_7}{10} \right) / \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{20} \right); \quad (3.10б)$$

$$T_4 = \left(\frac{6000}{60} + \frac{T_8}{10} \right) / \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{30} \right); \quad (3.10в)$$

$$T_5 = \frac{6000}{90} / \frac{1}{10}; \quad (3.10г)$$

$$T_6 = \frac{T_2}{20} / \frac{1}{10}; \quad (3.10д)$$

$$T_7 = \frac{T_3}{20} / \frac{1}{10}; \quad (3.10е)$$

$$T_8 = \frac{T_4}{30} / \frac{1}{10}. \quad (3.10ж)$$

Підставляючи (3.10д)-(3.10ж) в (3.10а)-(3.10в) знаходимо часи T_2, \dots, T_8 представлені в таблиці 3.2. Сумарний час необхідний на обробку усієї партії деталей

$$T_0 = \sum_{i=1}^8 T_i = 10458.33.$$

Дисперсія часів T_i , $i=2, \dots, 8$ може бути оцінена по формулі (3.8) (див. таблицю 3.2):

$$DT_2 = T_2 \left(\frac{(0.2 \cdot 10)^2}{10} + \frac{(0.2 \cdot 20)^2}{20} \right) = T_2 (0.2^2 \cdot 10 + 0.2^2 \cdot 20);$$

$$DT_3 = T_3 (0.5^2 \cdot 5 + 0.2^2 \cdot 20);$$

$$DT_4 = T_4 (0.2^2 \cdot 20 + 0.2^2 \cdot 30);$$

$$DT_5 = T_5 \cdot 0.3^2 \cdot 10;$$

$$DT_6 = T_6 \cdot 0.3^2 \cdot 10;$$

$$DT_7 = T_7 \cdot 0.3^2 \cdot 10;$$

$$DT_8 = T_8 \cdot 0.3^2 \cdot 10;$$

Таблиця 3.2 - Дисперсія часів T_i , $i=2, \dots, 8$

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_0
T_i	6000	150	600	2000	666.7	75	300	666.7	10458.3
DT_i	0	180	1230	4000	600	67.5	270	600	6947.5

Загальна дисперсія усього часу обробки партії деталей може бути визначена за формулою (3.9)

$$DT_0 = \sum_{i=2}^8 DT_i = 6947.5.$$

Коефіцієнт варіації часу обробки

$$\sqrt{DT_0}/T_0 = 0.0147.$$

По порядку величина коефіцієнта варіації часу обробки партії деталей менша, ніж початкові коефіцієнти (див. таблицю. 3.1). У цьому проявляється та ж тенденція, що і в законі великих чисел: відносний розкид часу обробки досить великої партії деталей виявляється невеликим.

Таким чином, ця методика дозволяє не лише розрахувати середні часи протікання різних процесів і загальний сумарний час T_0 для процесів відновлення загального вигляду, але і отримати оцінку дисперсії сумарного часу обробки DT_0 за умови різних дисперсій і законів для часів різних процесів. У цьому полягає її головна перевага перед методикою розрахунку пуасонівських процесів, використовуваною, зокрема, в [94].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВАЛ

4.1 Опис технологічної системи моделлю системи масового обслуговування

4.1.1 Параметри технологічної системи як одноканальної системи масового обслуговування з пріоритетами

Процес роботи досліджуваної системи являє собою випадковий процес із дискретними станами і безперервним часом. Стани системи міняються стрибком у моменти появи подій, наприклад, прихід заявки на обслуговування супорта, закінчення обслуговування інструмента. Для обліку випадкових елементів у математичній моделі використовуємо безперервно-імовірнісну модель. Для досліджуваної технологічної системи характерна наявність потоку багатьох заявок на виконання певних операцій, наявність багаторазово повторюваних операцій. Тому у якості концептуальної моделі для аналізованої ТС прийнята модель системи масового обслуговування.

У термінах цієї теорії наша технологічна система описується як система масового обслуговування (СМО), що складається з $L \geq 1$ взаємозалежних і взаємодіючих елементів-приладів обслуговування (каналів) Π_1, \dots, Π_L . Досліджувана ТС являє собою одноканальну систему, у якій приладом обслуговування є робітник.

Прилад обслуговування складається з накопичувача заявок H_i , у якому можуть одночасно перебувати l_i заявок ($0 \leq l_i \leq m_i$) і каналу K_i обслуговування заявок. На кожний елемент приладу Π_i надходять потоки подій: у накопичувач H_i – потік заявок, на канал K_i – потік «обслуговувань». Заявки, обслужені каналом K_i і заявки, що покинули прилад Π_i необслуженими, утворюють вихідний потік. Цей потік є вихідним сигналом СМО.

Таким чином, усяка СМО призначена для обслуговування якогось потоку заявок у якісь випадкові моменти часу. Джерелами заявок у досліджуваної СМО є: верстат, інструмент, деталь. Обслуговування заявки триває випадковий час $T_{об}$, після чого канал (робітник) вивільняється і готовий до прийому наступної заявки. Випадковий характер потоку заявок і часу обслуговування приводить до того, що в якісь періоди часу на вході СМО накопичується велика кількість заявок. В інші ж періоди СМО буде працювати з недовантаженням або взагалі простоювати. У нашій системі заявка, що прийшла в момент, коли канал зайнятий, не покидає ТС, а стає в чергу і чекає обслуговування. Наприклад, черга виникає, коли робітник робить контроль розміру деталі на ходу і з'являється необхідність видалення зливної стружки із зони різання.

Для встановлення порядку вилучення з черги заявок встановлювалась «дисципліна обслуговування». У досліджуваній системі заявки можуть обслуговуватися або в порядку надходження, або з пріоритетом, тобто деякі заявки обслуговуються позачергово. Наприклад, заявки з пріоритетом – це зміна інструмента внаслідок відмови, налаштування на перехід.

Крім цих ознак, для аналізованої СМО характерно, що якщо верстат зупинений, то вимоги джерелами взагалі не виробляються. Це пов'язане з функціональним призначенням системи – вона призначена для одержання деталі шляхом обробки різанням, що можливо тільки при працюючому верстаті і складові ТС (верстат, інструмент) функціонують тільки при включеному верстаті.

Математичний аналіз роботи СМО спрощується і доводиться до аналітичних формул, якщо процес, що протікає в системі – марківський. Для цього потрібно, щоб всі потоки подій, що переводять систему із стану в стан були найпростішими, тобто мали властивості ординарності, відсутності післядії, стаціонарності.

Розглянемо властивості потоків подій для досліджуваної СМО. З деяким наближенням вони мають властивість ординарності, тому що одночасна поява подій спостерігалась рідко. Однак потоки в розглянутої ТС мають післядію і внаслідок цього, нестаціонарні. Післядія по-перше, обумовлена залежністю ймовірності відмови елементів системи (верстата, інструмента) від того, скільки часу вони вже проробили і коли був останній ремонт. По-друге, ймовірність появи ряду подій залежить від стадії обробки деталі (чистова, чорнова) і її конфігурації. Таким чином, післядія приводить до залежності ймовірнісних характеристик системи від часу, а значить до нестаціонарності потоків заявок.

Отже, потоки подій у досліджуваної СМО не є найпростішими і процес, що протікає в системі не марківський. Однак апарат марківської теорії масового обслуговування може використовуватися для моделювання деякого граничного випадку обробки: низькі кваліфікація верстатника і організаційно-технічна культура виробництва, низька якість інструмента і високе навантаження на нього, що викликає тільки поломки, що забезпечує відсутність післядії.

Значення необхідних характеристик для даної СМО визначалися в ході імітаційного експерименту на ПК для чого була створена модель, що дозволяє імітувати поведінку складових частин системи і зв'язки між ними протягом заданого часу моделювання.

4.1.2 Концептуальна модель технологічної системи

Основним змістом етапу складання концептуальної моделі є вибір способу формалізації досліджуваної ТС для чого була виконана наступна послідовність робіт:

- проведено декомпозицію системи;
- обрано параметри і змінні;
- вибрані критерії ефективності функціонування ТС;
- апроксимовані реальні процеси математичними виразами;
- задано вихідну інформацію;
- встановлено структуру моделі.

Всі методології аналізу базуються на ряді загальних принципів. При аналізі даної системи як базові принципи використовуються принципи поділу і ієрархічного упорядкування.

Для цілей моделювання системи використовувалися три групи засобів, що ілюстрували функції, які система повинна виконувати, відносини між даними, поведження системи, що залежить від часу. Для цього використовувалися контекстна діаграма, діаграма класів і діаграма станів.

Моделювання системи найбільш узагальнено відбито на контекстній діаграмі (рис.4.1). Тут показані потоки даних між системою і зовнішніми сутностями: інструментальне господарство, заготівельне виробництво, ВТК. Вона ідентифікує ці зовнішні сутності, а також єдиний процес (обробити деталь), що відбиває природу системи.

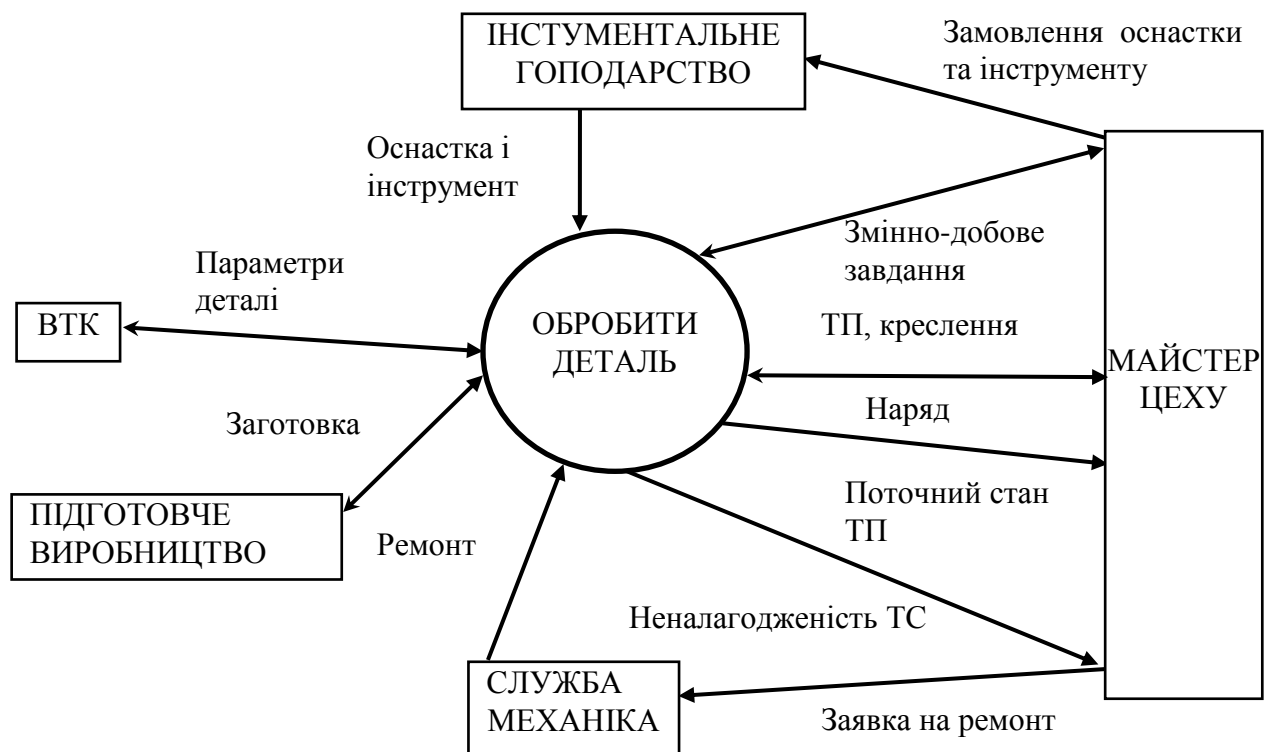
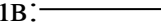
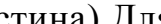


Рисунок 4.1 – Контекстна діаграма функціонування ТС

Логічний каркас системи представлений у вигляді діаграми, показуючи основні сутності і їхні відносини. Це один з типів діаграм, що становлять статичну модель системи в термінах об'єктного підходу. Розділимо систему, вибравши як критерій декомпозиції приналежність її елементів до різних абстракцій даної проблемної області: «технологічна система», «устаткування», «технологічне оснащення» (рис. 4.2), які виступають як ім'я класу.

Атрибути використовуються для вираження окремих властивостей класу. Так, наприклад, для класу «Устаткування» (токарські верстати) атрибутами є: модель верстата, найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною, кількість супортів, тому що саме ці властивості значимі при розгляді верстата як джерела заявок на обслуговування.

Класи забезпечені операціями. Операція це певний вплив одного об'єкта на іншій з метою викликати певну реакцію. Поводження об'єкта визначається виконуваними над ним операціями і його станом. Наприклад, для класу «Технологічне оснащення» операціями будуть створення заявок для класу «Верстатник», наприклад, відмова різця у вигляді поломки або зношування. Робітник при цьому із стану очікування або контролю переходить у стан зайнятості і міняє інструмент. Система реалізується тільки в процесі взаємодії об'єктів. Об'єкт співробітничав з іншими об'єктами через зв'язки, що з'єднують його з ними.

Типи зв'язків для цієї діаграми класів:  - використання (клієнт/сервер),  - агрегація (ціле/частина). Для опису динамічного поведіння системи і побудови діаграми станів продовжимо аналіз моделі, представивши опис можливих сценаріїв, що протікають при виконанні технологічного процесу.

Корисні функції ТС проявляються тільки в процесі різання, коли відбувається формоутворення деталі, визначаються її розміри, точність, якість поверхневого шару. Однак, відповідно до принципів системного підходу для забезпечення найбільшої ефективності робіт із проектування ТС або поліпшенню її експлуатації, аналіз варто проводити з обліком не тільки різання, але процесу обробки в цілому, включаючи працю верстатника.

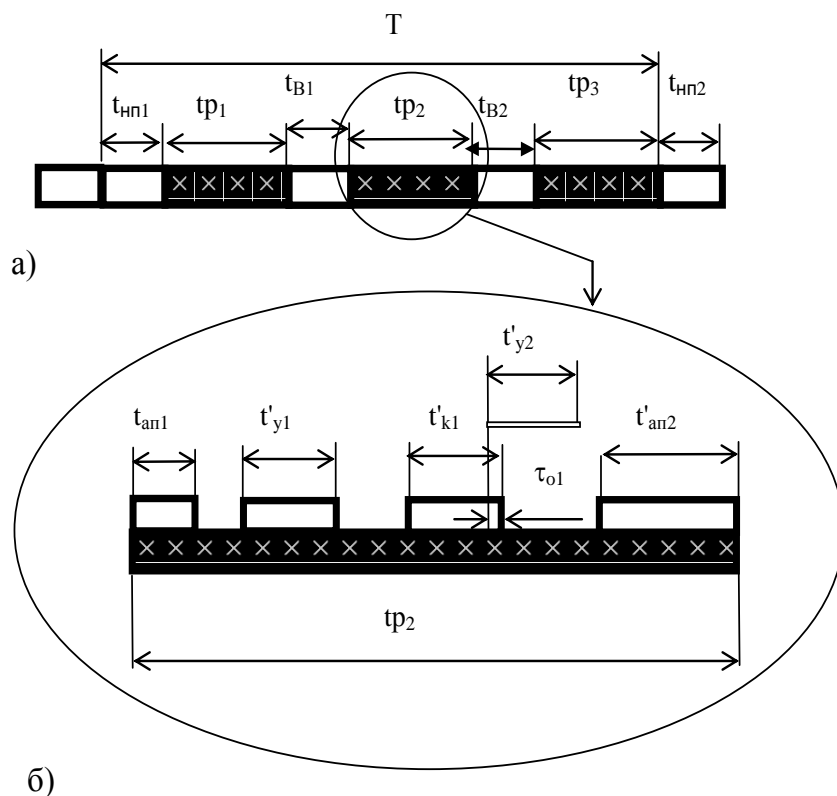
У процесі обробки деталей різання чергується із трудовими прийомами або їхніми комплексами, які можна вважати роботами по відбудові ТС. Крім того, під час різання верстатник також виконує деякі прийоми – роботи з обслуговування ТС. Для прикладу взятий типовий випадок обточування валка робітника, коли за один перехід тривалістю T , хв мають місце приблизно 3 періоди стійкості.

Розглянемо спочатку зміну станів різання і відновлення супортів (рис. 4.3). Відзначимо, що зупинки різання можуть бути пов'язані із закінченням роботи (закінченням переходу, операції) або відмовою ТС; вони можуть бути тривалими (після закінчення операції, при ремонті верстата) і короткочасними (після закінчення переходу або відмови

інструмента). Тривале відновлення відбувається рідко - у нашому випадку: зміна деталей у середньому через 22 години, неплановий ремонт верстата через 47 днів.



Рисунок 4.2 – Діаграма сутностей рівня концептуальної моделі



а - стану різання і відновлення; б - стану різання й різання з обслуговуванням: t_{pi} – час різання, T – час переходу, t_{Hni} – час налаштування на перехід, t_{Bi} – час зміни інструмента, t_{ani} – час активного спостереження й прийняття рішень, t_{yi} – час збирання стружки, τ_{o1} – час перебування в черзі, t_{ki} – час контролю за процесом обробки
Рисунок 4.3 – Процес механообробки в термінах потоку подій

Година переходу T складається із почергово часу різання і часу відновлення, причому виробляється комплекс прийомів, пов'язаних із заміною інструмента після його відмови (час – t_B) і, рідше, пов'язаних з налаштуванням супортів на новий прохід (час – t_{Hn}). Тому час різання t_p частіше дорівнює стійкості і рідше – залишковому часу до закінчення переходу.

Розглянемо зміну станів різання і різання з обслуговуванням супортів. У процесі різання верстатник виконує ряд робіт. Так, у наведеному на рисунку (рис. 4.3.б) прикладі він із самого початку різання веде спостереження за інструментом і приймає рішення, чи можна вести обробку на обраних режимах (час t'_{an1}). Через якийсь час він забирає стружку із зони різання (час t'_{y1}) і ще через якийсь час – контролює деталь на ходу верстата і вирішує, чи немає небезпеки втрати заданої точності (час t'_{k1}). До закінчення контролю з'являється необхідність збирання стружки, але робітник ризикує і у продовж часу t'_{y2} збирання стружки «чекає своєї черги». Наприкінці різання верстатник веде спостереження і вирішує, коли потрібно зняти

інструмент (час $t'_{ан2}$). Звичайно робітник намагається так підібрати режими різання, а значить і тривалість роботи інструмента до відмови, щоб інтенсивність потоку заявок не була занадто велика, не утворювалася черга і залишався час для прийняття рішень.

Після виявлення головних сценаріїв розроблялася діаграма станів (рис. 4.4). За допомогою цієї діаграми можна моделювати наступне функціонування системи на основі її попереднього і поточного функціонування. Система, що потребує моделювання в будь-який заданий момент часу, перебуває точно в одному з кінцевої множини станів. Стан розглядається як умова стійкості для системи. Перебуваючи в певному стані ми маємо досить інформації про минулу історію системи, щоб визначити черговий стан залежно від поточних вхідних подій. З початкової стану процес переходить у стан «Відновлення». Цей перехід має мітку / «одержати завдання». Синтаксис мітки складається із трьох частин (необов'язкових): Подія [Сторожова умова] / Дія. Сторожова умова – це логічна умова, яку може приймати одне зі значень «істина або «неправда». Якщо мітка переходу містить тільки сторожову умову, то перехід відбудеться, як тільки завершиться діяльність асоційована з даним станом. У нашому випадку мітка складається тільки з дії «одержати завдання». Отже, після виконання цієї дії система потрапила в стан «Відновлення». Із цим станом асоціюється деяка діяльність, що позначається міткою з наступним синтаксисом: виконати/діяльність, діяльність називається «налагодження 1, 2 супортів». З стану «Відновлення» можливі два переходи в стани: «Відновлення 1-го супорта, робота 2-го» і «Відновлення 2-го супорта, робота 1-го». Мітка кожного з них вмикає тільки одну подію відповідно «Відновлений 2-й супорт», «Відновлений 1-й супорт». Це означає, що кожний перехід відбудеться тільки після настання даної події. На підставі аналогічних міркувань будемо інші стани і переходи.

Визначимо вхідні і вихідні змінні, параметри системи. Розглянута ТС у термінах СМО, складається з одного приладу обслуговування (рис. 4.5), що включає накопичувач заявок H и канал K обслуговування заявок.

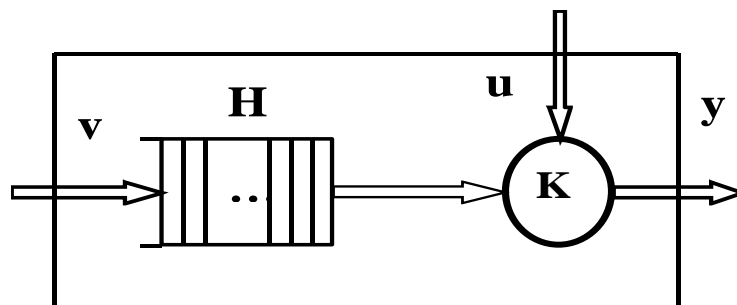


Рисунок 4.5 – Одноканальна система масового обслуговування в термінах Q -схем

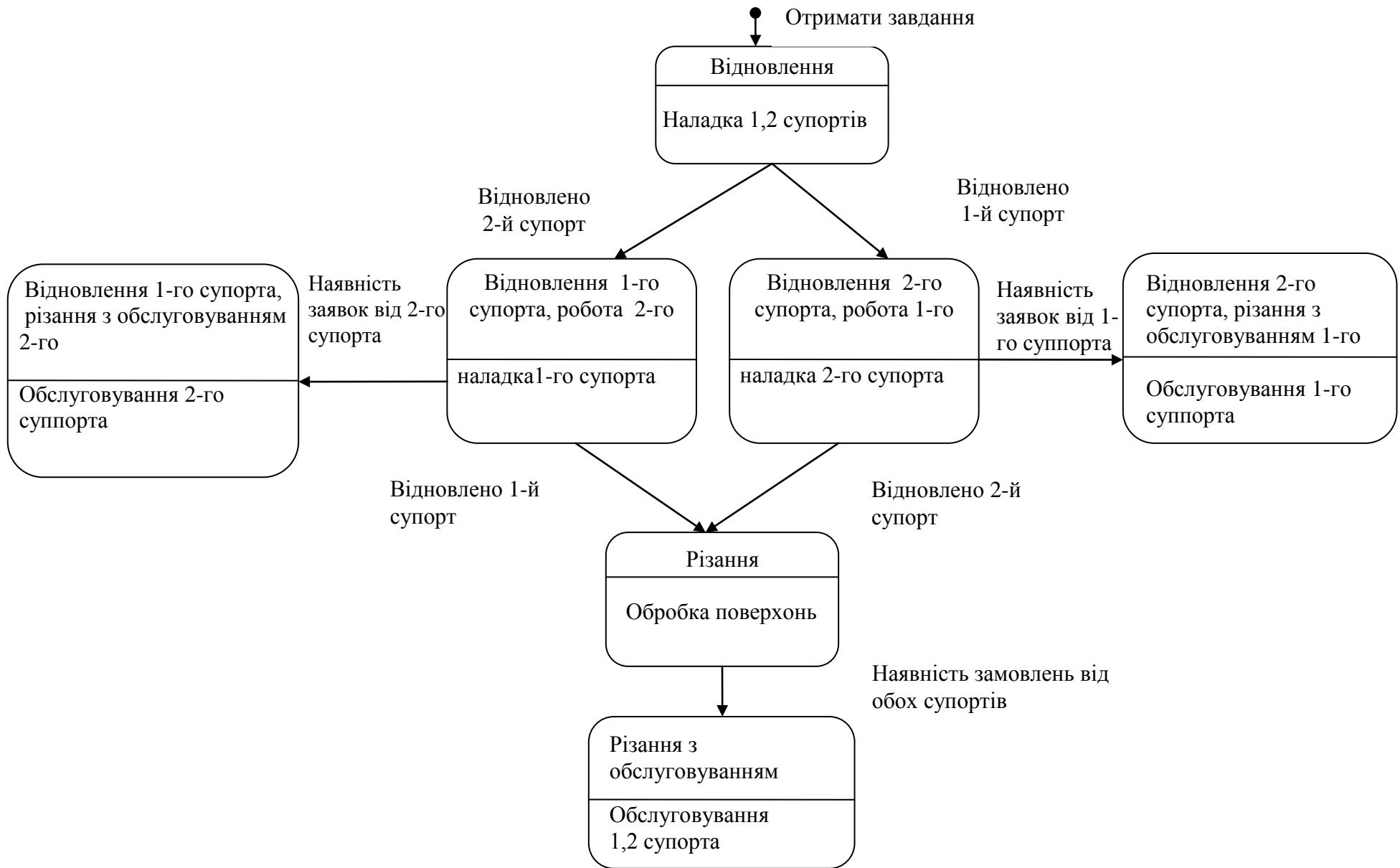


Рисунок 4.4 – Діаграма станів досліджуваної ТС

У даної СМО є наступні потоки: потік заявок v – послідовність інтервалів часу між моментами надходження вимог, утворює підмножину некерованих змінних СМО; потік обслуговування u – послідовність інтервалів часу між моментами початку і закінчення обслуговування вимог, утворює підмножину керованих змінних; вихідний потік y – послідовність інтервалів часу між моментами виходу вимог із системи. Закони розподілу випадкових величин v , u визначаються на підставі аналізу зібраних даних про предметну область методами математичної статистики [100–102]. Розподіл величини v – Вейбула з параметрами a , b . Випадкова величина u має лог-нормальний розподіл з параметрами Ω , M .

Визначимо параметри системи, тобто її характеристики, вивчення впливу зміни значень яких на досліджувану систему, тобто на її параметри ефективності представляє мету імітації. Як вектор параметрів системи візьмемо вектор:

$$\Theta = (\Theta_1 \Theta_2 \Theta_3 \Theta_4 \Theta_5 \Theta_6) = (a \ b \ \Omega \ M \ D_t \ L_u), \quad (4.1)$$

де a , b – параметри розподілу Вейбула;

Ω , M – параметри лог-нормального розподілу;

D_t – технічні характеристики ТС;

L_u – логічні умови.

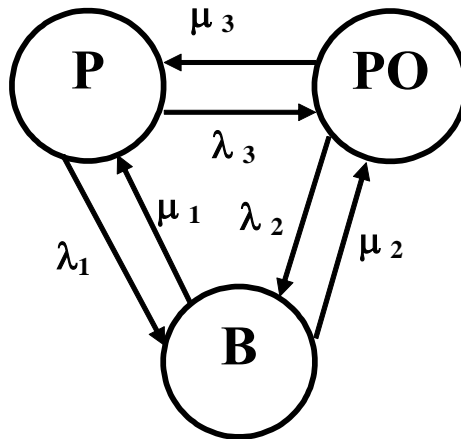
Показниками функціонування системи є середні значення таких величин як коефіцієнт готовності – S_1 , величина інформаційного навантаження на робітника – S_2 , продуктивність обробки – S_3 , коефіцієнт нерегулярності процесу обробки – S_4 . Як оцінки цих показників будемо використовувати статистики $\{S_i\}$ моделювання, що обчислюються для інтервалу, $[0, T]$. Продуктивність розраховувалася як: $P = (S \cdot V / 1000) \text{ Mtp} / (\text{Mtp} + \text{Mtv})$, где Mtp , Mtv – математичне очікування часу різання і часу відновлення системи.

Процес функціонування аналізованої ТС – це процес зміни станів її компонент у часі. Стан системи в момент часу $t \in [0, T]$ будемо описувати вектором $X(t) = (X_1(t), X_2(t))$, де $x_1(t)$ – тривалість перебування системи в одному з можливих станів, $0 \leq x_1(t) \leq T$, а $x_2(t)$ – ознака стану каналу обслуговування (значення 0, якщо канал вільний і 1, якщо зайнято).

Метою імітаційного моделювання системи є знаходження оцінок S_1 , S_2 , S_3 , S_4 при деякому фіксованому значенні Θ .

4.1.3 Побудова моделюючого алгоритму

На підставі діаграми станів будемо граф переходів модельованої СМО із стану в стан для односупортної (рис. 4.6) і двохсупортної (рис. 4.7) обробки.



*P – різання, B – відновлення, PO – різання з обслуговуванням,
 μ_i, λ_i – інтенсивність переходів із стану в стан
 Рисунок 4.6 – Граф переходів СМО для односупортної обробки*

Елементами системи, що потребує моделювання є $\Pi^{(1)}$ – потік заявок на обслуговування, $\Pi^{(2)}$ – потік обслуговувань. Тоді в імітаційній моделі СМО можливі наступні типи подій і дій. Для $\Pi^{(1)}$: події $\Pi_j^{(1)}$ – надходження j -ої заявки, до яких приводять дії $d^{(1)}_j \in D$ – генерація j -ї заявки ($j = 1, 2, \dots$). Для $\Pi^{(2)}$: події $\Pi_j^{(2)}$ – закінчення обслуговування j -ї заявки, до яких приводять дії $d^{(2)}_j \in D$ – обслуговування j -ї заявки ($j = 1, 2, \dots$). Для реалізації моделі системи використовувався транзактний спосіб імітації зі зміною модельного часу за принципом змінного збільшення.

При визначені умов моделювання прийнято, що в початковий момент часу ($t = 0$) стан системи наступний: прилад вільний (канал вільний, накопичувач порожній), обнулені змінні для накопичення результатів моделювання. Правило зміни модельного часу за принципом змінного збільшення наступне:

$$t(0) = 0, \quad t(k) < T, t(k+1), \quad t_{k_i+1}^{(n)} = t(k) + \tau_{k_i+1}^{(1)}, \quad t_0^{(i)} = 0 \quad (i = 1, 2), \quad (4.2)$$

де k_1, k_2 – кількості подій, а $t_j^{(1)}, t_j^{(2)}$ – моменти настання в імітаційній моделі подій типу $\Pi^{(1)}, \Pi^{(2)}$, $\tau_j^{(1)}, \tau_j^{(2)}$ – j -ті реалізації випадкових величин, моделюємих за законами Вейбула або лог-нормальному з відповідними параметрами.

Моделювання СМО проводилося в середовищі GPSS, тому ряд дій для подій $\Pi^{(1)}, \Pi^{(2)}$, здійснюваних інтерпретатором, в алгоритм не включалося: встановлення початкових значень; імітація моментів часу t_1 і t_2 за формулою 4.2, тобто відстеження моментів появи і виходу вимог зі СМО; підрахунок вимог, що надійшли, у СМО; перевірка стану каналу; керування чергою (накопичувачем); завершення моделювання.

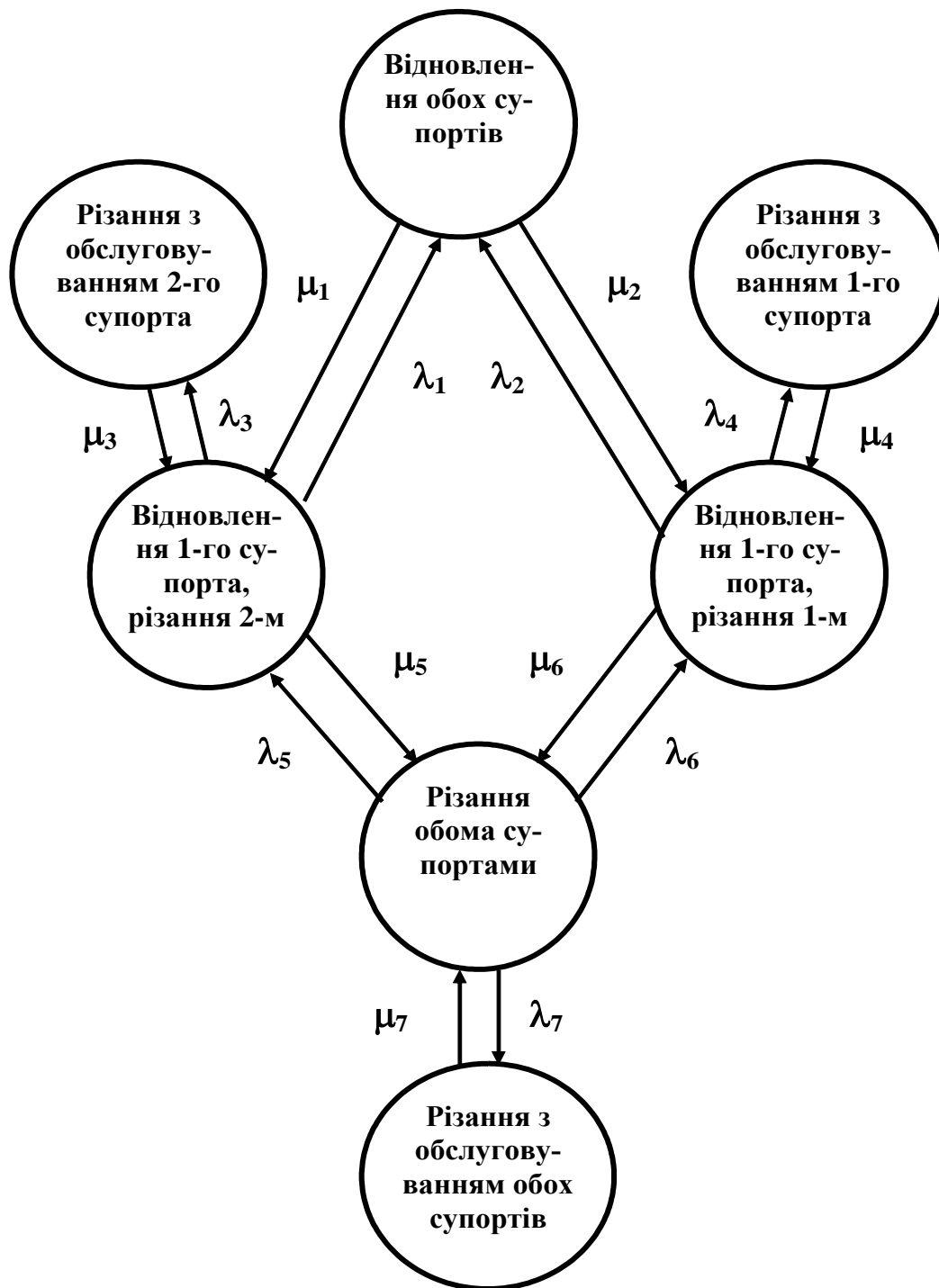


Рисунок 4.7 – Граф переходів СМО для двохсупортної обробки

4.1.4 Формалізація технологічної системи на основі транзактного способу подання моделі

Загальна схема моделі спеціалізованого середовища моделювання GPSS представлена на (рис. 4.8). Для прийнятого транзактного способу імітації

структура взаємодії елементів моделі з керуючою програмою моделювання уніфікована.



Рисунок 4.8 – Загальна схема імітаційної моделі

Блок-схема програми, на підставі якої створювалася схема транзактного способу імітації, наведена на рис. 4.9. Для формалізації обробки деталі на токарському верстаті транзактним способом використовуємо два типи елементів, за допомогою яких можна представити динаміку обробки деталі: блоки і черги. У блоках можуть відбуватися події наступних типів: створення або знищення транзактів, затримка транзакта на певний інтервал часу, зміна маршруту транзакта, зміна його числового атрибута. Кожному супорту відповідає своє джерело транзактів. Кожній заявці, що надходить в систему, відповідає свій транзакт.

Для проведення розрахунків використовувалися арифметичні змінні, для завдання тимчасових потоків – функції. УПМ переглядає активні блоки і поміщає транзакти в чергу для подальшого їхнього обслуговування. Із черги транзакти вибираються відповідно до пріоритетів. Обслуговування робітником заявки імітується шляхом затримки транзакта на відповідний час t .

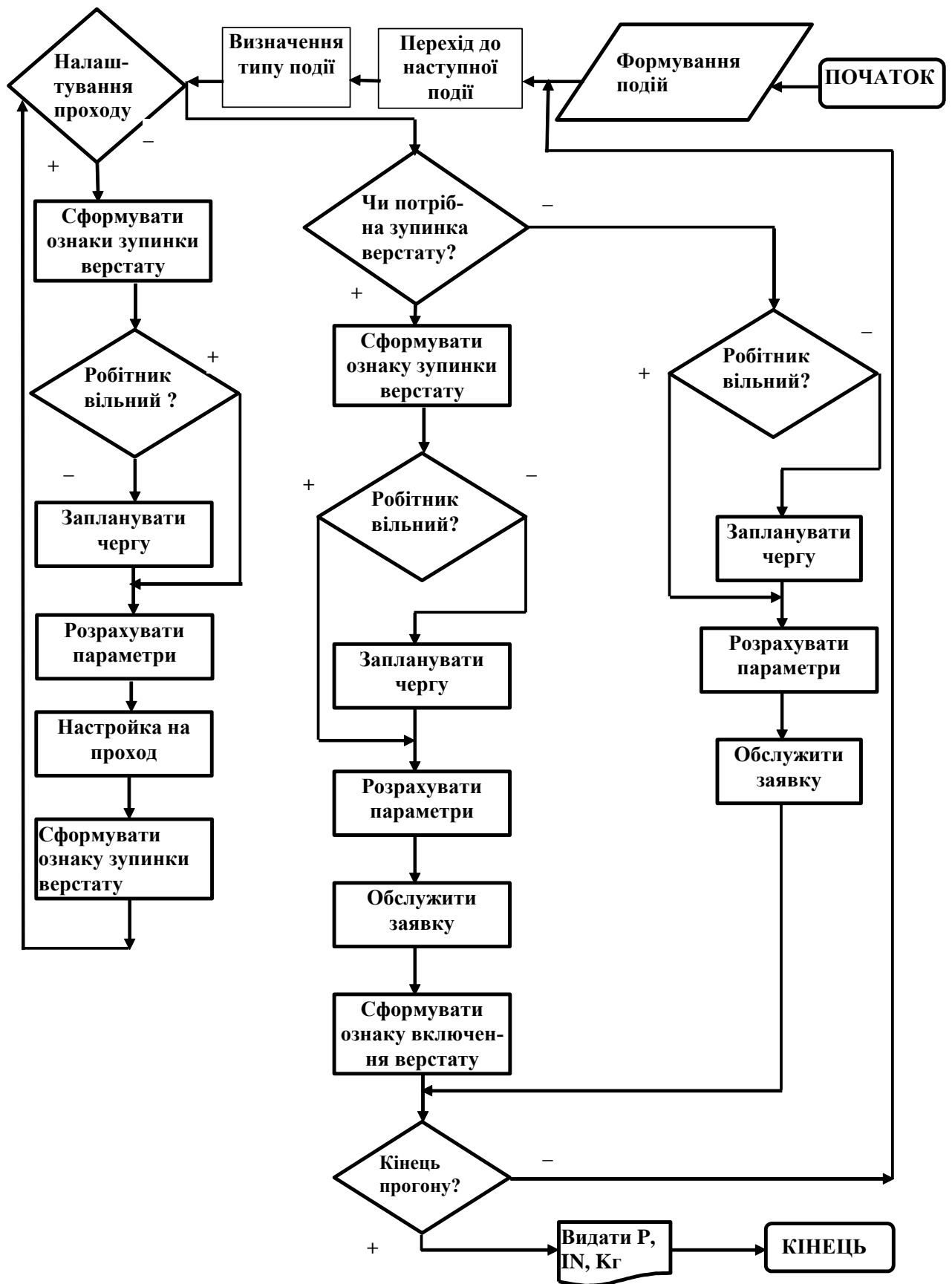


Рисунок 4.9 – Блок-схема алгоритму оцінки параметрів ТС

У момент видалення транзактів з моделі зникають значення параметрів і змінних, пов'язаних із цим транзактом, щоб цього не трапилося потрібні для подальшого аналізу значення табулюються або привласнюються відповідним величинам, що зберігаються.

Якщо дані табулюються, то після прогону моделі виводяться інтервали розподілу випадкової величини і частоти входження її в інтервали, у віртуальному вікні можна переглянути графічне подання цієї інформації у вигляді полігона частот. Якщо ж дані передаються величинам, що зберігаються, то наприкінці прогону виводиться масив її значень.

Автоматично збирається завантаження приладу, кількість обслужених транзактів, коефіцієнт корисної дії приладу і т.д. Також автоматично збирається статистика черги – середня і максимальна довжина черги, середній час перебування заявки у черзі, кількість входжень у чергу і т.д. Ці дії забезпечуються підпрограмою формування статистики (рис. 4.8).

Завершення моделювання забезпечується підпрограмою завершення моделювання (рис. 4.8). Для чого в програмі в момент завдання початкових умов вказується значення модельного часу, при якому настає завершення моделювання. На підставі проведеної формалізації створювалася програма в середовищі GPSS.

4.2 Визначення надійності технологічної системи на підставі моделі для системи з кінцевим часом відновлення

Час відновлення складається звичайно із часу, який потрібно, щоб знайти несправний елемент або виявити, що він несправний, і часу заміни елемента, що відмовив, новим. Будемо розглядати наступний процес. Елемент, проробивши випадковий час t_{p1} , виходить із ладу і відновлюється за випадковий час $t_{в1}$; відновлений елемент працює час t_{p2} і відновлюється за час $t_{в2}$ і т.д. Моменти $t_n = t_{p1} + \dots + \tau_{n-1} + t_{pn-1} + \tau_n$, $n = 1, 2, 3, \dots$ будемо називати відмовами елемента, а моменти $t'_n = t_{e1} + \dots + \tau_n + t_{en}$, $n = 1, 2, 3, \dots$ будемо називати відновленнями. Вважаємо, що всі величини t_{pi} і t_{vi} незалежні.

Приймалося, закони розподілу часу мають безперервну щільність, тому що розрив функції $F(t)$ означає, що в якийсь наперед заданий момент ТС може відмовити з кінцевою ймовірністю, що навряд чи можливо на практиці. Виключення становить лише початковий момент $t=0$, тому що деякі елементи ТС відмовляють у момент включення верстата. До таких відмов приводять сховані, але серйозні дефекти, наприклад при виготовленні різця. Однак, як правило, відмова в момент включення відразу ж виявляється і нею зневажаємо. Елемент замінюється новим і тоді функція буде безперервна і при $t=0$. Визначений у такий спосіб процес будемо називати процесом відновлення з кінцевим часом відновлення.

Однією з основних характеристик цього процесу з позицій надійності є коефіцієнт готовності K_{Γ} , рівний ймовірності того, що в цей момент часу ТС перебуває в справному стані. Для досліджуваної ТС K_{Γ} визначався як параметр надійності системи з кінцевим часом відновлення. Під час відновлення елемента ТС може поводитися по-різному. Розглядалися два основних випадки для односупортної і двохсупортної обробки.

Перший випадок. Під час відновлення супорта система виключена, не працює, це відповідає випадку односупортної обробки, а при двохсупортній обробці це можливо, коли обидва супорти налагоджуються, наприклад іде перевстановлення деталі або здійснюється вимір деталі. Показано [103], що в цьому випадку потік відмов і відновлень утворює процес відновлення з кінцевим часом відновлення. Отже, коефіцієнт готовності на даній ділянці виражається формулою:

$$K_{\Gamma} = M K_{\Gamma} = \frac{M t_p}{M t_p + M t_b}, \quad (4.3)$$

де t_p і t_b – час різання й час відновлення;

$M t_p = \int_{-\infty}^{\infty} t_p f(t_p) dt_p$ – математичне очікування часу різання;

$M t_b = \int_{-\infty}^{\infty} t_b f(t_b) dt_b$ – математичне очікування часу відновлення.

Другий випадок. Характерний тільки для двохсупортної обробки на певних ділянках роботи супортів. Під час відновлення одного із супортів інший продовжує працювати, тобто кожний супорт працює і відновлюється незалежно від іншого. Це можливо, наприклад, коли один супорт обробляє деталь, а на іншому проводиться зміна інструмента. У цьому випадку потік відмов і відновлень ТС є сума n незалежних процесів відновлення з кінцевим часом відновлення. Розглядалися одиничні випадкові функції $v_s(t)$ ($s = 1, 2, \dots, n$), які визначалися:

$$v_s(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо в момент } t \text{ } s\text{-й елемент справний,} \\ 0, & \text{якщо в момент } t \text{ } s\text{-й елемент несправний} \end{cases}$$

Тоді функція $v(t) = v_1(t)v_2(t) \dots v_n(t)$ дорівнює одиниці, якщо в момент t система справна, і дорівнює нулю, якщо вона несправна. Функції $v_s(t)$ за умовою незалежні, тому

$$K_{\Gamma}(t) = P\{v(t) = 1\} = Mv(t) = Mv_1(t)Mv_2(t) \dots Mv_n(t) = K_{\Gamma_1}(t)K_{\Gamma_2}(t) \dots K_{\Gamma_n}(t)$$

$$K_{\Gamma} = \frac{M t_{p1}}{M t_{p1} + M t_{b1}} \frac{M t_{p2}}{M t_{p2} + M t_{b2}} \dots \frac{M t_{pn}}{M t_{pn} + M t_{bn}}, \quad (4.4)$$

де $t_{p1}, t_{p2}, t_{b1}, t_{b2}$ – час різання і час відновлення відповідно для 1-го й 2-го супортів.

Таким чином, на різних ділянках роботи ТС маємо різні способи розрахунку коефіцієнтів готовності системи. У випадку односупортної обробки і коли обслуговуються обидва супорти при двохсупортній обробці він визначається на підставі формули (4.3). При двохсупортній обробці, коли обслуговується один із супортів він визначається на підставі формули (4.4).

4.3 Математична модель інформаційного навантаження на робітника

Діагностика станів у ТС вимагає розподілу станів на групи з погляду забезпечення працездатності верстатника і системи в цілому за умови збереження здоров'я людини. Функціональні стани людини можуть бути класифіковані по ряду ознак. Найважливішими з них є характер і значення напруженості і ваги праці. У роботі розглядалася тільки операційна напруженість, що визначається характером і значенням інформаційного навантаження.

Як кількісні характеристики трудового процесу, що встановлюють його зв'язок з можливостями верстатника, приймалися коефіцієнти стереотипності, логічної складності [104]. Автором також запропоновано включити темп виконання операції, урахувати вплив розсіювання характеристик ТС на зміну кількості інформації.

Оцінка інформаційного навантаження виконувалася по створеній моделі:

$$IN = \sum_{i=1}^k K_{Li} \cdot K_{Ci} \cdot \log_2 \sigma_i^2 \cdot (N_i/N_0) \cdot \tau_i / (N_{Ci} + N_{Li}), \quad (4.5)$$

де K_{Li}, K_{Ci} – нормовані коефіцієнти логічної складності і стереотипності – пункт 5.2.3, формули (5.4), (5.5);

N_i/N_0 – ймовірність появ випадків для кожного виду діяльності;

σ - середньоквадратичне відхилення часу наробітки для і-го виду діяльності;

τ_i – час виконання алгоритму (одного виду діяльності);

N_{Ci}, N_{Li} – кількість стереотипних і логічних дій відповідно в алгоритмі діяльності одного виду.

Таким чином, для моделювання досліджуваної технологічної системи з урахуванням участі людини використовується безперервно-ймовірнісна

модель, при побудові і дослідженні якої застосовується теорія масового обслуговування.

Процес, що протікає в досліджуваній ТС є процесом відновлення з кінцевим часом.

На різних ділянках роботи ТС необхідно застосовувати різні моделі розрахунку коефіцієнта готовності системи залежно від стану, у якому вона перебуває.

Операційна напруженість визначається характером і значенням інформаційного навантаження – кількісної характеристики трудового процесу, що встановлює його зв'язок з можливостями верстатника.

РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

5.1 Опис змінних моделі – часу напрацювання і часу відновлення для різних стадій обробки

У роботі у якості оцінки функціонування системи прийнято ступінь досягнення нею поставленої мети на підставі єдиного показника – ймовірності досягнення мети, що в нашій випадку означає ймовірність одержання готової поверхні деталі в строк (VEND). Процес функціонування включає етапи: планування, забезпечення ресурсами, виконання. Цей взаємозв'язок представлений на схемі (рис. 5.1) [1].

Для одержання залежностей і розрахунку показника ефективності представимо схему (рис. 5.1) у вигляді графа (рис. 5.2), де дуги відображають логічні взаємозв'язки подій із заданими ймовірностями результатів. Рівні графа відповідають послідовності складових: А – система повинна мати принципову можливість виконання даної функції; Б – забезпеченість системи ресурсами; С – виконання заданої функції із заданими обмеженнями; Д – контроль характеристик процесу виконання всієї сукупності функцій. Починаючи від кореневої вершини, що відповідає початковим умовам процесу, здійснюється розгалуження згідно всім можливим результатам (повна група неспільних подій). Так для рівня С можливі результати: В11 – ймовірність виконання функції із заданими вимогами (обробка поверхні в строк, інструмент що відмовив замінюють новим); В00 – ймовірність невиконання функції хоча б по одному обмеженню (наприклад, поломка інструмента з потраплянням твердого сплаву в деталь, що викликала брак деталі); В10(В01) – ймовірність виконання (невиконання) функції із заданими вимогами і протилежна інформованість про це $V00 + V01 + V10 + + V00 = 1$ щодо заданої функції.

Позначення на графі: П11(П00) – ймовірність наявності необхідних умов для принципової можливості виконання даної функції і правильна інформованість про це; П10(П01) – ймовірність наявності (відсутності) умов і протилежна інформованість; Р11(Р00) – ймовірність повного (неповного) ресурсозабезпечення ТС і правильна інформованість про це; Р10(Р01) – ймовірність повного (неповного) ресурсозабезпечення і протилежна інформованість; ДО11(ДО00) – ймовірність безпомилкового (з помилкою) контролю процесу виконання всієї функції і правильна інформованість про це; ДО10(ДО01) – ймовірність безпомилкового (з помилкою) контролю процесу виконання всієї функції і протилежна інформованість. З0 – завершення із прихованим дефектом, Н(Н0) – основна операція почата неправильно (помилково пізнана як неправильна), З(З0) – перерва через фактичне (помилкове) виявлення організаційної відмови, П(П0) – перериван-

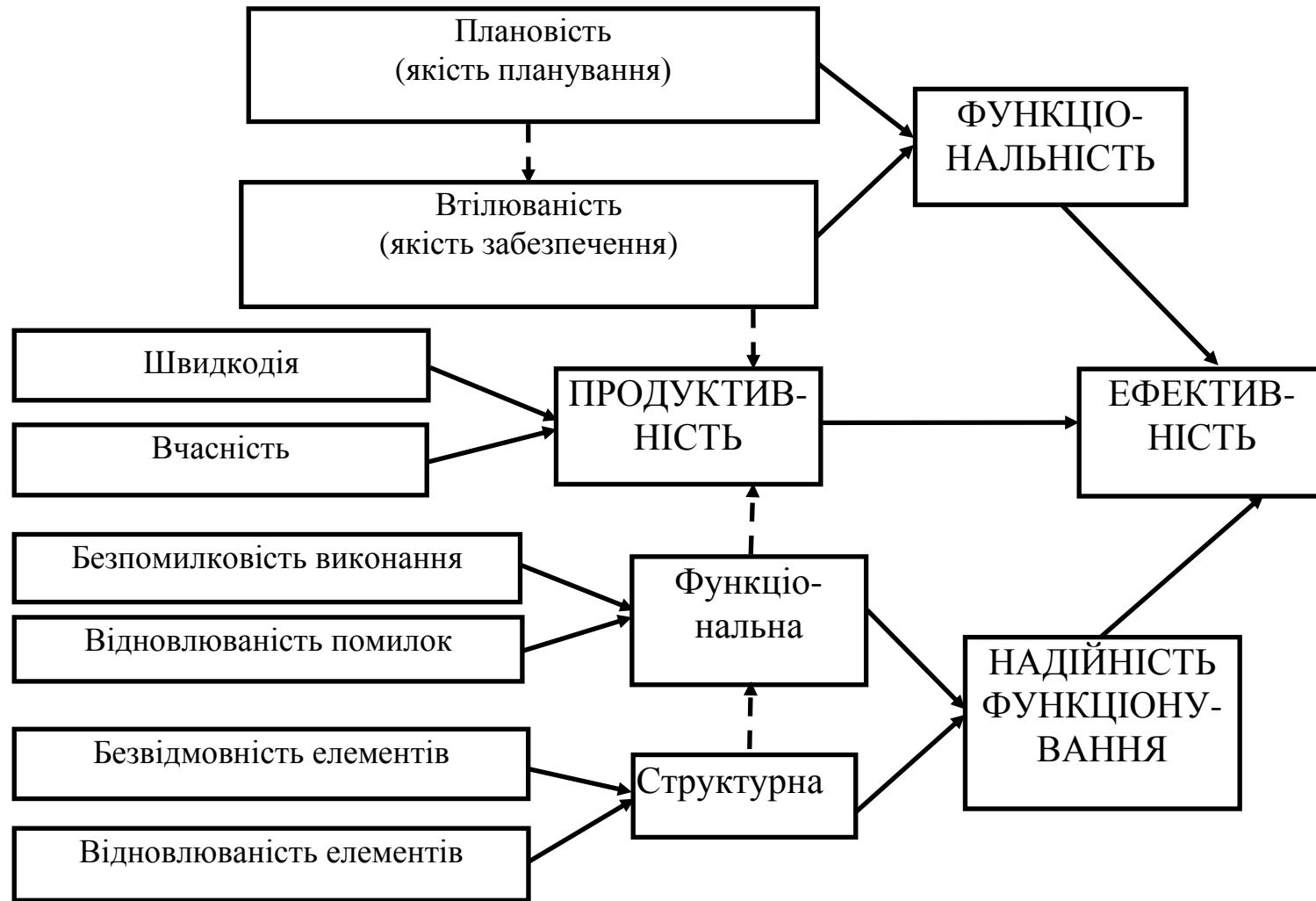


Рисунок 5.1 – Структура властивостей, що визначають ефективність і якість функціонування досліджуваної технологічної системи

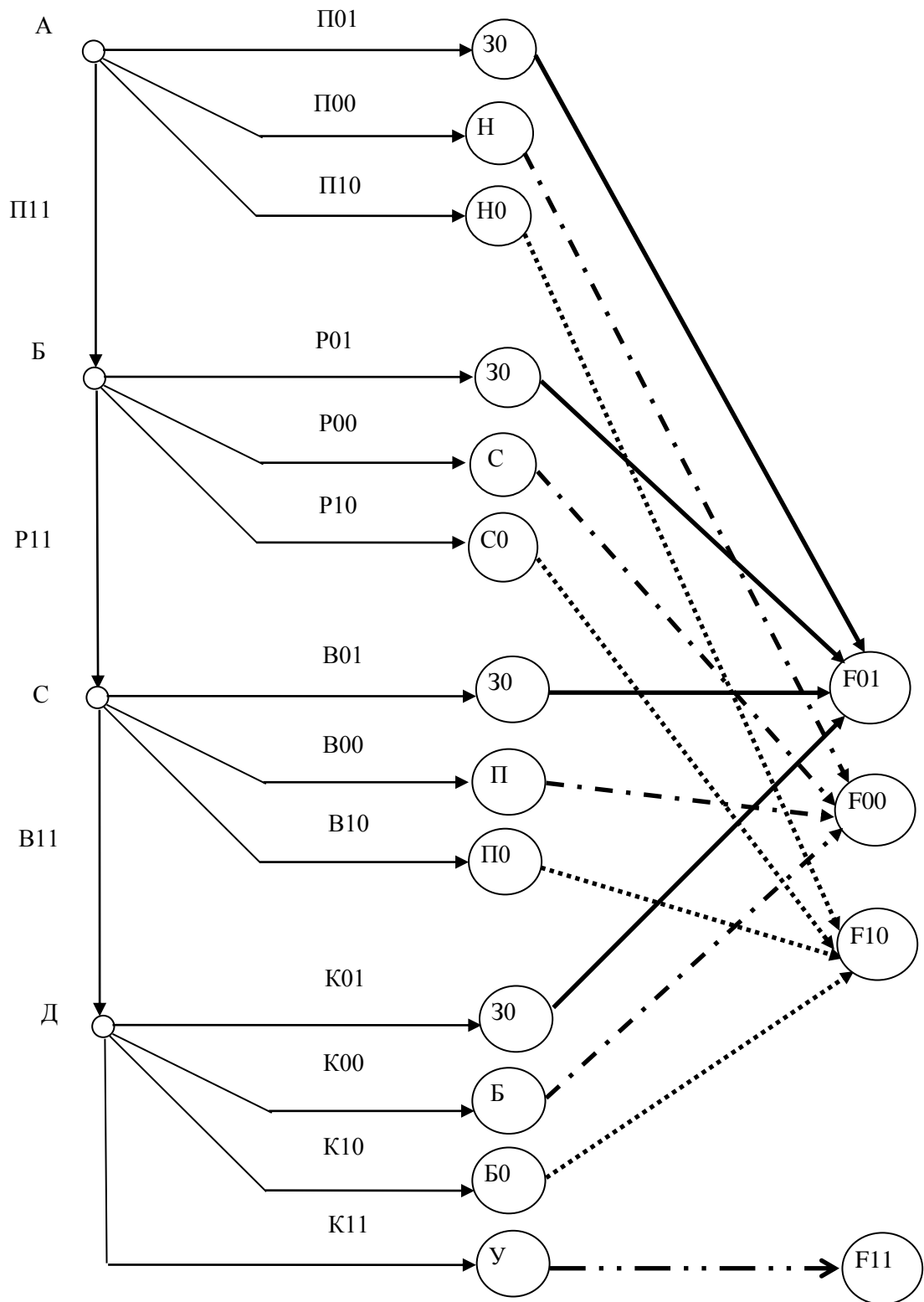


Рисунок 5.2 - Логіко-ймовірнісна схема виконання заданої функції

ня через фактичне (помилкове) виявлення помилки в процесі, Б(Б0) – фактично (помилково) безрезультатне закінчення функції, В – успішне закінчення функції.

У роботі прийнято, що верстатник інформований без помилок (немає результатів з індексами 01 і 10) і контролює процес безпомилково ($ДО11 = 1$), етап планування (А) проведений ідеально, що відповідає $П11 = 1$. Тоді ймовірність успішного досягнення мети $F11$ (VEND) визначиться через умовні ймовірності: $VEND = П11 \cdot P11 \cdot У11 \cdot ДО11$,
 $F00 = П00 + П11 \cdot P00 + П11 \cdot P11 \cdot У00 + П11 \cdot P11 \cdot У11 \cdot ДО00$.

Для визначення $P11$ і $B11$ проаналізовані такі складового процесу обробки як забезпеченість ТС інструментом, відновлення і технічне обслуговування ТС, а також відмови інструмента.

Для рішення поставлених у роботі завдань створювалася структурно-логічна схема роботи (рис. 5.3), де відзначені основні етапи роботи: збір даних про предметну область, створення моделі ТС, встановлення параметрів моделі, імітаційне моделювання ТС різних конфігурацій для оцінки адекватності моделі і визначення залежностей для параметрів ефективності моделі.

Для отримання даних про предметну область збиралася первинна інформація, структура якої приведена на рис. 5.4.

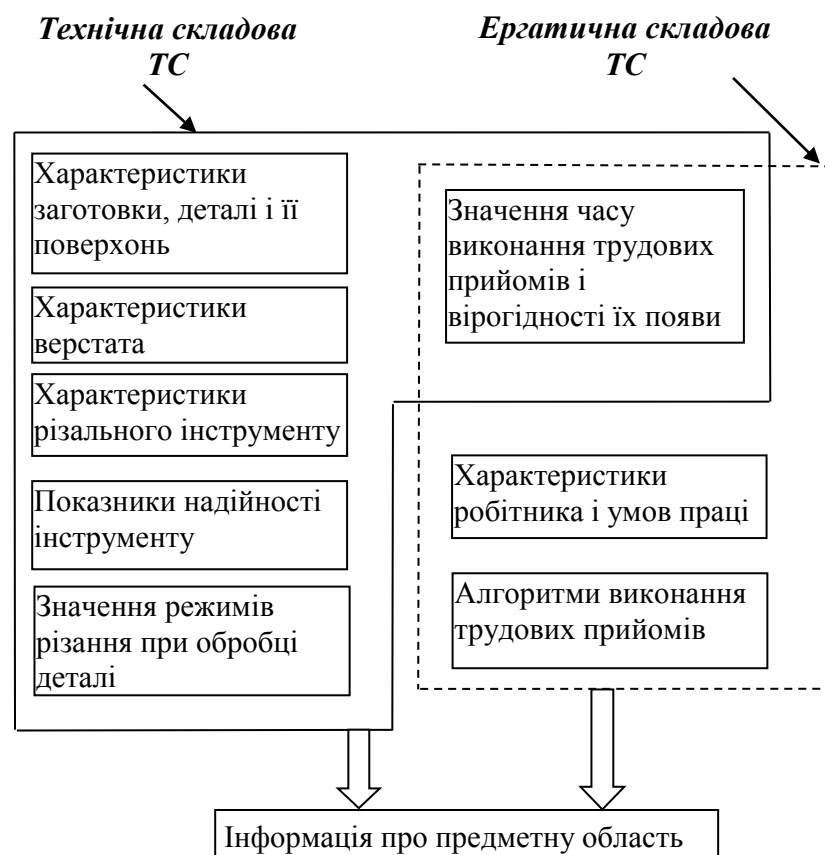


Рисунок 5.4 – Структура інформації про технологічну систему

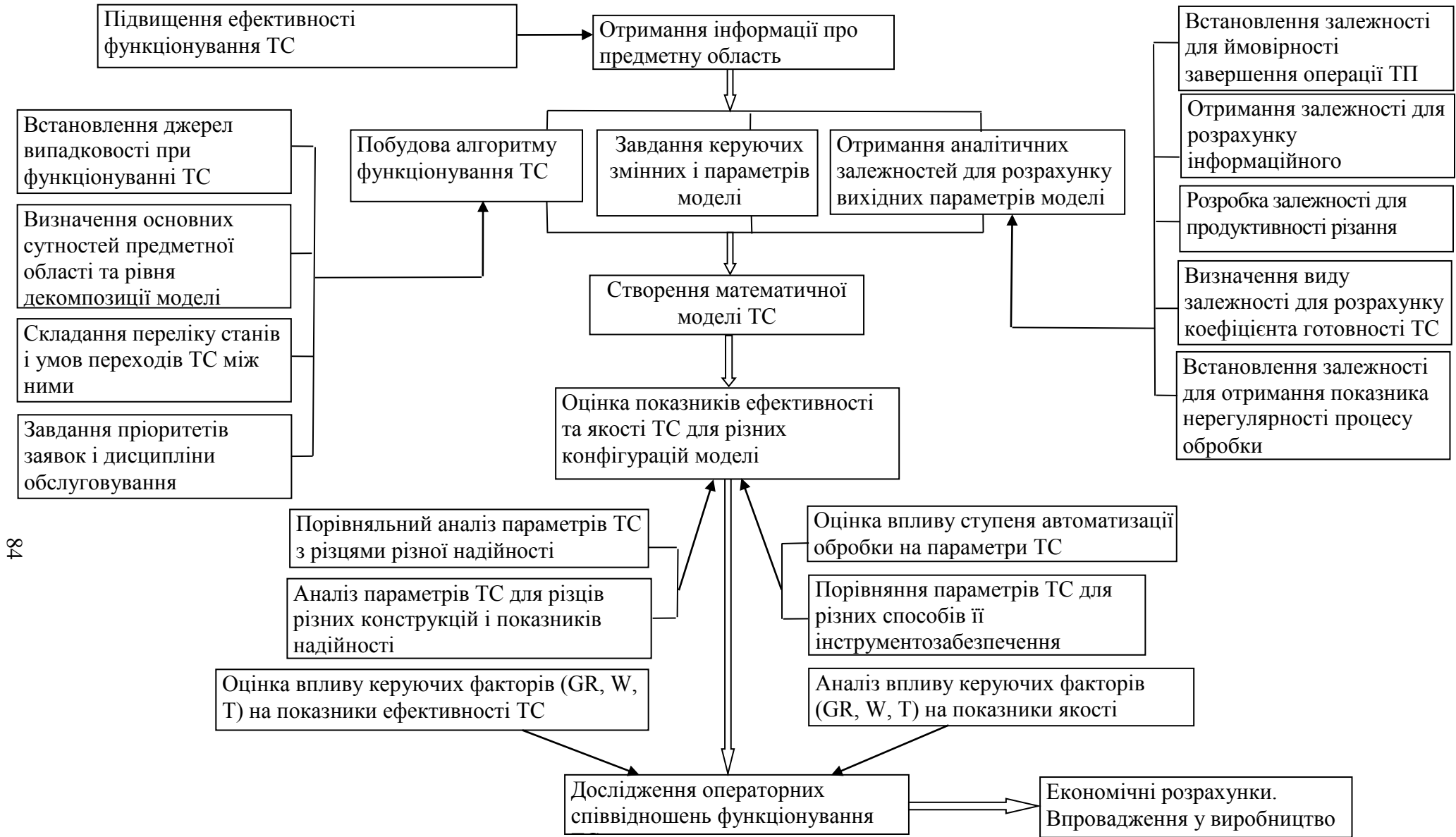


Рисунок 5.3 – Структурно-логічна схема досліджень процесу функціонування технологічної системи

Досліджувана предметна область характеризується наступними параметрами: природою ТС і її технічними параметрами, довкіллям і його потребами, видом людської діяльності, пов'язаної з типами завдань, що вирішуються за допомогою ТС, джерелом яких є предмет праці.

Для аналізу часу виконання трудових прийомів в цій роботі застосовувалися методи хронометражу, фотографії робочого часу, метод моментних спостережень [48]. Хронометраж застосовувався для аналізу структури прийомів праці і визначення витрат часу на виконання елементів операцій. Використовувався хронометраж безперервний і вибірковий (додаток Б).

У першому випадку спостерігалися усі елементи цієї операції в порядку їх виконання. У другому – вивчалися окремі елементи операцій незалежно від їх послідовності. Підготовка хронометражу включала вибір об'єктів спостереження, розчленовування операції на елементи, встановлення фіксажних точок, визначення числа спостережень, заповнення хронокарти.

Вибір об'єктів спостереження визначався метою хронометражу. У цій роботі хронометраж застосовувався з метою отримання часу виконання трудового прийому, комплексу прийомів в системі робітник-верстат, тому об'єктом спостереження були робітники різної кваліфікації і віку, працюючі на великих і важких універсальних токарних верстатах (рис. 5.5).

Розмірні параметри досліджуваних верстатів (найбільший діаметр встановлюваного виробу над станиною – D_c і довжина столу – L) дорівнювали $D_c = 1000...4000$ мм, $L = 6000$ мм. Розряд робітників складав 3...6, вік 18...60 років. Досліджувалися випадки роботи одним робітником і односупортної або 2-х супортної обробки, деталі що обробляються типу валів (таблиця 5.1). Після визначення об'єкту спостереження складався детальний опис технологічної операції і заповнювалися хронокарти.

Характеристики технічної складової системи:

1. Деталь (назва, матеріал, розміри).
2. Верстат (D_c , модель, інвентарний номер).
3. Різальний інструмент (вид, тип різця, матеріал різальної частини, розміри).
4. Виконуваний перехід (точіння чорнове, чистове, підрізування...) і наявність переустановлень.
5. Режими різання (t , S , V).
6. Кількість працюючих супортів.

Характеристики робочого:

1. Вік.
2. Розряд.
3. Кількість робітників на одному верстаті.

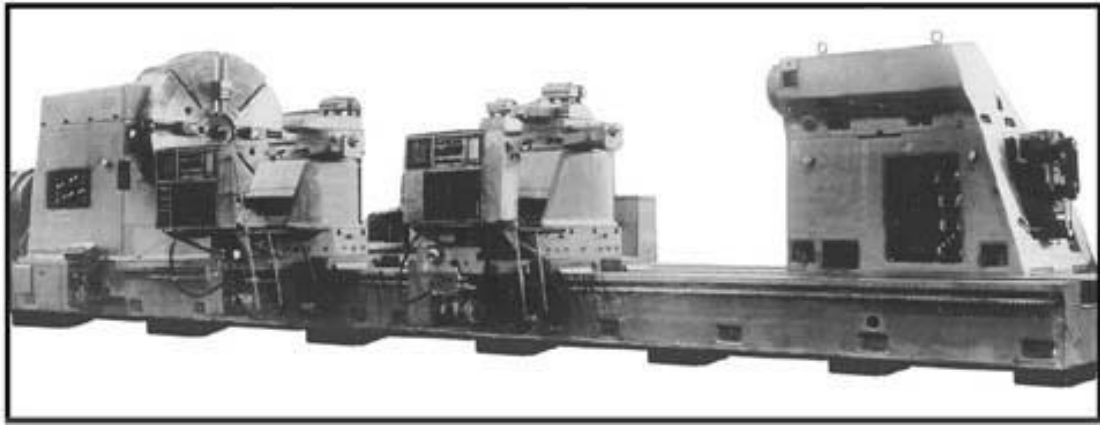


Рисунок 5.5 – Токарний верстат, $D_c = 4000$ мм

Найбільш типові деталі, що обробляються на обстежених токарних верстатах, по класифікаторові відносяться до 20 групи (рис. 5.6, таблиця 5.1).

При підготовці до хронометражу досліджувану операцію розділяли на елементи: комплекси прийомів, прийоми, дії, рухи [48]. Щоб правильно встановити тривалість кожного елемента операції, треба точно знати межі, що відділяють один елемент від іншого і фіксувати момент закінчення одного елемента і початку іншого. Такі виразні зовнішні ознаки, що визначають початок і кінець елемента операції є фіксажними точками. Ознаки для визначення фіксажної точки встановлювалися по звуку, по чіткому зоровому сприйняттю початку або закінчення тієї або іншої дії, або рухам виконавця. Розрізнялися початкові і кінцеві фіксажні точки.

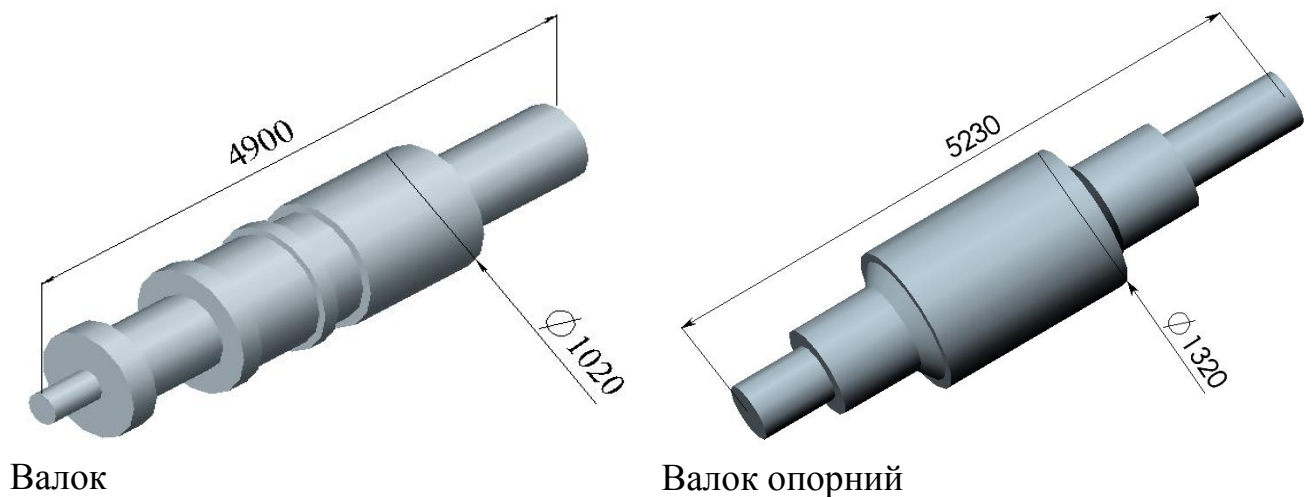


Рисунок 5.6 – Представники деталей, що обробляються на токарних верстатах

Таблиця 3.1 – Характеристика деталей

Найменування деталі	Найбільший діаметр деталі D, мм	Довжина деталі L, мм	Марка сталі
Вал ексцентриковий	772	5014	сталь 40ХН
Поршень	900	5970	сталь 34ХН3М
Гайка складена	1100	500	сталь 34ХН1М
Голівка шпинделя	1200	1680	сталь 40ХН2МА
Стягування	12900	225	сталь 34ХН3М
Вал гребний	11255	200	сталь 38Х2Н2МК
Валок робочий	3814	864	сталь 90ХФ
Валок шестерний	4105	1100	сталь 90ХНФ
Муфта	560	850	сталь 40ХН2МА
Валок опорний	4360	1060	сталь 60ХМ
Валок	3350	1130	сталь 90ХНФ
Валок верхній	3580	1090	сталь 60ХМ

Початковою фіксажною точкою був момент початку переміщення деталі, інструменту, обертання робочого органу машини, момент дотику руки до предмета або видалення руки виконавця від предмета, якого він торкався перед цим. Кінцевою фіксажною точкою було зіткнення переміщуваного предмета з іншим, закінчення переміщення деталі, інструменту або обертання робочого органу машини, момент відриву руки робітника від предмета, який він переміщав, і так далі. При проведенні суцільного спостереження по поточному часу, кінцева фіксажна точка попереднього елемента являлася в той же час початковою фіксажною точкою виконання подальшого елемента операції. При цьому виді спостереження обмежувалися встановленням тільки кінцевих фіксажних точок, за винятком першого елемента операції по першому виміру, для якого має бути визначена також початкова фіксажна точка.

Для подальшого аналізу результатів спостереження велике значення мають виявлення і оцінка чинників, що впливають на тривалість кожного елемента операції. Аналіз показав, що ці чинники залежать від конструкції токарного верстата, ваги і конфігурації валка, технології виготовлення, режимів роботи устаткування, організації виробництва, праці і робочого місця. Вони роблять різний вплив як на тривалість операції в цілому, так і на окремі складові її елементи.

Оцінка трудових прийомів проводилася з допомогою метода моментних спостережень, який припускає реєстрацію кількості моментів здійснення того або іншого виду витрат робочого часу або моментів в роботі і перерв в роботі устаткування без спеціальних вимірів часу. На основі цих даних визначалася

питома вага окремих елементів витрат робочого часу в загальних його витратах за період спостереження.

Спостережливий лист готувався до початку експерименту. У ньому вказувалися чисельність виконавців (прізвища), за діяльністю яких проводиться спостереження, і поточний час через встановлені інтервали. Робочі місця обходилися по певному маршруту, за допомогою індексу фіксувалися дії робітників. При цьому реєструвалися не витрати часу, а кількість повторень різних категорій витрат. Окрім звичайної підготовки в підготовчому періоді намічався маршрут обходу і точки фіксації витрат робочого часу робітників або роботи і простої устаткування – фіксажні пункти.

Інтервали обходів вибиралися так, щоб вони не мали якої-небудь закономірності відносно циклу виробництва і носили характер випадкової вибірки. Ці інтервали (час початку обходу робочих місць) визначаються за допомогою математичних таблиць випадкових чисел, які забезпечують незалежність визначення моменту початку обходу від волі і бажання спостерігача. Цей вид спостереження вимагає певної підготовки, яка полягає в наступному:

- визначається необхідна кількість даних, що фіксуються;
- визначається довжина маршруту обходу робочих місць $S_{\text{обх}}$;
- визначається кількість спостережуваних моментів за один обхід (воно відповідає кількості робочих місць, що вивчаються);
- розраховується тривалість одного обходу $T_{\text{обх}}$;
- розраховується кількість моментів $m_{\text{см}}$, що фіксуються за одну робочу зміну.

Спостереження проводилися при обході робочих місць по заздалегідь встановленому маршруту. Порівнявшись з фіксажним пунктом, спостерігач встановлював, чим зайнятий виконавець в даний момент і відмічав результати у бланку спостережень.

Підготовка до хронометражу включала визначення кількості вимірів, що впливають на обґрунтованість хронометражу [48]. Схема практичних розрахунків зводилася до наступного:

1. До початку спостережень знаходився коефіцієнт E (економічна константа для умов конкретного виробництва) [48]

$$E = \sqrt[3]{(Z/96C_1)^2}, \quad (5.1)$$

де Z – витрати підприємства в годину на оплату праці робітника;

C_1 – витрати на визначення одного значення хроноряда при проведенні хронометражу і обробці його результатів.

Встановлювались економічні параметри Z і C_1 . Для нашого випадку

$$Z = 0,86 \text{ грн}, C_1 = 0,147 \text{ грн. Тоді } E = \sqrt[3]{(0.86 / 96 \cdot 0.147)^2} = 0,15$$

2. В процесі попереднього ознайомлення з операцією знаходили величину середнього абсолютного відхилення A . Для визначення величини A в ході підготовки до хронометражу проводили серію з $n = 10$ спостережень.

Розрахунок A вели по наступному алгоритму [48]:

– визначали число елементів n , у яких час більший за середньоарифметичний. Знаходили суму цих значень часу $\sum_i X_{oi} = 788$ с.

– розраховували подвоєну різницю $R = 2 \left(\sum_i x_{yi} - \overline{n_y x} \right) = 118$ с.

– шукане значення A визначали як $A = \frac{R}{n_0} = 118/10 = 11,8 =$

0,197 хв.

Потім визначали необхідне число спостережень:

$$n = E^3 \sqrt{N^2 A^2}, \quad (5.2)$$

де N — кількість елементів роботи, виконаних по аналізованій операції за період дії норми.

Статистично N представляє об'єм генеральної сукупності, з якої в процесі хронометражу робиться вибірка об'єму $N = 500$.

1. Находимо m як $N/n = 500/10=50$

2. Якщо $2,5 < m < 3$, то $k_1 = 1,2$; $3 < m < 5$, то $k_1 = 1,15$; $m > 10$, то $k_1 = 1$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує погрішність визначення середнього квадратичного відхилення залежно від розміру вибірки.

Оскільки $m \gg 10$, на величину k_1 значення n не коригувалося. При виконанні на робочому місці k операцій величина n , визначена по формулі 5.2, має бути зменшена в $\sqrt[3]{k}$ разів. У нашому випадку $k = 2$ і n потрібно

зменшити в 1,26 разів. Тоді $n = \frac{0,15 \sqrt[3]{500^2} \cdot 0,197^2}{1,26} \approx 3$.

Тривалість одного обходу $T_{обх}$ розраховувалася: $T_{обх} = 0,01 \cdot S_{обх} / 0,6$, де $S_{обх}$, м – довжина маршруту обходу робочих місць, 0,6 м – середня довжина одного кроку, 0,01 хв – середній час на один крок.

Для нашого випадку: $T_{обх} = 0,01 \cdot 1000 / 0,6 = 16,6$ хв. Кількість моментів $m_{см}$, що фіксуються за одну зміну, визначалася по формулі: $m_{см} = K_{обх} \cdot T_{см} / T_{обх}$, де $T_{см}$, хв – тривалість зміни; $K_{обх}$ – коефіцієнт, що враховує неспівпадіння часу обходів (відхилення), приймається в межах 0,5...0,7 K (K – коефіцієнт, залежний від заданої вірогідності). Для нашого випадку: $m_{см} = 1,5 \cdot 420 / 16,6 = 37$.

5. 2 Розробка моделі технологічної системи

5.2.1 Метод рішення задачі на етапі створення концептуальної моделі системи

Створення моделі системи включає ряд взаємопов'язаних етапів: постановка завдання, розробка концептуальної моделі, розробка і програмна реалізація моделі, оцінка правильності і достовірності моделі, організація і планування проведення експерименту, ухвалення рішень за результатами моделювання.

З точки зору аналізу модельованої системи, розробка концептуальної моделі найважливіший етап. На цьому етапі проведена наступна робота [105-108]: визначені цілі моделювання і параметри ефективності системи, вибрані міри деталізації зображення моделі, описані вхідні і вихідні змінні і параметри моделі, виведені функціональні залежності, що описують поведінку змінних і параметрів, описані обмеження на можливі зміни величин, розроблена структурна схема концептуальної моделі і описано її функціонування.

Широко використовуваний механізм осмислення і формулювання вимог (особливо функціональних) до моделі – прецеденти, що є сценаріями (розповідні історії), що описують типові варіанти поведінки проектованої системи, що встановлюють, які об'єкти беруть участь в сценарії, які обов'язки кожного об'єкту і як вони взаємодіють в термінах операцій [109]. Використання прецедентів спростило формулювання завдання проектування програмної системи. Вимоги – це особливість проекту, властивість або поведінка системи. При цьому основна увага приділялася тому, що система повинна робити, а не тому, як система це робитиме. Розглянуті сценарії для досліджуваної системи: налаштування ТС на перехід, зміна інструменту, вимір деталі, контроль за виконанням ТП. Вибір міри деталізації опису об'єкту моделювання проводився, виходячи з цілей моделювання системи. У даному випадку важливою є оцінка функціонування ТС як ергатичної системи, яка перебуває під впливом випадкових чинників. Для цієї мети ТС представлена як СМО з одним обслуговуючим приладом (робітником) [98, 110 – 112].

На наступному етапі розробки концептуальної моделі визначалися вимоги до вхідних і внутрішніх змінних, вибраних відповідно до міри деталізації моделі. Це інтервали часу появи подій в системі, тривалість їх обслуговування робітником.

Для формалізованого зображення структури концептуальної моделі в статичному уявленні використаний різновид структурних діаграм – діаграма сутностей (класів), а в динамічному – діаграма станів [113].

На стадії аналізу діаграма класів використовувалася для виділення ролей і обов'язків (список гарантій поведінки, що надаються) сутностей, що забезпечують необхідну поведінку системи, по суті це декомпозиція системи.

Два головні елементи діаграми – це класи і їх основні стосунки. Кожен об'єкт є екземпляром класу. Стосунки між класами пов'язані з конкретними діями. Виділені наступні типи стосунків : відношення ціле-частина (агрегація), відношення використання. Досліджувана система рівня операції включає класи: "Устаткування", "Технологічне оснащення", "Деталь" на діаграмі ці класи зв'язують стосунки агрегації з класом "Технологічна система". Цей клас і клас "Технологічний процес" пов'язані відношенням використання з класом "Верстатник".

При аналізі динамічного аспекту поведінки системи об'єкти розглядалися як предмет або суть, що має чітко певне функціональне призначення в цій предметній області, які мають стан, поведінку, ідентичність [109, 113]. Оскільки у об'єктів є внутрішній стан, то їх поведінка залежить від подій і часу. Стан ТС характеризувався переліком усіх її властивостей і поточними значеннями кожного з цих властивостей. Згідно теорії систем [114 – 117] це точка фазового простору, яка містить усю інформацію про передісторію системи, значиму для визначення її поведінки в майбутньому. Важлива також послідовність здійснюваних над об'єктом дій. Таким чином, при побудові концептуальної моделі системи важливим моментом є виділення і опис її станів. Це дозволило зв'язати з кожною вхідною змінною одну вихідну змінну, використовуючи стан системи як параметр.

Динамічний аспект функціонування системи описувався шляхом завдання переходів її з одного стану в інший за допомогою діаграми станів і переходів, що створюються на базі виділеного класу "Технологічна система". Кожен клас може мати власну діаграму переходів, тобто вона показує простір станів цієї сукупності об'єктів; події, які тягнуть перехід з одного стану в інший; дії, які відбуваються при зміні стану і створюють конкретні процеси [109].

Таким чином, ідентифікація подій дозволила визначити межі поведінки системи і розподілити обов'язки по здійсненню цієї поведінки між окремими сукупностями об'єктів.

5.2.2 Розробка структурної схеми імітаційної моделі ТС і її програмна реалізація

Структура досліджуваної ТС визначається відповідно до її концептуальної моделі і вибраного способу моделювання. Процес, що протікає в системі не марківський, тому, аналітично, в явному виді обчислити характеристики системи неможливо. Для дослідження ТС використані математичні залежності і логічні умови (рис. 5.7), які разом з машинною програмою складають модель, за допомогою якої отримано уявлення про поведінку системи.

ВХІДНІ ЗМІННІ

ВИХІДНІ ЗМІННІ

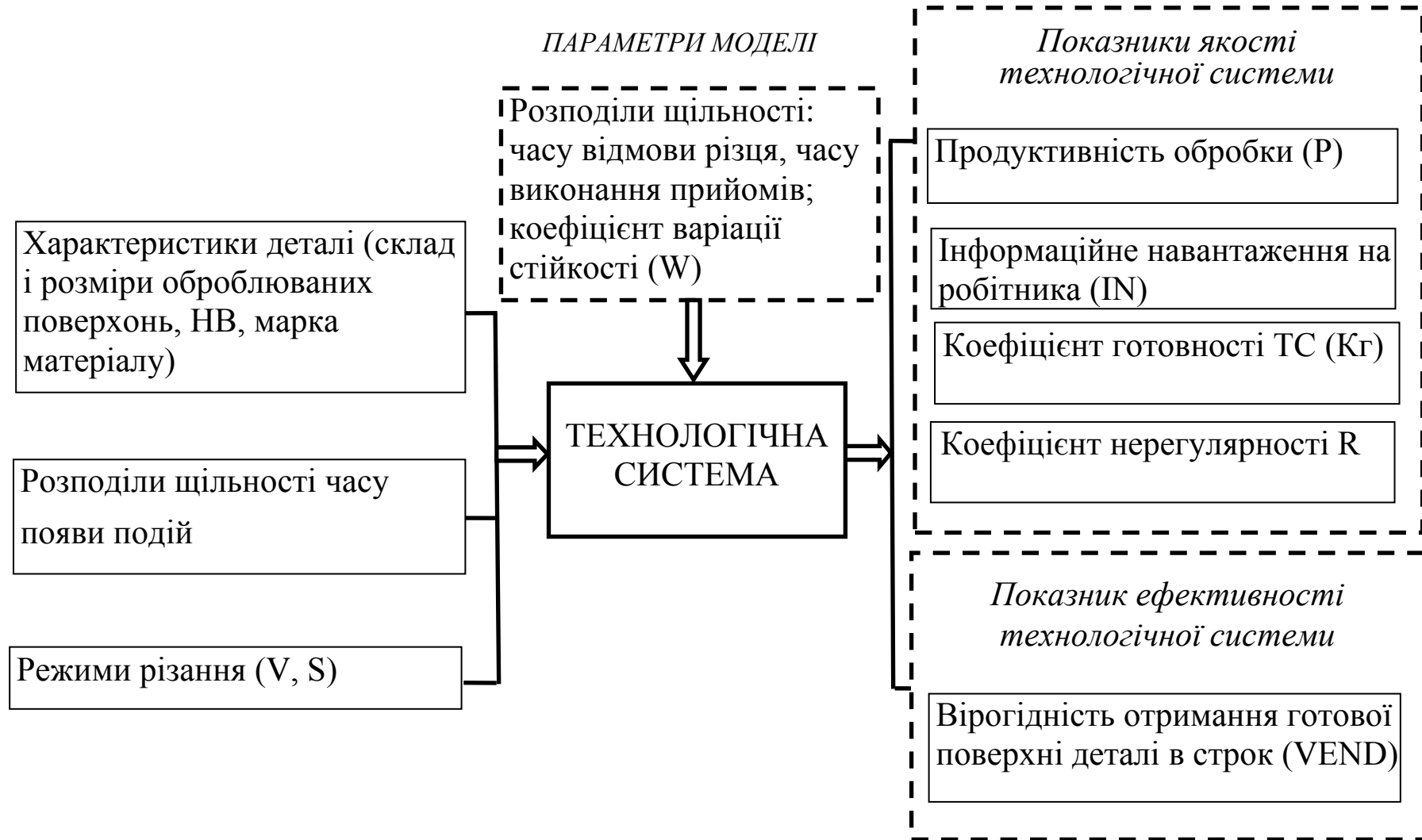


Рисунок 5.7 – Змінні моделі функціонування технологічної системи

Для реалізації моделі використовувалося імітаційне моделювання, а характеристики оцінювалися шляхом обробки результатів моделювання системи. Імітаційна модель є програмною реалізацією на комп'ютері, а імітаційне моделювання зводилося до проведення експериментів з моделлю шляхом багатократного прогону програми з множиною даних.

Випадкові чинники оцінювалися за допомогою статистичного моделювання, в основі якого лежить метод Монте-Карло [106,107]. За допомогою отриманих даних розраховуються показники функціонування ТС, наприклад, продуктивність різання, коефіцієнт готовності.

Модель реалізована мовою моделювання GPSS, орієнтованою на процеси [118 – 122] (додаток Д). В термінах цієї мови формалізована структура концептуальної моделі представляється у вигляді блок-діаграми (рис. 5.8), в якій блоки відображають виконувані над динамічним елементом системи (транзактом) операції, а стрілки між блоками – напрям руху транзактів.

Для програмної реалізації імітаційної моделі створюються підпрограми: генерація програмного коду мовою GPSS для випадку передачі повідомлень, робота з функціями, завдання текстів заголовків для функцій, змінних, таблиць, збір статистичних даних про роботу елементів моделі.

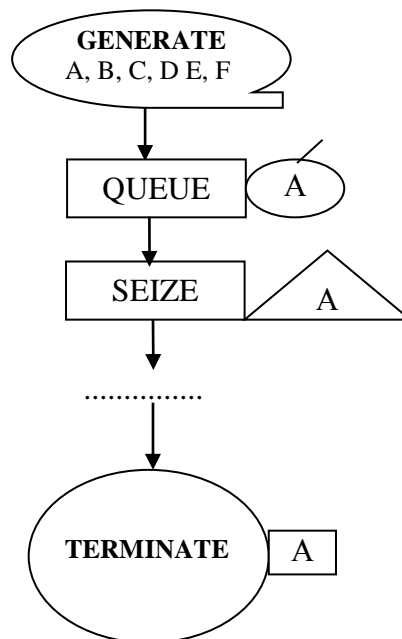


Рисунок 5.8 – Приклад блок-діаграми для опису структури моделі в середовищі GPSS

5.2.3 Кількісна оцінка діяльності робітника

У діяльності робітника завжди є елементи логічних висновків, що відповідають процесам планування діяльності, ухвалення рішень, моделювання майбутніх дій, і є елементи виконання заданих ззовні або складених самим виконавцем алгоритмів і програм поведінки. У роботі прийнято перший тип дій описувати логічною умовою. Другий тип – оператором. Аналіз процесів функціонування ТС за участю людини показує, що процеси планування і виконання переважаються. Для таких випадків підходить апарат моделювання у вигляді алгоритму (додаток В). Тоді оператор – ця елементарна дія, що сприймається як єдине ціле, а логічна умова визначає, який з можливих операторів матиме місце при виконанні або невиконанні цієї умови. Найважливішою перевагою такого підходу є можливість алгоритмічно описати не лише зовнішні фізичні дії робітника, але і його розумову діяльність, дослідити вплив складності алгоритму на якість роботи, обґрунтувати міру автоматизації трудового процесу, розподіл функцій між людиною і машиною.

В якості кількісних характеристик трудового процесу, що встановлюють його зв'язок з можливостями верстатника, приймалися коефіцієнти стереотипності, логічної складності [104]. Показники стереотипності і логічної складності визначалися на основі аналізу алгоритмів діяльності робітника [104, 123]. Поняття елементарності відносно і залежить від особливостей системи, що виконує ці операції. Критерієм елементарності операцій при аналізі діяльності робітника є його здатність виконувати їх як єдиний цілісний акт. В якості елементарних операцій при алгоритмічному аналізі приймають оператори (O_i) і логічні умови (L_j), наприклад при вимірі деталі (рис. 5.9), оператори це $O_1 - O_6$, а логічні умови позначені як $L_1 - L_8$. Найбільш інформативними кількісними показниками, які можуть бути вчислені при алгоритмічному записі трудового процесу, є нормовані показники стереотипності і логічної складності [104]:

$$K_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n_0} \frac{m_{0i}^2}{m_i}, \quad (5.3)$$

де N – кількість членів алгоритму;

m_{0i} – кількість елементарних операторів в кожній комплексній групі;

m_i – кількість елементів в комплексній групі;

n_L – кількість груп логічних умов.

Показник стереотипності досягає максимального значення, коли в алгоритмі немає логічних умов, тобто послідовність дій верстатника однозначно детермінована і не залежить ні від яких умов. Якщо діяльність оператора має максимальне число можливих варіантів, її стереотипність найменша.

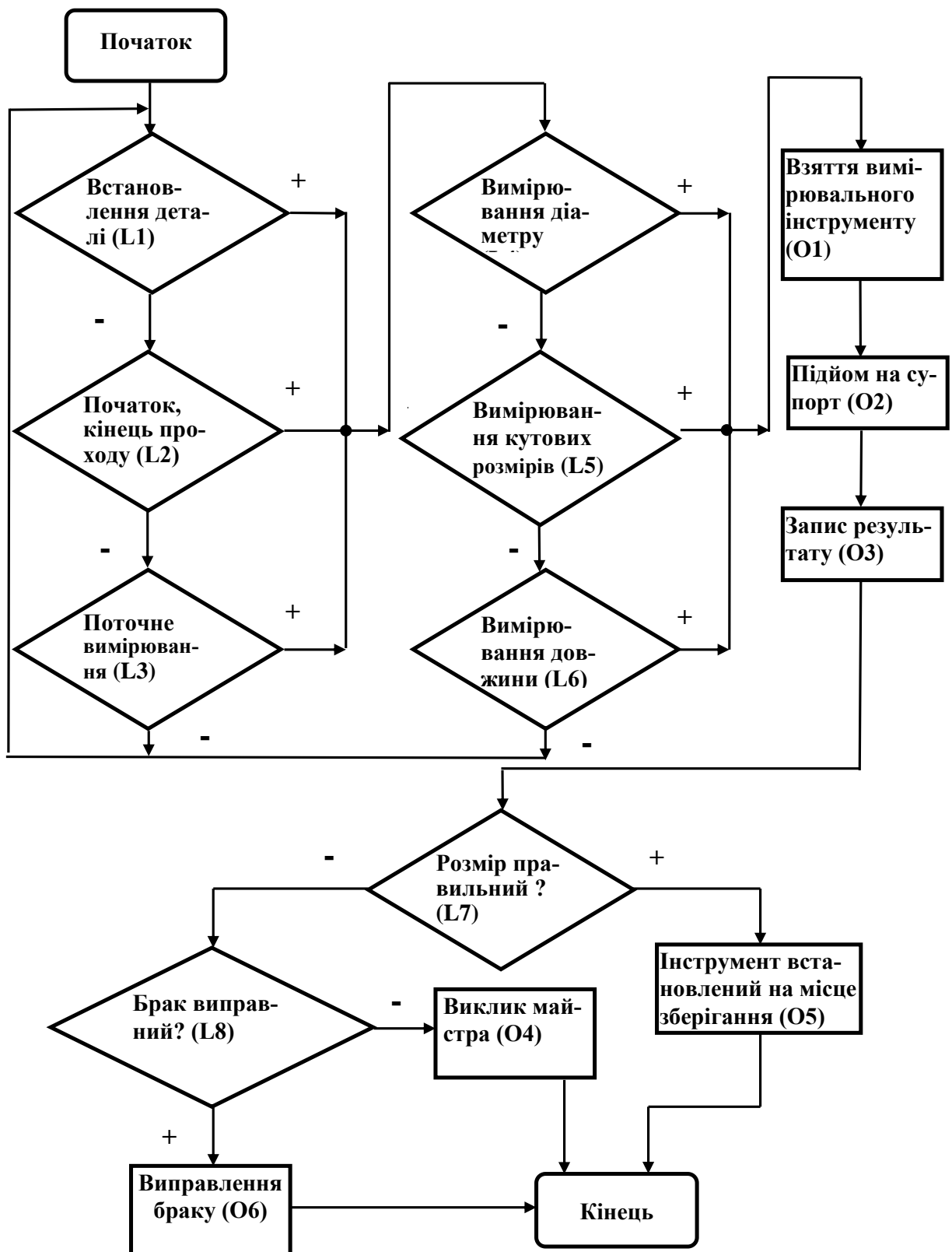


Рисунок 5.9 – Алгоритм діяльності робітника при вимірі деталі

5.3 Планування імітаційного експерименту при дослідженні технологічної системи

Предметом моделювання був вибір істотних чинників для управління ТС і оцінки якості ТП і побудова виду функцій, що апроксимують продуктивність системи, показники надійності, інформаційне навантаження на верстатника, коефіцієнт нерегулярності процесу. Для цього на ЕОМ програвалися різні варіанти моделі. Основою для використання імітаційного моделювання послужив розгляд обчислювального процесу як експерименту, що пристосовується до особливостей кожного конкретного завдання і кожного конкретного алгоритму [107]. Перебір варіантів має бути цілеспрямованим, організованим і оптимальним. Саме для цих цілей застосовувалася математична теорія планування експерименту, яка відіграє в імітації провідну роль [100, 103].

При експериментальному дослідженні систем ставиться завдання вивчення впливу чинників системи на вихідну величину за допомогою полінома або іншого виду залежності, яка апроксимує заздалегідь невідому функцію відгуку, адекватно описуючи поведінку системи в заданій області факторного простору. Поліноміальна залежність дає можливість виявити вплив на функцію відгуку не лише кожного з чинників, але також і їх комбінацій за умови, що поліном містить той член, що відповідає цій комбінації. Коефіцієнти при незалежних змінних в апроксимуючому поліномі відбивають рівень впливу чинників.

При вивченні взаємозв'язків між змінними величинами необхідно в першу чергу встановити, до якого типу залежностей відноситься досліджувана: 1) залежність між не випадковими змінними; 2) залежність випадкової змінної від не випадкової змінної; 3) залежність між двома випадковими величинами [101]. В даному випадку маємо другий і третій випадок.

Загальне завдання полягало в тому, щоб за спостереженнями $(X(1), Y(1)), \dots (X(n), Y(n))$ оцінити параметри моделі, побудувати довірчий інтервал для параметрів, перевірити гіпотезу про значущість регресії, оцінити міру адекватності моделі.

Перш ніж приступати до дослідження конкретного виду зв'язку між даними змінними з'ясовували, чи існує взагалі цей зв'язок. Для опису міри тісноти зв'язку використаний коефіцієнт кореляції, який визначався в результаті проведення кореляційного аналізу, підсумки якого представлялися у вигляді кореляційної матриці [125 – 127]. Після того, як було встановлено, що досліджувані величини y і x пов'язані деяким співвідношенням, за допомогою регресійного аналізу виводилися відповідні емпіричні рівняння зв'язку між ними.

Пошук параметрів моделі проводився за допомогою методу найменших квадратів. Гіпотеза про значущість регресії перевірялася за допомогою рівня значущості $p < 0,05$. Оскільки залежності нелінійні, оцінка відповідності

теоретичної і емпіричної ліній регресії проводилася за величиною коефіцієнта детермінації [101]:

$$R^2 = S_{Y^2} / S_y^2, \quad (5.4)$$

де S_{Y^2} – факторна дисперсія;

S_y^2 – загальна дисперсія досліджуваного параметра.

Коефіцієнт детермінації вимірює долю розкиду незалежної змінної відносно середнього значення, яку пояснює побудована регресія. Він також вимірює якість побудованої регресії, чим він ближче до 1, тим краще регресія відображає залежність між даними. Аналіз адекватності коефіцієнтів моделі ґрунтувався на аналізі залишків. В умовах нормального розподілу залишків модель є найбільш точною [102].

Після того, як на підставі кореляційного аналізу були виявлені чинники, що роблять найбільш значимий вплив на вихідні змінні ТС, здійснювалося планування експерименту і вибирався центральний композиційний план, що складається з куба і зірки. Куб відповідає повному факторному плану. Зірка містить додаткову групу точок, розташованих на однакових відстанях від центру куба. У цій роботі застосовувався ротатабельний план, в якому дисперсія відгуку є постійною в усіх точках, однаково віддалених від центру плану [100, 106]. Для нелінійних моделей оцінювати ефекти чинників при дробових планах непросто, оскільки тут відбувається змішування ефектів. Оцінки менше всього змішуються в центральних композиційних планах. Таким чином, в завданнях дослідження системи такі факторні плани дають можливість найточніше виявити механізм впливу чинників на досліджувану систему і, як наслідок, сформулювати найбільш обґрунтовані висновки.

У будь-якому імітаційному експерименті важливо визначити інтервали зміни параметрів моделі. У цій роботі враховувалися три основні параметри, що впливають на вибір інтервалів зміни параметрів моделі: необхідність отримання однакової відносної точності статистик на різних ділянках області виміру параметрів моделі; характер функції відгуку; призначення імітаційного експерименту.

Як чинники приймалися: коефіцієнт варіації часу напрацювання на появу подій відмови інструменту (W), доля нерегулярних подій в часі відновлення ТС, що характеризується групою стабільності GR , стійкість різця (T). Для визначення ефекту чинника, його розглядали на декількох рівнях, причому, діапазони зміни чинників були наступні: $GR = 0,095 \dots 1,0$; $0,05 < W < 1,1$; $39 < T < 240$. Кожен чинник f ($f = 3$) має 3 рівні. Загальне число комбінацій рівнів визначається добутком: $N_1, \dots, N_m = \prod_{f=1}^m N_f = 3 \cdot 3 = 9$, до них додаються 6

"зоряних" точок і центральна точка повного факторного плану, всього 16 точок. Після отримання декількох спостережень на моделі застосовувався аналіз результатів. Тобто здійснювалося послідовне планування і аналіз.

Щоб рішення були реалістичними, використовувалася інформація з двох джерел: з експерименту і з моделювання. Оцінюючи адекватність

побудови моделі, розглядали усі етапи її створення, починаючи з вхідних даних, формалізованого опису і закінчуючи результатами моделювання, тобто оцінка адекватності розглядалася на концептуальному рівні, рівні реалізації імітаційної моделі і рівні проведення прогонів моделі.

Оскільки моделювання – це експеримент в часі, то його методи використовувалися для вивчення динамічної поведінки системи. Оскільки експеримент включає вибірку значень випадкових величин з їх розподілів таке моделювання є стохастичним. Об'єм вибірки впливає на статистичну надійність оцінюваного відгуку модельованої системи. Ця надійність вимірювалася за допомогою стандартного відхилення середнього відгуку для варіантів систем, які моделювалися. Надійність можна збільшити, узявши велику вибірку. Один пробіг при моделюванні – це один рух системи від початку до кінця модельованого періоду часу. Для досліджуваної системи з остановами повторення дослідів - простий засіб, оскільки тривалість прогону це час обробки деталі і їм не можна маніпулювати [106, 111]. Для кожної реалізації використовувався набір випадкових чисел, тому отримані спостереження незалежні, що дозволило використати традиційні статистичні методи аналізу модельного експерименту [101, 102].

Для визначення кількості реалізацій для кожної точки плану при моделюванні використовувалася оцінка середнього значення випадкової величини продуктивності ТС (об'єм металу, що знімається, в одиницю часу). Згідно з центральною граничною теоремою, при великих значеннях кількості реалізацій її середнє арифметичне буде нормально розподілено з математичним очікуванням P_m і дисперсією σ . Кількість прогонів N [101], необхідне для того, щоб дійсне середнє знаходилося в інтервалі $P \pm d$ з вірогідністю α , рівно:

$$N = t^2 \Omega^2 / d^2 \quad (5.5)$$

де N – число прогонів;
 t – значення нормованого центрованого нормального розподілу з вірогідністю α (з таблиці);
 d – довірчий інтервал;
 Ω – середньоквадратичне відхилення (обчислюється на підставі перших прогонів моделі).

1. На підставі перших 3 прогонів визначили для продуктивності ТС $\sigma = 19285$.

2. Для визначення довірчого інтервалу d скористалися залежністю $2\Phi(t) = d/\sigma$, тоді $d = 2\Phi(t) \cdot \sigma$. Для достовірності $\alpha = 0.95$ при $t = 2,5$ з таблиць нормального розподілу знаходили величину $\Phi(t) = 0,494$ і визначали $d = 2 \cdot 0,494 \cdot 19285 = 19044$.

3. Підставляючи усі дані у формулу 5.4, маємо: $2,52 \cdot 19285^2 / 19044^2 = 6,33 \approx 7$ прогонів. Згідно планування експерименту потрібні 16 прогонів з різними комбінаціями рівнів чинників. Всього маємо $16 \cdot 7 = 112$ прогонів.

РОЗДІЛ 6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІД ЧАС РІЗАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

6.1 Дослідження часу відновлення технологічної системи

6.1.1 Структура і закони щільності розподілу часу відновлення, пов'язаного з обслуговуванням вимог від деталі

Процес обробки деталей включає різання, здійснюване інструментом, і відновлення ТС, що виконується верстатником. Розглянемо час відновлення ТС як важливий параметр механообробки. З одного боку – це час відновлення системи, з іншого боку, це час зайнятості робітника, тобто параметр одночасно характеризує технічну і ергатичну частини ТС.

Аналіз цього параметра включав створення на підставі даних про предметну область, зібраних на токарних верстатах (характер даних приведений в розділі 4.1), структури часу виконання трудового прийому і комплексу прийомів, визначення законів щільності розподілу часів виконання трудових прийомів або комплексів прийомів, визначення коефіцієнтів варіації і середнього часу [101, 102]. Основна увага в роботі приділяється обробці деталі на рівні проходу і переходу. Проаналізуємо комплекси прийомів по налаштуванню на прохід і перехід.

Розглянемо структуру часу відновлення для комплексу трудових прийомів при налаштуванні на новий прохід (рис. 6.1), тривалості часу (рис. 6.2) і вірогідності їх появи (рис. 6.3).

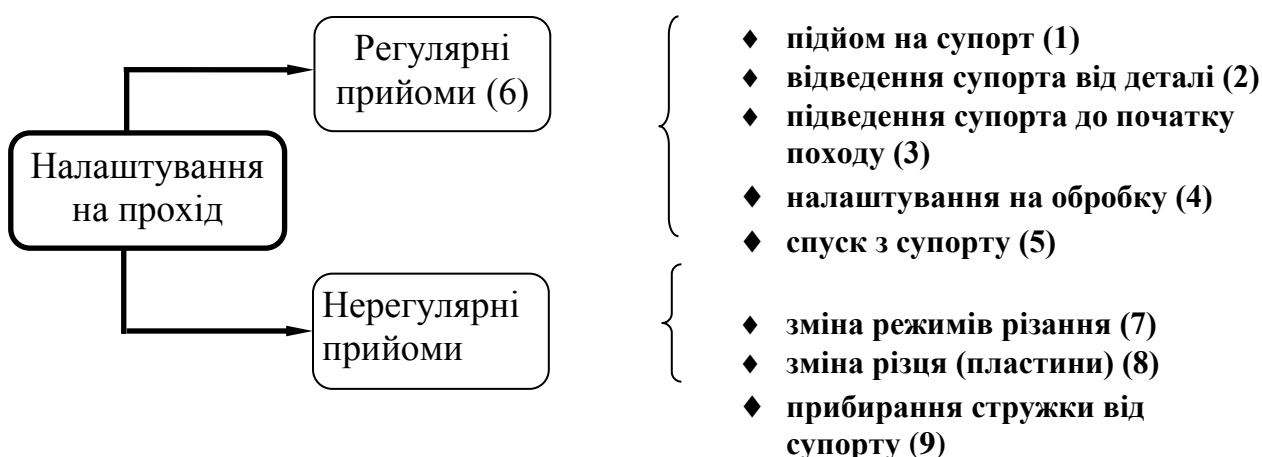
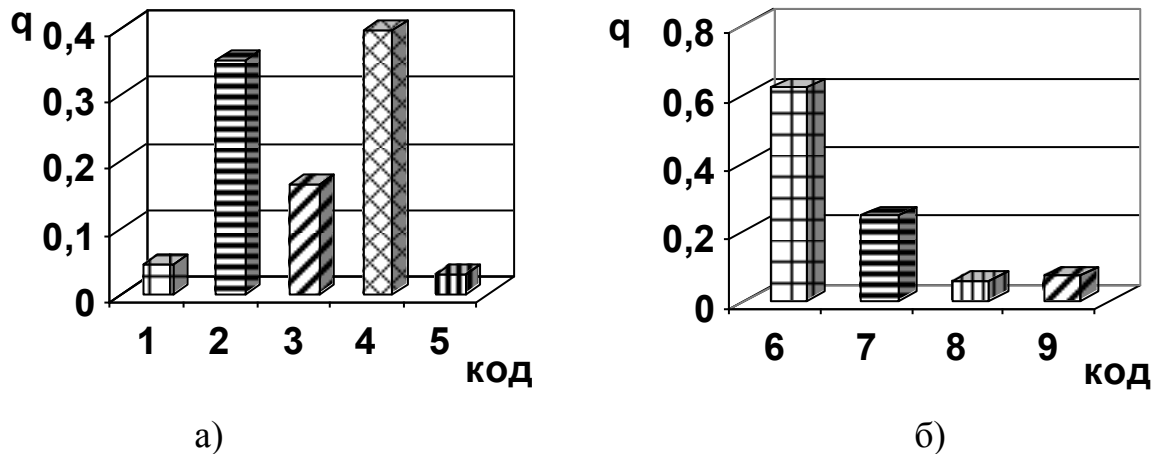


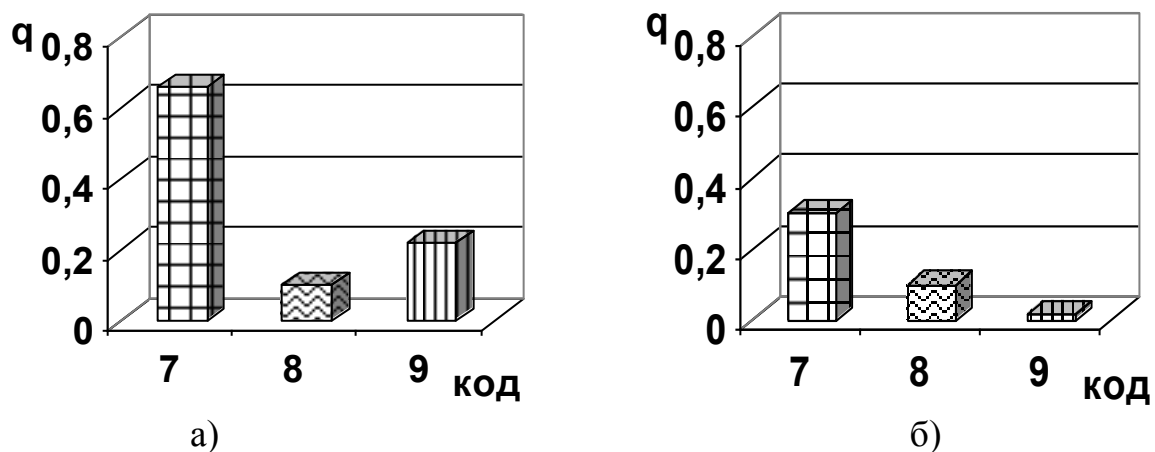
Рисунок 6.1 – Структура часу відновлення для комплексу трудових прийомів при налаштуванні на прохід

Аналіз даних показав, що комплекс містить регулярні прийоми, здійснювані завжди, щоб забезпечити безперервність діяльності (коди 1...5 на рис.6.1), і нерегулярні, виконувані з деякою вірогідністю (коди 7...9 на рис. 6.1).



а – регулярні трудові прийоми; б – нерегулярні трудові прийоми для $D_c = 1600$ мм

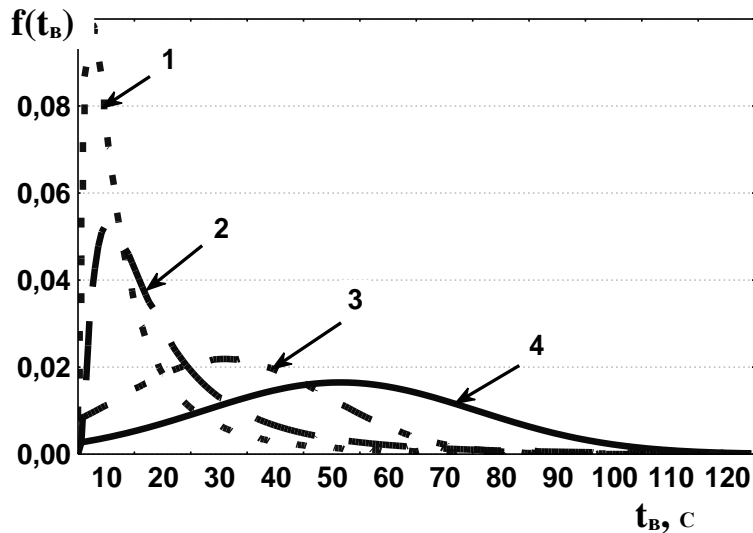
Рисунок 6.2 – Співвідношення тривалості часу виконання трудових прийомів при налаштуванні на прохід



а – для $D_c = 1600$ мм; б – для $D_c = 2800$ мм

Рисунок 6.3 – Діаграма значень вірогідності появи нерегулярних трудових прийомів при налаштуванні на прохід

Статистична обробка часу виконання трудових прийомів (1...5) показала, що закони щільності розподілу часу носять лог-нормальний характер (рис. 6.4, рис. 6.5). Трудові прийоми 1...5 об'єднувалися в комплекс трудових прийомів 6 (залежність 4), і аналізувався час виконання цього комплексу.

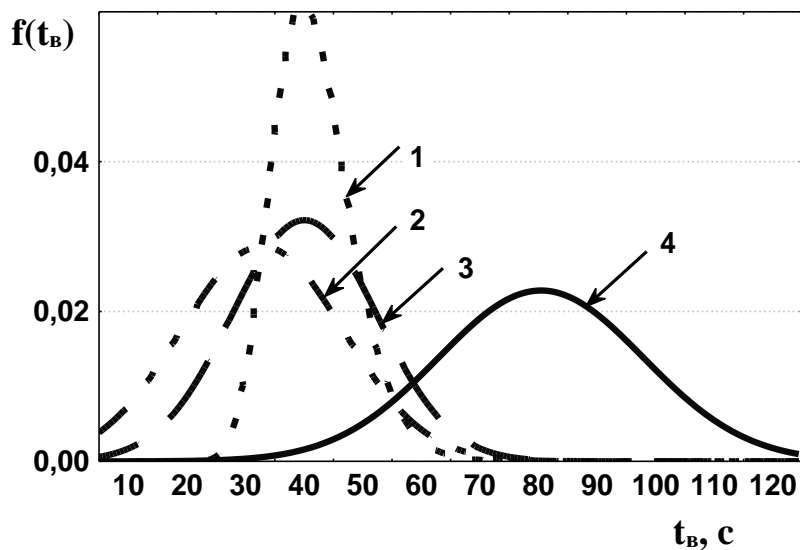


1 – переведення супорта до початку проходу;

2 – підведення супорта до деталі;

3 – налаштування на обробку; 4 – загальний час налаштування на прохід

Рисунок 6.4 – Графік щільності розподілу часів налаштування на прохід для регулярних прийомів $D_c = 1600$ мм



1 – переведення супорта до початку проходу;

2 – підведення супорта до деталі;

3 – налаштування на обробку; 4 – налаштування на прохід

Рисунок 6.5 – Графік щільності розподілу часу налаштування на прохід для регулярних прийомів $D_c = 2800$ мм

Як показав аналіз тривалості виконання прийомів, велика частина часу налаштування різця на обробку пов'язана з налаштуванням на розмір (рис. 6.2, код прийому 4). Точність механічної обробки заготовок проявляється в

трьох аспектах: точність розміру, точність форми, точність розташування поверхонь, на кінцеву точність яких впливає велика кількість похибок. При розрахунково-статистичному методі сумарна похибка визначається [125]:

$$\Delta = f\left(\varepsilon, \Delta_y, \Delta_u, \Delta_n, \Delta_T, \Sigma\Delta_\phi\right), \quad (6.1)$$

де ε – похибка установки заготовки;

Δ_y – похибка, викликана пружними деформаціями технологічної системи;

Δ_u – похибка, що виникає в результаті розмірного зносу інструменту;

Δ_n – похибка настройки ріжучих інструментів;

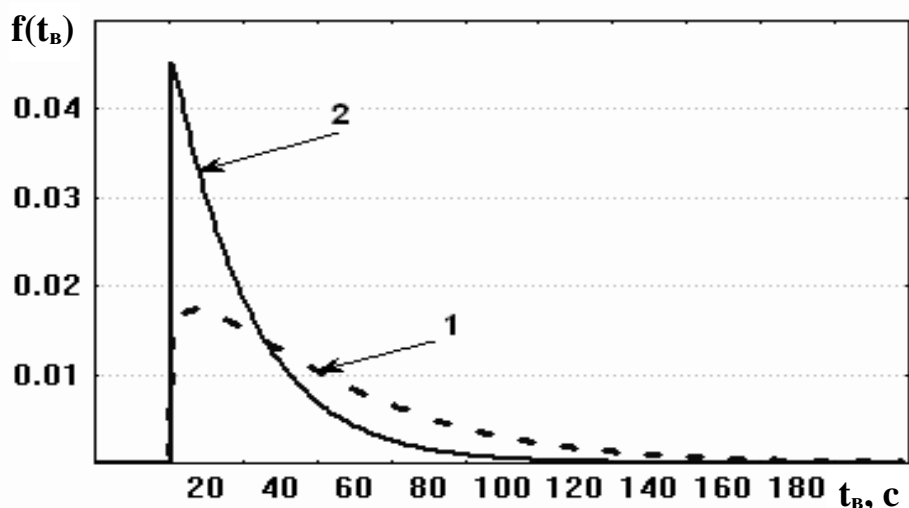
Δ_T – похибка, викликана тепловими деформаціями ТС;

$\Sigma\Delta_\phi$ – похибка від геометричних відхилень обладнання.

Похибка налаштування різального інструменту, таким чином, входить складовою частиною у величину очікуваної точності деталі. Є два принципово різних методу налаштування. Перший метод припускає визначення точності налаштування за результатами вимірів при виготовленні пробних деталей або при здійсненні пробних ходів (пробних стружок). По другому методу інструмент встановлюють відповідно до заздалегідь налагоджених розмірів на непрацюючому верстаті по еталону. На універсальних верстатах використовується метод "пробних стружок".

На верстатах з ЧПК метод "пробних стружок" використовується для визначення розміру тільки що встановленої деталі і після установки іншого різця. Потім коригується програма, розміри файлу при цьому можуть досягати до 5 мБ. Тривалість коригування залежить від кількості коригованих символів, кваліфікації робітника і коливається від 10 с до 3 хв. На тривалість налаштування на розмір впливають такі параметри, як кваліфікація робітника, розмір деталі і вимірвального інструменту, стадія обробки (рис. 6.6).

Дослідження статистичних даних тривалості налаштування на розмір для різних стадій обробки показало, що щільність розподілу тривалості може описуватися законом Вейбула з коефіцієнтами варіації $W = 0,93$ для випадку налаштування при чистовому точінні і $W = 0,92$ для випадку налаштування при чорновому точінні. Аналіз розподілів показує, що для випадку чистової обробки тривалість налаштування на розмір коливається від 3 с до 175 с при середньому значенні 42,4 с. Для чорнової обробки мінімальний час складає 2 с, максимальне 77 с, а середнє 20,8 с. Такі результати пояснюються тим, що при чистовому точінні припуски складають доли міліметра, крім того ця стадія обробки відповідальна за кінцеву точність виробу, тому робітник ретельніше налаштовується на розмір при цьому виді обробки.



1 – чистове точіння, 2 – чорнове точіння
Рисунок 6.6 – Розподіл часу налаштування на розмір

У нормативах неповного штучного часу налаштування на розмір не виділене. Воно враховується в допоміжному часі, пов'язаному з переходом і зміною інструменту. Попри те, що тривалість налаштування на розмір складає декілька хвилин, її значущість для забезпечення точності деталі велика. Крім того, при виконанні цього комплексу прийомів робітник виконує велике число логічних операцій, що змінює характер навантаження на нього, а його діяльність при цьому стає більше творчою.

Аналіз щільності розподілу часу виконання усього комплексу регулярних прийомів (код 6) показав, що воно з достатньою мірою точності описується лог-нормальним законом (рис. 6.7). Залежно від розміру верстата середній час збільшується від 46 с для верстатів з $D_c = 1600$ мм до 75 с у $D_c = 2800$ мм.

Розглянемо час налаштування на прохід з урахуванням нерегулярних прийомів (код 7, 8) (рис. 6.7). Для цього будемо суперпозицію законів щільності розподілу часу для комплексів трудових прийомів 6, 7, 8, вірогідність появи комплексів прийомів 7, 8 приведена на (рис. 6.3).

Налаштування на прохід, зміна різця, вимір деталі мають лог-нормальні закони щільності розподілу часу, суперпозиція цих законів – лог-нормальний, рідше нормальний закон розподілу (рис. 6.7).

Розглянемо наступний комплекс прийомів – налаштування на перехід. Аналіз даних про предметну область підтверджує наявність в структурі часу відновлення комплексу постійно виконуваних прийомів (коди 1–4) і виконуваних з деякою вірогідністю (коди 6–8) (рис. 6.8)

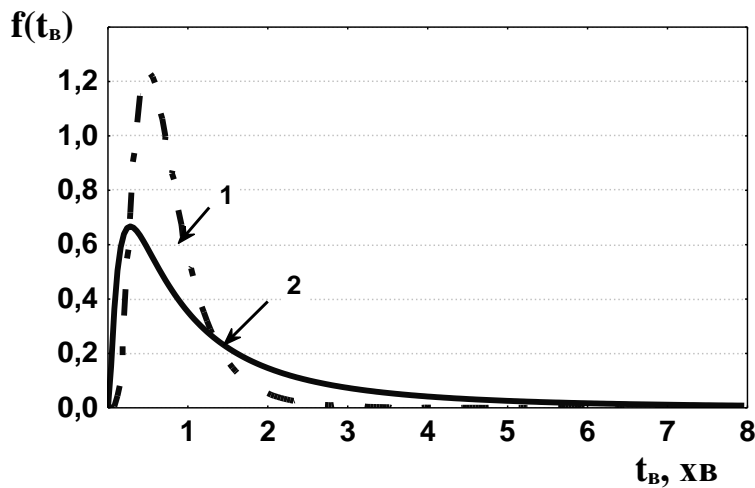
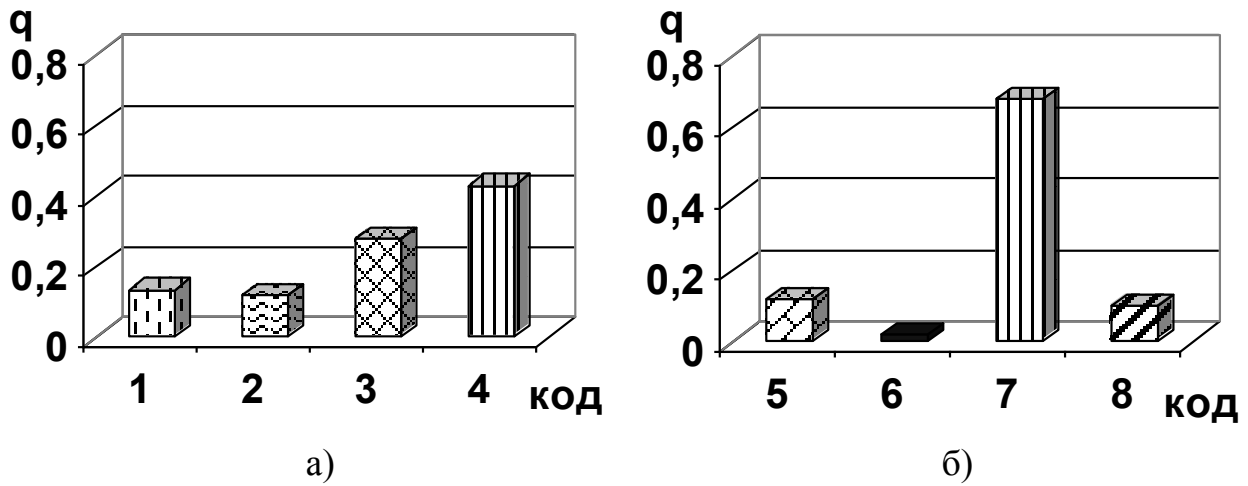


Рисунок 6.7 – Графік розподілу часу налаштування на прохід для регулярних прийомів (1) і суперпозиція щільності розподілу часу налаштування на прохід з урахуванням нерегулярних прийомів (2)



Рисунок 6.8 – Структура часу для виконання комплексу трудових прийомів при налаштуванні на перехід

Аналіз тривалості виконання прийомів (рис. 6.9) виявив, що найбільш трудомістким серед регулярних прийомів є вимір деталі, який в цьому випадку робиться за допомогою вимірювального інструменту незалежно від міри автоматизації верстата. Робітник проводить перевірку параметрів вже обробленої деталі і налаштування на обробку нової поверхні. Найбільша тривалість вимірів після переустановлення деталі. В процесі обробки, якщо вона здійснюється на верстаті з ЧПК, поточний розмір контролюється за допомогою приладу і відображається на пульті. На універсальних верстатах контроль розміру проводиться вручну за допомогою вимірювальних інструментів.



а – комплекс регулярних трудових прийомів; б – комплекс нерегулярних і суми регулярних трудових прийомів для $D_c = 1600$ мм

Рисунок 6.9 – Співвідношення тривалості часу виконання трудових прийомів при налаштуванні на перехід

Серед нерегулярних прийомів найбільш тривале прибирання стружки із зони різання і від супорта перед виконанням нового переходу (рис. 6.10).

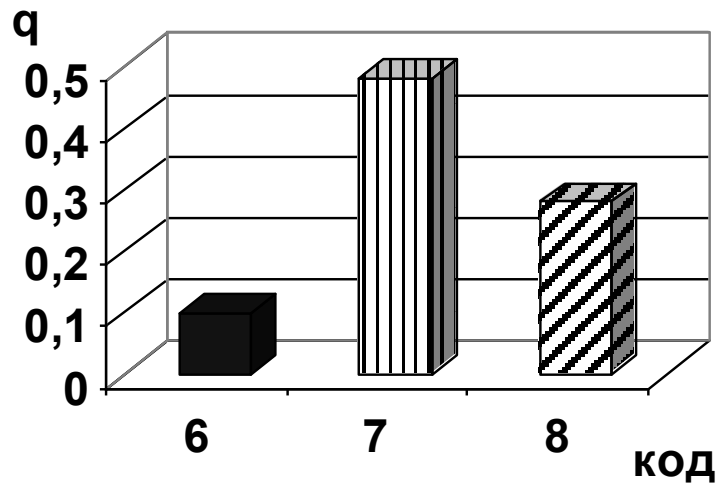


Рисунок 6.10 – Діаграма значень вірогідності появи нерегулярних прийомів при налаштуванні на перехід $D_c = 1600$ мм

Аналізувався розподіл щільності часу виконання регулярних трудових прийомів 1, 2, 3, 4 (рис. 6.11). З достатньою мірою точності воно може описуватися лог-нормальним законом розподілу.

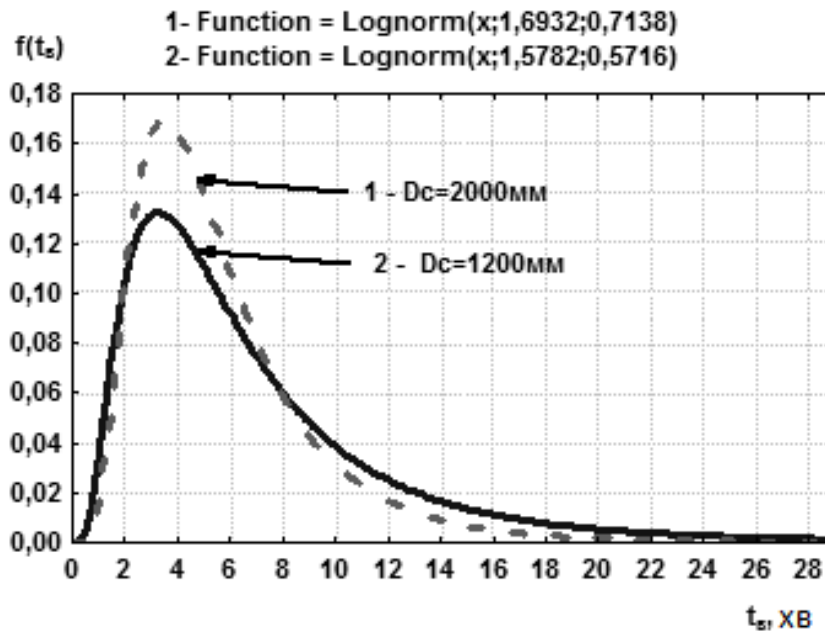


Рисунок 6.11 – Графік щільності розподілу часу виконання обов'язкових прийомів при налаштуванні на перехід для верстатів різних розмірів

Деталізуємо, з чого складаються повні комплекси прийомів при вимірюванні деталі (рис. 6.12). Вимірювання деталі містить регулярну і нерегулярну складову. Нерегулярна складова найчастіше зводиться до пошуку вимірювального інструменту. Це пов'язано з тим, що деякі вимірювальні інструменти розподіляються по одному на декілька верстатів.



Рисунок 6.12 – Структура регулярних і нерегулярних трудових прийомів при вимірі деталі

Найбільша тривалість серед регулярних прийомів у виміру, взяття інструменту (рис. 6.13), а серед нерегулярних – у пошуку інструменту (рис. 6.14).

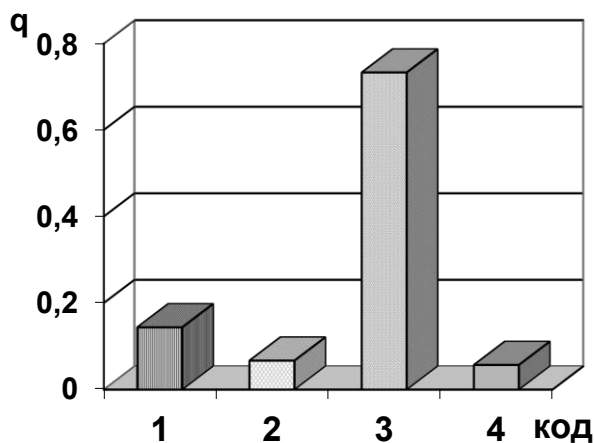
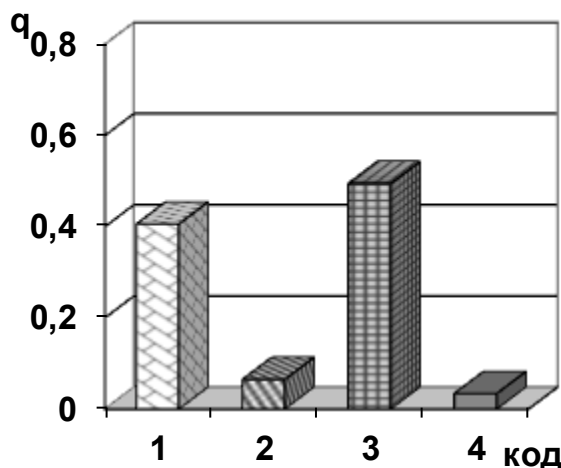


Рисунок 6.13 – Співвідношення тривалості часів виконання трудових регулярних прийомів при вимірі деталі для верстатів з $D_c = 2800$ мм, $D_c = 1600$ мм

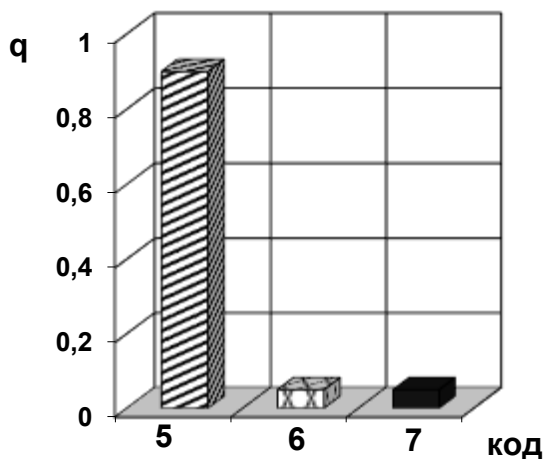
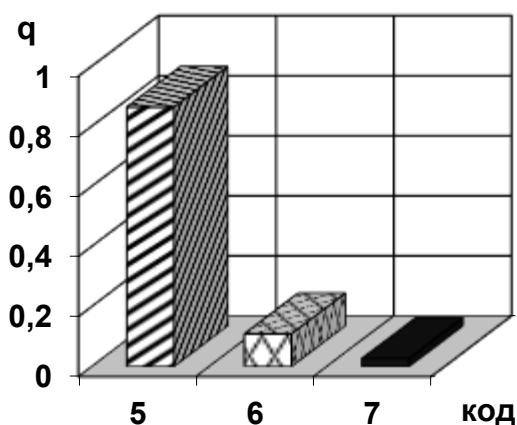


Рисунок 6.14 – Співвідношення тривалості часів виконання нерегулярних трудових прийомів при вимірі деталі для верстатів з $D_c = 2800$ мм, $D_c = 1600$ мм

Як видно з діаграм, якщо інструмент виділяти кожному верстатникові, щоб виключити його пошук, можна скоротити час виміру на 20...25%.

На підставі отриманих даних по структурі часу виміру, по частоті прийомів, що зустрічаються (рис. 6.15), і по їх тривалості побудована суперпозиція часу виміру деталі з урахуванням нерегулярних прийомів (рис. 6.16, залежність 4), а також розподіл щільності часу виконання окремих прийомів по виміру деталі.

Статистична обробка часу виміру деталі показала, що його щільність розподілу може описуватися лог-нормальним законом. Розсіювання часу виміру пов'язане з появою необов'язкових прийомів, а також з тим, що

вимірюватися можуть різні параметри: довжина проходу, довжина деталі, діаметр деталі, кутові розміри.

Коефіцієнт варіації часу виміру деталі коливається в межах 0,32...0,66 для $D_c = 1600$ мм и 0,479...1,091 для $D_c = 2800$ мм.

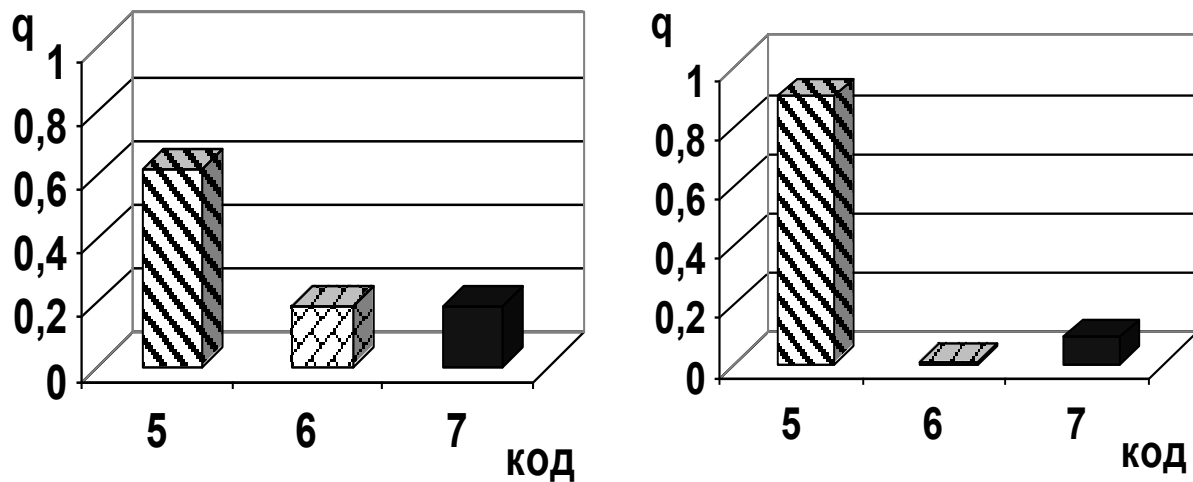
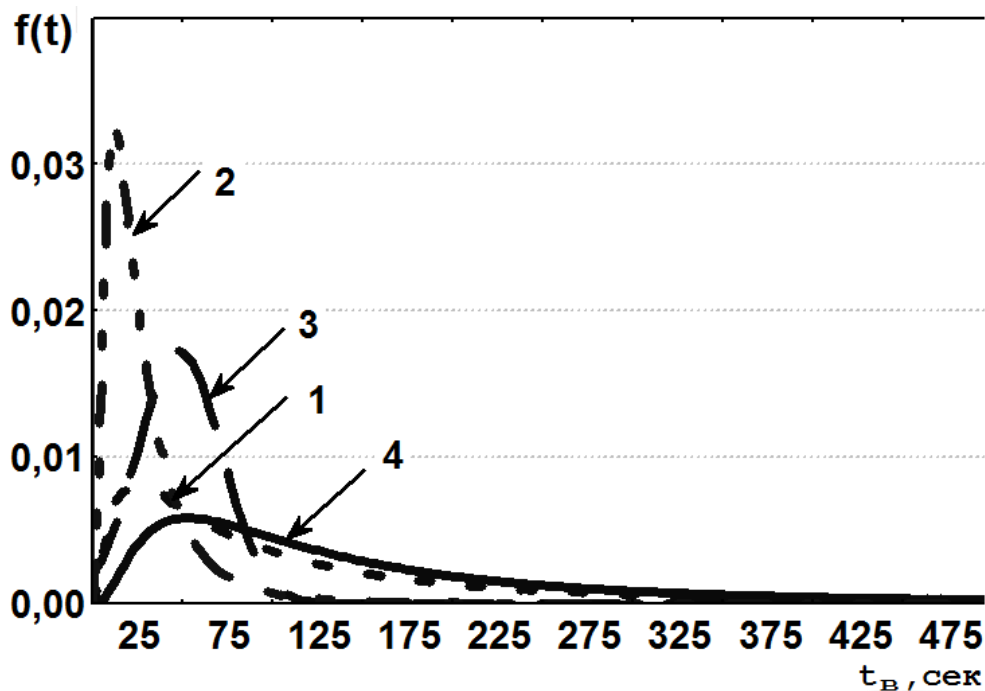


Рисунок 6.15 – Діаграма значень вірогідності появи нерегулярних прийомів при вимірі деталі для верстатів з $D_c = 2800$ мм, $D_c = 1600$ мм



1 – вимір деталі, 2 – запис результатів, 3 – пошук вимірювального інструменту, 4 – суперпозиція часів виміру деталі 1-3

Рисунок 6.16 – Графіки щільності розподілу години регулярних і нерегулярних прийомів при вимірі деталі на верстатах з $D_c = 2800$ мм

Розглянемо комплекс прийомів при налаштуванні на перехід перевстановлення деталі (рис. 6.17, рис. 6.18).

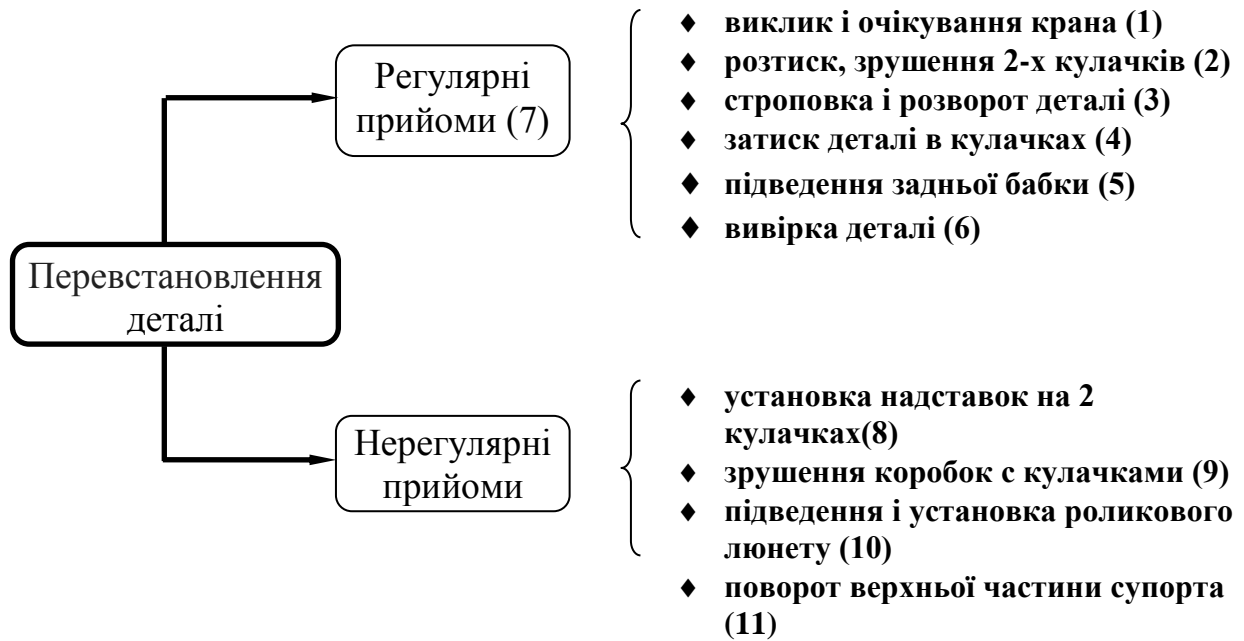
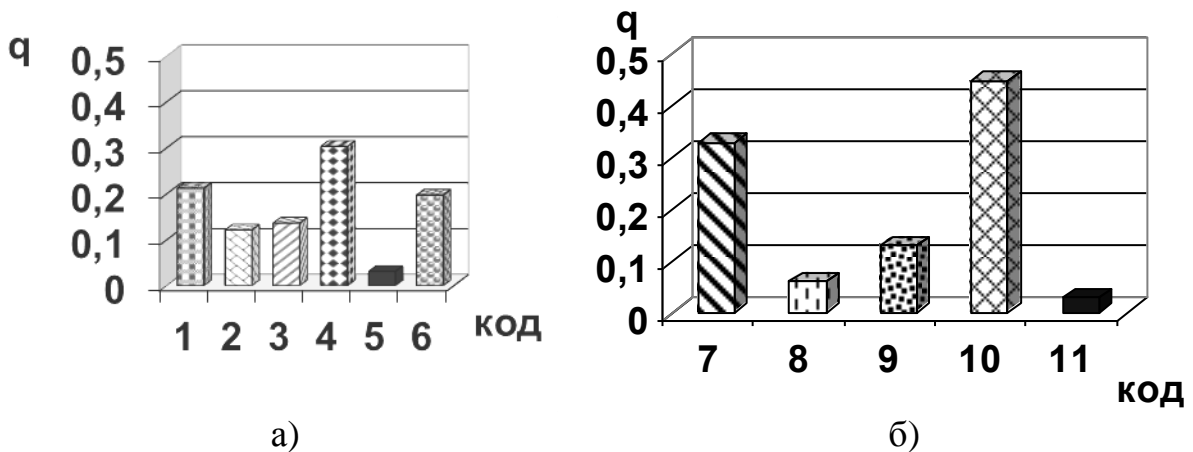


Рисунок 6.17 – Структура регулярних і нерегулярних трудових прийомів при перевстановленні деталі



a – регулярні; *б* – нерегулярні прийоми $D_c = 1600$ мм

Рисунок 6.18 – Співвідношення тривалості часу виконання трудових прийомів при перевстановленні деталі

Серед регулярних прийомів (рис. 6.18) найбільш тривалими є затиск (код 4) і вивірка деталі (код 6), очікування підйомного крану (код 1). Причому втрати часу на очікування крану більше, ніж тривалість відповідальної технологічної операції – вивірка деталі. Найбільш тривалий нерегулярний прийом встановлення роликового люнету (код 10). Його тривалість більша, ніж час, що витрачається на усі регулярні прийоми (код 7). Щільність

розподілу загального часу виконання регулярних і нерегулярних прийомів налаштування на перехід з достатньою точністю описується лог-нормальним законом розподілу.

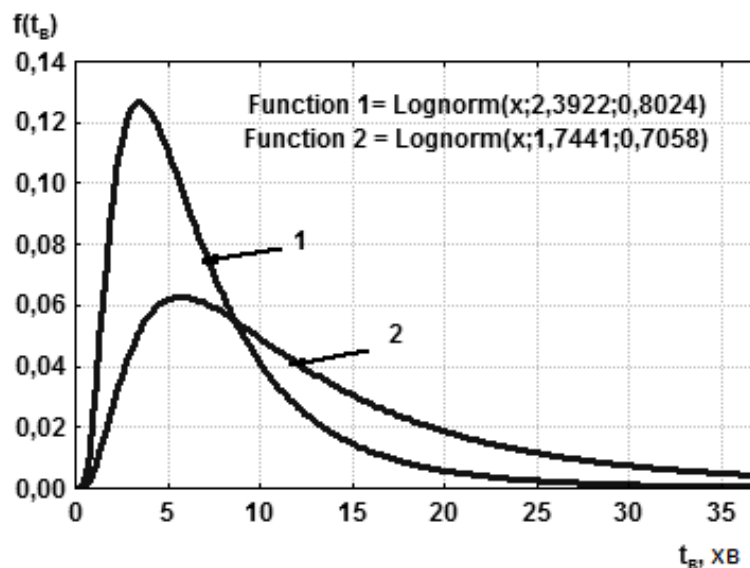


Рисунок 6.19 – Графік щільності розподілу часу налаштування на перехід для регулярних прийомів (1) і суперпозиція часу налаштування на перехід з урахуванням нерегулярних прийомів (2) для $D_c = 1600$ мм

Аналіз структури часу вказує на резерви заощадження часу при перевстановленні деталі. Це передусім очікування підйомного крану, тривалість якого більша, ніж час вивірка деталі – операції, яка забезпечує точність оброблюваної деталі. Затиск деталі в кулачках на універсальному токарському верстаті здійснюється вручну за допомогою ключа, на який в якості важеля одягається труба, по якій молотом ударає робітник. Можна переоснастити верстат досконалішим механізмом регулювання положення кулачків, як це зроблено на верстатах з ЧПК. Тут затиск робітник здійснює за допомогою невеликого ключа.

Порівняємо інші прийоми по управлінню і обслуговуванню універсальних верстатів з відповідними прийомами для верстатів з ЧПК (таблиця. 6.1).

Більш окремі випадки заточування різців на верстатах з ЧПК відображають той факт, що для цієї групи устаткування прийнята інша система організації інструментозабезпечення, використання конструкцій різців із змінними непереточуваними пластинами, блокового інструменту, що встановлюється на ламелі верстата з ЧПК, створює кращі умови для зберігання інструменту на робочому місці і в коморі. Зміна інструменту і діагноста його відмови залишається функцією робітника, оскільки він проводить її за декількома параметрами, а наявні датчики прогнозують по одному параметру. Наприклад, на автоматичній лінії на заводі "Червоний пролетар" для прогнозування відмови інструменту використовувався датчик

Таблиця 6.1 – Порівняльний аналіз трудових прийомів при роботі на верстатах з ЧПК і універсальних верстатах

Найменування комплексу прийомів для універсальних верстатів	Відмінності для верстатів з ЧПК	
	Регулярні прийоми	Нерегулярні прийоми
Зміна інструменту	Відмінностей немає	Заточування використовується рідше, оскільки використовується інструмент в основному з непереточуваними пластинами
Вимір деталі	Використовується при установці нової деталі або нового різця, в інших випадках робітник зчитує значення розміру на табло	Відмінностей немає
Прибирання стружки із зони різання	Відмінностей немає	Відмінностей немає
Зміна режимів різання	Коригування програми	Відмінностей немає
Налаштування на новий перехід	Зміна режимів і координат вершини різця за допомогою коригування програми	Відмінностей немає
Налаштування на новий прохід	Відмінностей немає	Зміна режимів і координат вершини різця за допомогою коригування програми
Установка і перевстановлення деталі	Використовується інший інструмент для розкріплення кулачків	Використовується закритий люнет

діагностики по моменту, що крутить, який вбудований в головний привід, але достовірність його діагнозу виявилася невисокою.

На верстатах з ЧПК робітник виконує ряд нових дій. Комплекс прийомів по виміру деталі в порівнянні з таким для універсальних верстатів включає зчитування поточного розміру з табло, а зміна режимів різання, здійснюються через коригування програми, яка потім здійснює вказані зміни. Налаштування на перехід і прохід може проводитися робітникам вручну або програмно залежно від міри автоматизації верстата. Налаштування на розмір, що є частиною налаштування на перехід або прохід, при установці нової деталі або інструменту проводиться робочим.

Таким чином, вивчення прийомів по управлінню і обслуговуванню верстатів з ЧПК показало, що вони мають багато спільного з приведеними вище прийомами для універсальних верстатів. Отже, рекомендації для універсальних верстатів можуть використовуватися для верстатів з ЧПК.

6.1.2 Структура часу відновлення, пов'язаного з відмовою інструменту

Розглянемо відновлення, пов'язане з відмовою інструменту для різних конструкцій різців (ВНП, напайний, ЗБП). Аналіз даних, зібраних за допомогою хронометражу і моментних спостережень проведений за допомогою діаграм, які показують, як прийоми відрізняються по тривалості і як їх склад залежить від конструкції різця.

Систематизація структури дозволяє виділити дві складові комплексу: регулярні прийоми, які робляться завжди, і нерегулярні, які здійснюються з деякою вірогідністю.

Регулярні прийоми детерміновані завданням виконуваної діяльності – без них не можна оновити різальне лезо і почати різання, нерегулярних часто можна уникнути або, принаймні, звести їх до мінімуму. У більшості випадків вони викликані недоліками організаційної або технічної підготовки виробництва.

Комплекс нерегулярних прийомів складається з декількох підкомплексів: переточування інструменту, видалення часток твердого сплаву з деталі, ходіння в комору. Вірогідність їх виконання визначалася у виробничих умовах для обробки деталей типу вал і відповідно рівна 0,45; 0,15; 0,3.

При цьому час зміни зв'язано з докладанням великих фізичних зусиль, витрат енергії, а іноді і з травмою робітника (мали місце випадки падіння верстатника з супорта при закріпленні різця). Пошук інструменту або його деталей, наприклад, різальної пластинки з певних сплавів, а також відповідних форм і розмірів може перетворитися на проблему, якщо на робочому місці немає спеціальних шафок, доступних полицок, скриньок з добре зрозумілими позначеннями. Наявність зручних драбинок, просторого майданчика на супорті, їх огорожування не лише зменшує небезпеку, але головне – підвищує комфортність і безпеку праці, особливо при підйомі на супорт і спуску з нього з важким інструментом.

Відмітимо, що при централізованій системі інструментозабезпечення заточування інструменту робиться робітникам тільки в процесі підналадки, коли він не може знайти інструмент з геометричними параметрами різальної частини, що відповідають характеристиці цієї деталі і умовам її обробки.

Видалення частини твердого сплаву із заготовки робиться лише в деяких випадках великих поломок різальної пластини. Необхідність ходіння в інструментальну комору в незапланований верстатником, незручний для нього час, зазвичай також виникає при непередбачених обставинах, наприклад, коли підряд ламається декілька пластин і вичерпується запас інструменту на робочому місці.

Склад часу відновлення важливо оцінити і з іншої точки зору, наприклад, визначивши, які прийоми вимагають тільки фізичних зусиль

верстатника, виконуються автоматично, а які – істотної участі його свідомості, тобто ухвалення рішень. Праця верстатника, працюючого на важкому верстаті, навіть при виконанні такої, здавалося б, простої операції, як відновлення ТС після відмови інструменту, вимагає ухвалення багатьох рішень. Крім того, токарь вносить в згадані рішення коригування після закінчення кожного періоду роботи інструменту з урахуванням його стійкості, виду відмови, якості поверхні, характеристик стружки і інших результатів роботи.

Як показують дослідження, найбільший по тривалості час серед регулярних прийомів витрачається на установку (код 6), зняття різця (код 2), налаштування інструменту на обробку (код 12) (рис. 6.21). Наявність гідрозатиску різця, використання модульного інструменту скорочує час установки і зняття. Серед нерегулярних прийомів найбільша тривалість прийому "ходіння в комору". Введення централізованого забезпечення верстатника інструментом дозволяє скоротити втрати часу.

Як правило, робітник приймає рішення на основі багатокритерійного вибору, тоді як технологів не може бути повністю відома виробнича ситуація, яка впливає на вагомість критеріїв.

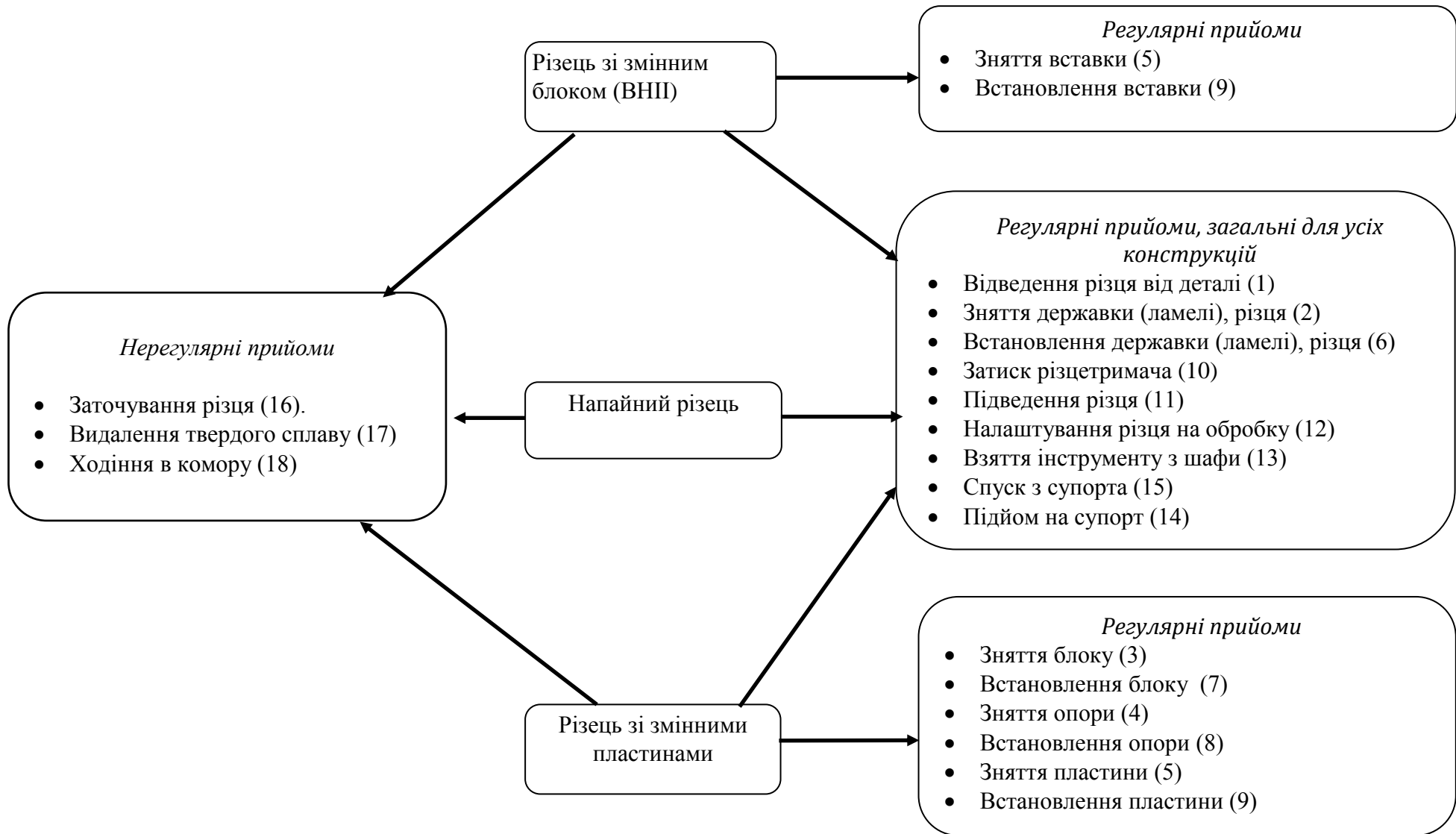
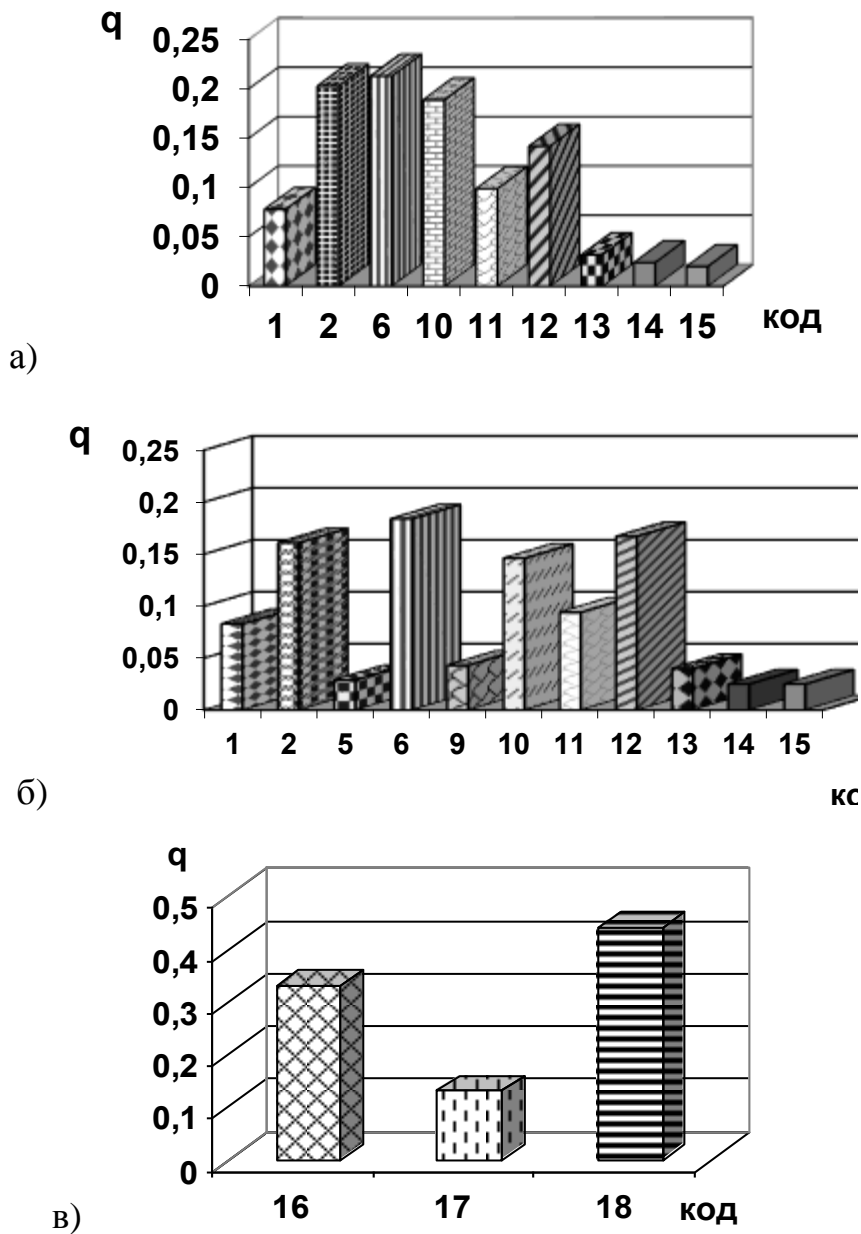


Рисунок 6.20 – Структура трудових прийомів при зміні інструменту



*а – регулярні прийомы, різець напайний; б – регулярні прийомы, різець ВНП;
в – нерегулярні прийомы*

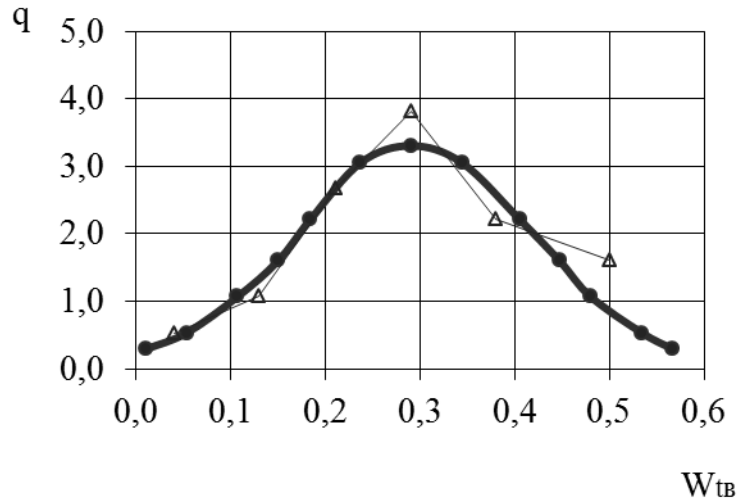
Рисунок 6.21 – Структура витрат часу при зміні інструменту

6.1.3 Прогнозування значень часу відновлення інструменту

Характер розподілу тривалості часу виконання технологічного процесу або його частини має велике значення. Якщо розподіл відповідає нормальному або близькому до нього закону, коефіцієнт варіації малий, це свідчить про високу стабільність виробництва. Наближення закону до експоненціального і відповідне зростання коефіцієнта варіації свідчать про

зниження стабільності. Момент закінчення обробки деталі є чисто випадковим і непередбачуваним, діагностика його ускладнена.

Вивчалися розподіли тривалості виконання окремих трудових прийомів по відновленню ТС, пов'язаному з відмовою інструменту. Було розглянуто 29 вибірок, що відносяться до важких токарних верстатів з $D_c = 1600 \dots 4000$ мм і $D_c = 1000$ мм. Коефіцієнт варіації часу регулярних прийомів коливається в діапазоні $W_{tb} = 0,08 \dots 0,58$ (рис. 6.22), з середнім 0,30.



Δ – емпіричні дані

Рисунок 6.22 – Розподіл коефіцієнтів варіації часів відновлення технологічної системи W_{tb}

Таким чином, більше половини випадків відповідає $W_{tb} \leq 0,25 \dots 0,30$; коли добрі результати дає нормальний закон. Великі значення параметра ($W_{tb} = 0,33 \dots 0,58$) в основному мали місце для часу зміни напайних різців.

Для таких випадків можуть бути використані різні закони розподілу. Результати апроксимації статистичних даних лог-нормальним законом, законом Вейбула і гамма-розподілом відрізняються мало. У роботі зазвичай використовувалися перші два закони. Встановлено, що розподіл часу виконання нерегулярних прийомів також підпорядкований нормальному, рідше лог-нормальному закону або закону Вейбула. Методами статистичного аналізу проведено дослідження часу зміни інструменту (рис. 6.23 – рис. 6.25).

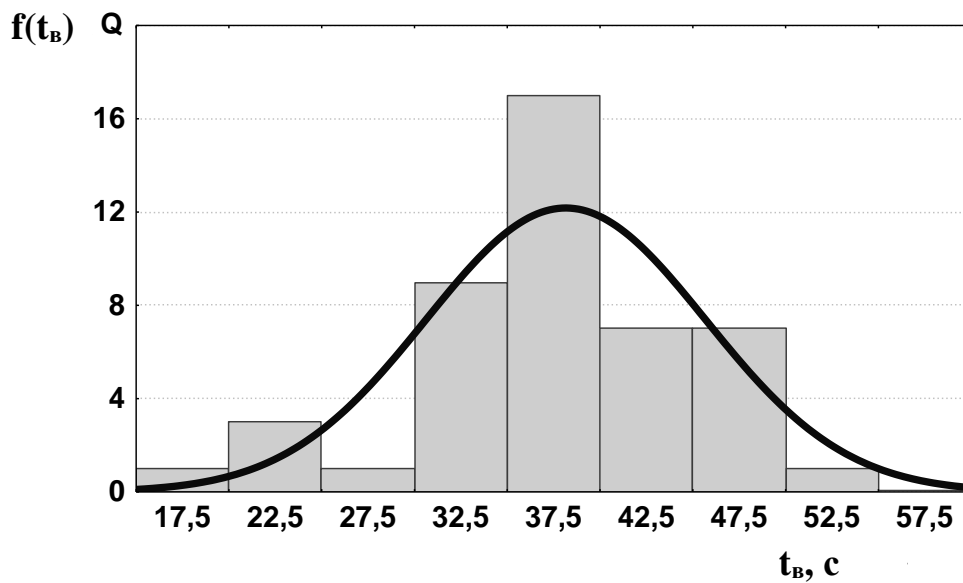
Спочатку розглядалися регулярні трудові прийоми. Будувалися графіки щільності розподілу часу виконання кожного трудового прийому. Регулярні дії при зміні інструменту – це відведення супорта, установка різця, закручування болтів різцетримача, налаштування різця на обробку, підйом і спуск з супорта.

Як показали розрахунки, розподіли часу можна з достатньою мірою точності описувати нормальним або лог-нормальним законом.

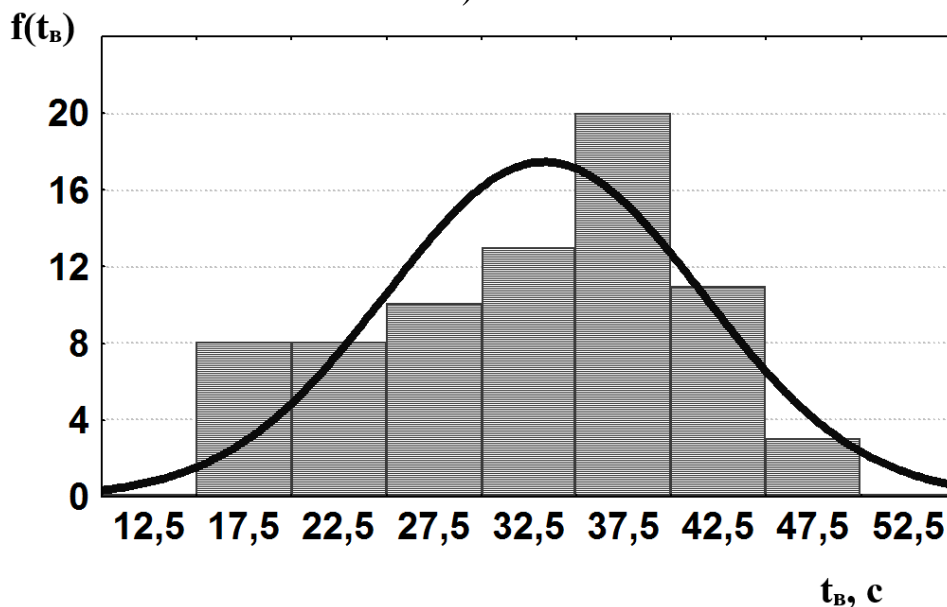
Потім розглядалися нерегулярні трудові прийоми, тобто заточування, ходіння в комору, вирубування твердого сплаву з деталі і загальний час зміни

інструмента. Склад трудових прийомів прямо впливає на тривалість зміни інструменту.

Мають місце нормальний, рідше лог-нормальний закони розподілу часу зміни інструменту. Для напайних різців середній час зміни зростає від 3,6 хв для $D_c = 1000$ мм до 4,9 хв для $D_c = 4000$ мм. Збільшення часу зміни пов'язане зі збільшенням розмірів різця і зростанням D_c , а, отже, і збільшенням ваги державки. Крім того, на верстатах з $D_c = 4000$ мм, щоби піднятися на супорт, робітникам потрібно здолати 2 сходинки на відміну від верстатів з $D_c = 1000$ мм.



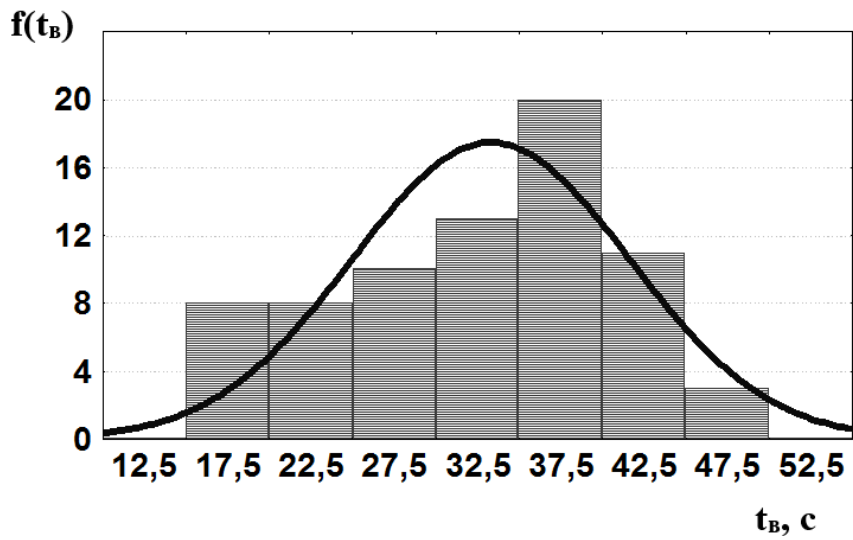
а)



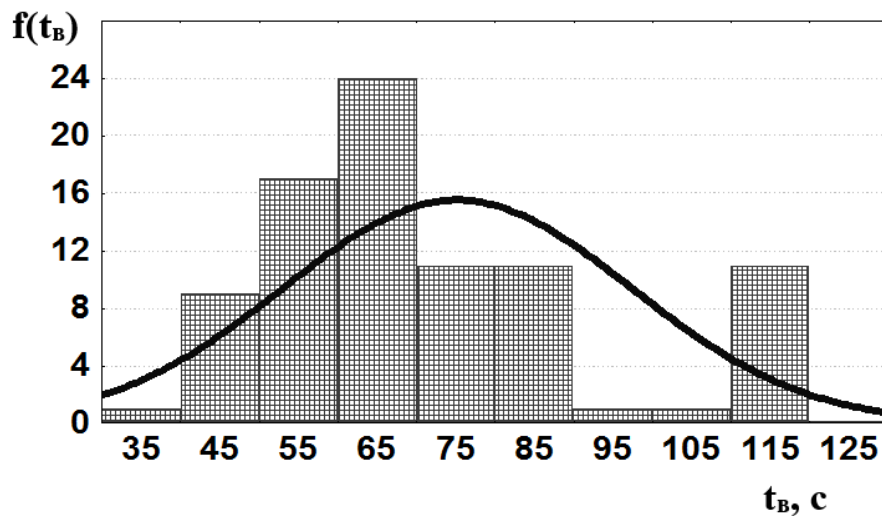
б)

а – відведення супорта, нормальний закон розподілу; б – підведення супорта нормальний закон розподілу (напайні різці)

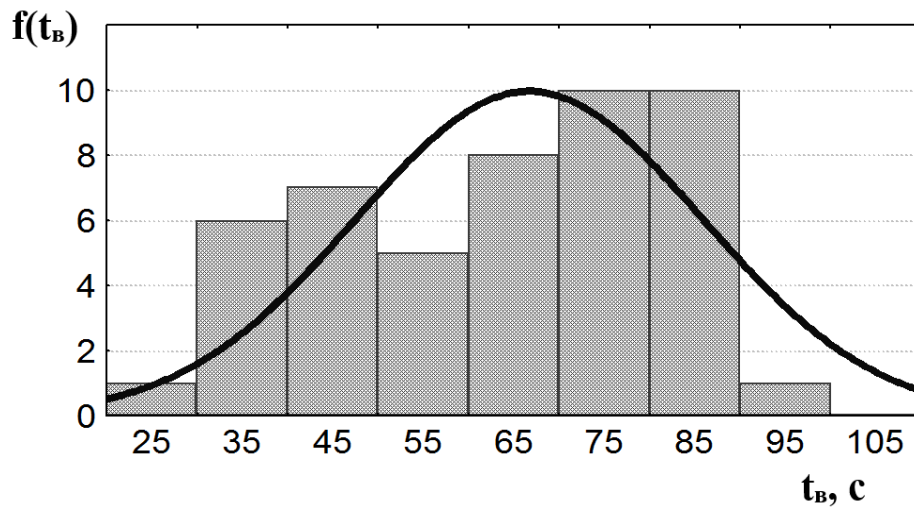
Рисунок 6.23 – Графік щільності розподілу часу виконання обов'язкових дій при зміні інструменту



a)



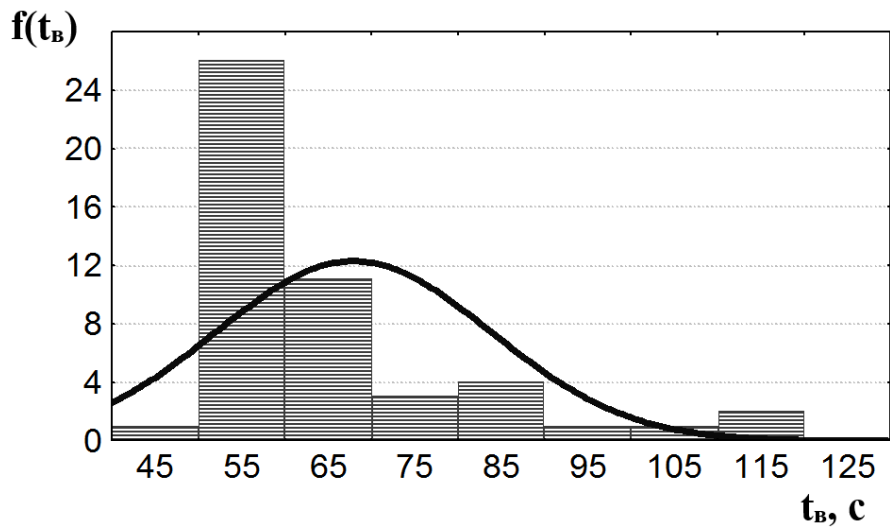
б)



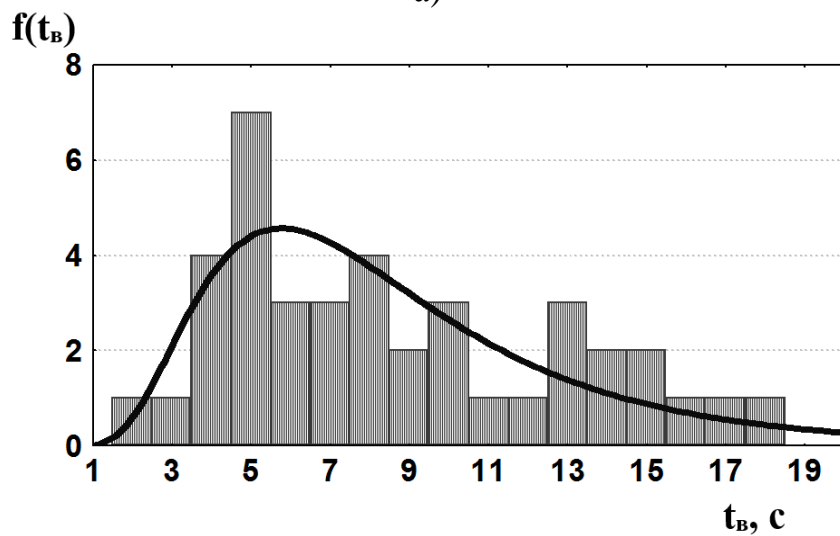
в)

закон розподілу нормальний з параметрами: а – відведення супорта;
 б – установка різця; в – закручування болтів різцетримача (напайні різці)

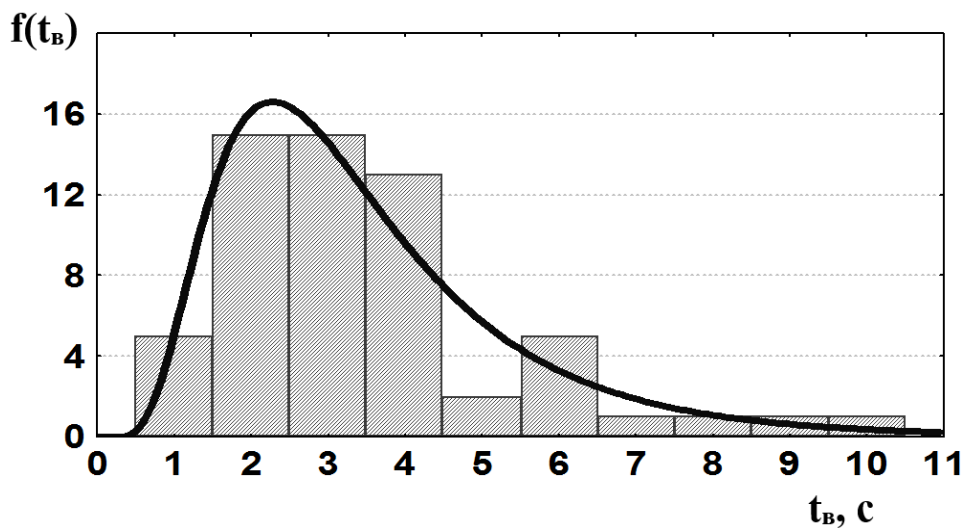
Рисунок 6.24 – Графік щільності розподілу часу виконання
 обов'язкових дій при зміні інструменту



a)



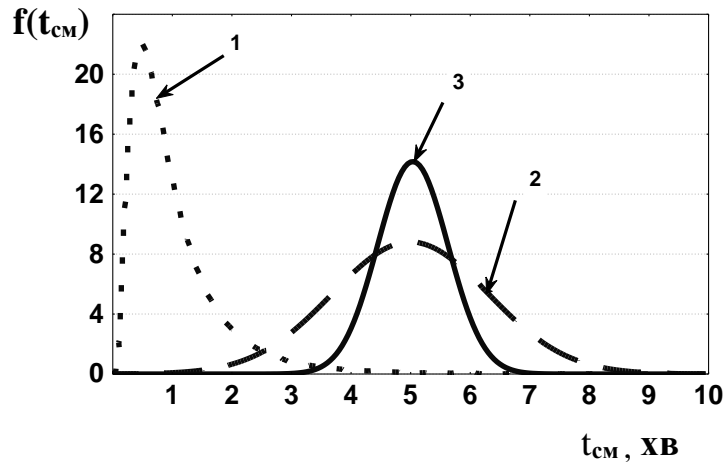
б)



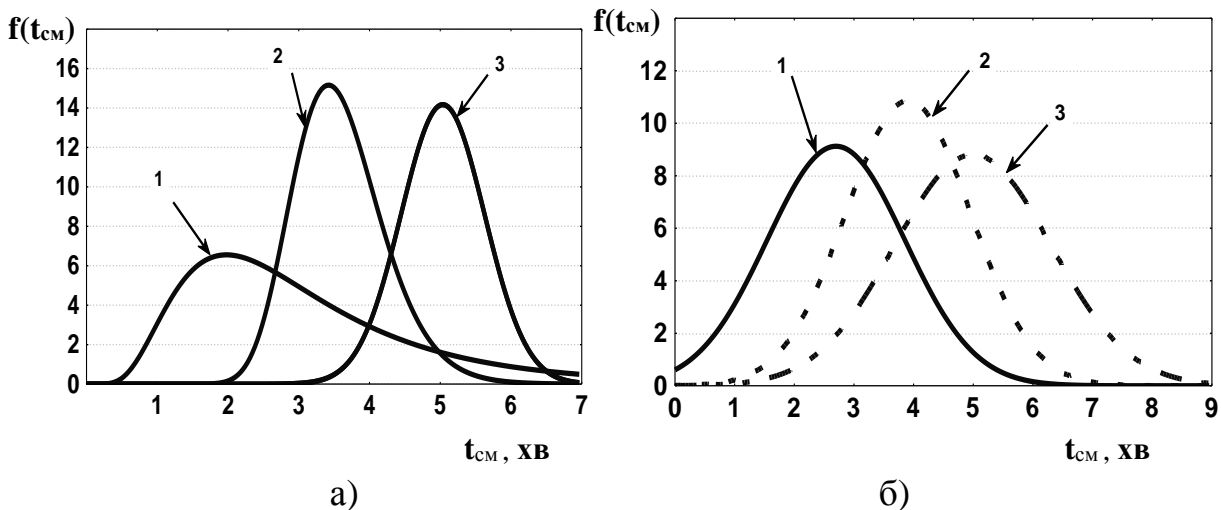
в)

a – налаштування різця на обробку, закон нормальний; б – підйом на супорт, закон лог-нормальний; в – спуск з супорта, закон лог-нормальний
 Рисунок 6.25 – Графік щільності розподілу часу виконання обов'язкових дій при зміні інструменту

На рис. 6.26, приведені результати обробки часу зміни для різців різних конструкцій, для верстатів різних розмірів (рис. 6.27): напайного, зі змінним блоком конструкції ВНП, ЗБП (зі змінними пластинами).



1 – різець з ЗБП; 2 – різець з блоком ВНП; 3 – напайний різець
Рисунок 6.26 – Графік щільності розподілу часу зміни інструменту для різних конструкцій різців



а – напайний різець; б – різець з блоком ВНП; 1 – $D_c = 1600$ мм; 2 – $D_c = 2800$ мм; 3 – $D_c = 4000$ мм

Рисунок 6.27 – Графік щільності розподілу часу зміни інструменту для верстатів з різними розмірними параметрами

Найменший середній час зміни у різців з ЗБП $t_{см} = 0,806$ хв, середній час і різця зі зміни для напайного різця змінним блоком ВНП для $D_c = 4000$ мм, $t_{см} = 5,04$ хв і $t_{см} = 4,99$ хв відповідно, також розрізняються коефіцієнти варіації часу зміни.

Заточування різців було виділене в окремий комплекс трудових прийомів з ряду причин. По-перше, зміна різця і заточування розділені організаційно. По-друге, час заточування у декілька разів більше часу зміни

різця або пластини. По-третє, заточування різця – нерегулярний трудовий прийом, наприклад, якщо зміна різця здійснюється у зв'язку із закінченням переходу, встановлюваний різець може виявитися заточеним. Вірогідність появи заточування визначалася для різних D_c (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – Порівняльна характеристика частоти появи заточування різця

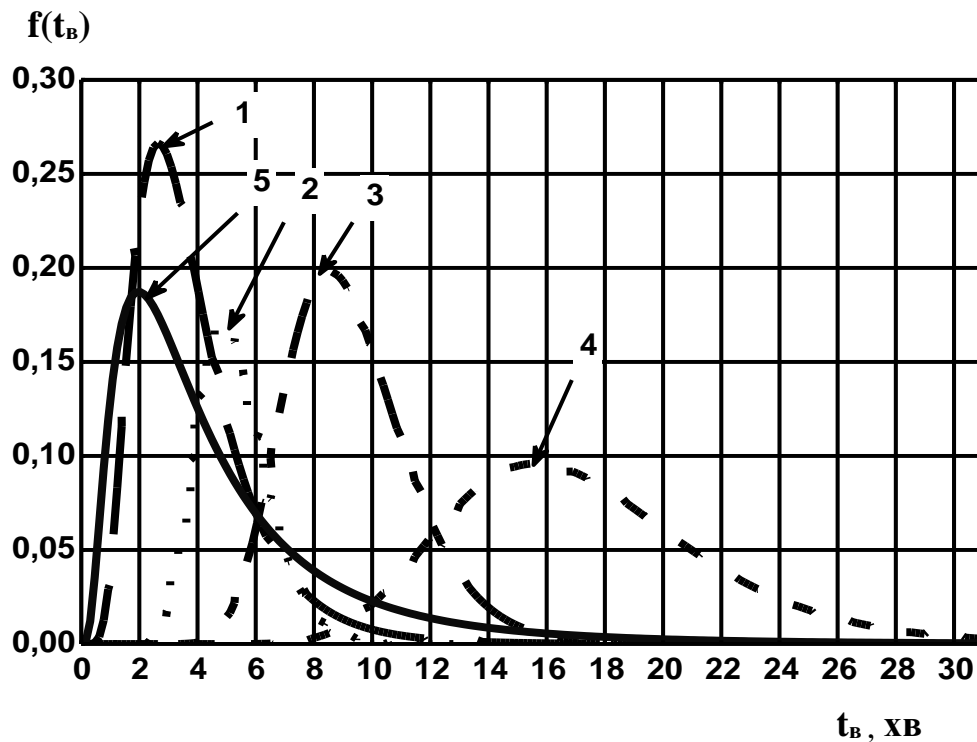
Найменування комплексів трудових прийомів	D_c , мм.	Вірогідність появи	Доля від загального часу
Зміна різця, пластини	1000		0,63
	1600		0,40
	2000		0,49
Заточування	1000	0,29	0,37
	1600	0,20	0,60
	2000	0,22	0,51

Важливо встановити який вид має розподіл часу виконання усього комплексу робіт по відновленню ТС у зв'язку з відмовою інструменту. Як приклад показані розподіли часів виконання окремих прийомів і усього комплексу для верстатів з $D_c = 1600$ мм (рис. 6.28).

В порівнянні з комплексом регулярних прийомів крива розтягнулася в область великих проміжків часу, розмах часів відновлення різко збільшився. Це пов'язано з тим, що нерегулярні прийоми тривалі, їх тривалість різна, але усі вони займають праву частину кривої – область великих значень часу.

Якщо середній коефіцієнт варіації часу виконання трудових прийомів був 0,3, а комплекс регулярних прийомів – 0,35, то для повного комплексу він став рівним 0,79. При цьому нормальний закон розподілу трансформувався в лог-нормальний.

Аналізуючи ті розподіли часу виконання прийомів, які показали високе значення коефіцієнта варіації, з'ясували, що ці прийоми можна розкласти на простіші і знайти нерегулярну компоненту, відповідальну за велике розсіювання часів. Так, в роботах [126, 127] показано, що в невдалих по ремонтпридатності конструкціях інструменту розсіювання t_{cm} збільшується із-за випадіння їх елементів при зміні пластини. Таким чином, виділення тривалих нерегулярних прийомів є методом виявлення резервів підвищення стабільності виробничого процесу.



1 – зміна різця, 2 – видалення твердого сплаву, 3 – заточування різця, 4 – ходіння в комору, 5 – суперпозиція для 1-4 розподілів
 Рисунок 6.28 – Розподіл часів виконання регулярних і нерегулярних прийомів при відмові інструменту, токарні верстати з $D_c = 1600$ мм

Для оцінки впливу нерегулярних процесів було запропоновано ввести коефіцієнт нерегулярності, який є сукупністю двох коефіцієнтів:

$$R = R_B \cdot R_w, \quad (6.1)$$

де $R_B = \bar{t}_B / \bar{t}_{вр}$ – параметр зростання середнього часу відновлення;

$R_w = W_B \cdot W_p$ – параметр зростання коефіцієнта варіації часу виконання прийому (букви без індексу р відносяться до повного часу, а з індексом р – до часу виконання тільки регулярних прийомів).

Наявність великого числа вибірок з низькими коефіцієнтами варіації показує, що у більшості випадків можна домагатися значень $W_{тв} < 0,3 \dots 0,35$. Пропонується класифікувати виробництво по стабільності, орієнтуючись на коефіцієнт часу виконання однорідних комплексів трудових прийомів (таблиця 6.3).

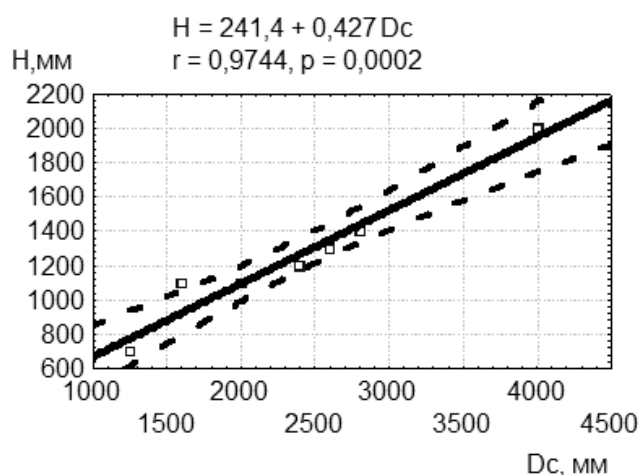
Таблиця 6.3 - Класифікація виробництва за стабільністю

Стабільність виробництва	Коефіцієнти варіації часу відновлення		Закон розподілу часу відновлення для одиничного і дрібносерійного виробництва	Стан верстатника	Рівень техніки і організації
	одиничне і дрібносерійне виробництво	великосерійне і масове виробництво			
Високо-стабільне	$\leq 0,25$	$\leq 0,15$	Нормальний	Стан комфорту	Високий
Помірно-стабільне	$> 0,25$ $< 0,8$	$> 0,15$ $< 0,3$	Логнормальний або Вейбула	Середній стан	Задовільний
Нестабільне	$\geq 0,8$	$\geq 0,3$	Експоненціальний	Дискомфорт	Незадовільний

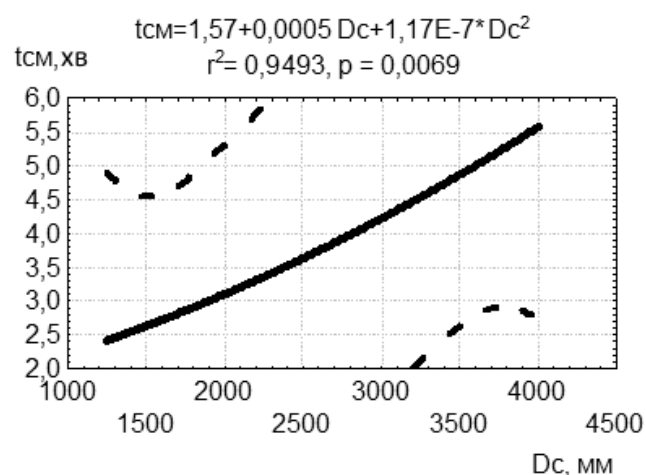
6.1.4 Вплив технологічних чинників на час відновлення

Для використання часу відновлення як параметра моделі, що описує функціонування ТС, необхідно отримати математичні залежності, що кількісно зв'язують цей час з умовами обробки.

Там, де це було можливо, кількісні зв'язки встановлювалися за допомогою регресійного аналізу статистичних даних [128, 129]. Так, на рисунку 6.29б показана залежність регулярної частини часу зміни інструменту від розміру верстата.



а)



б)

H – висота площадки супорта; t_{cm} – регулярна частина часу зміни різця
Рисунок 6.29 – Залежності висоти площадки супорта (а) і часу зміни різця (б) від основного розмірного параметра верстата D_c , мм

Усі складові часу зміни ($t_{см}$) частково залежать від розмірів, ваги різця. Ці параметри добре корелюють з основним розмірним параметром верстата – найбільшим діаметром встановлюваного виробу над станиною D_c , мм.

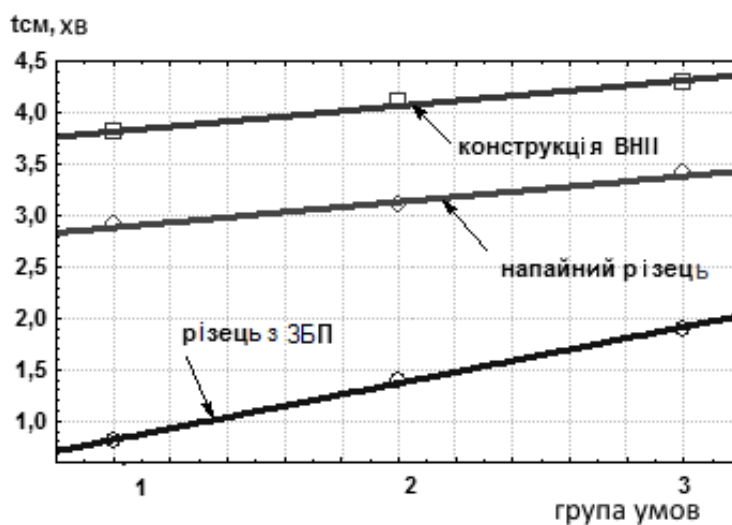
Таблиця 6.4 - Залежності часу зміни різця від основного розмірного параметра верстата.

Конструкція	Вид рівняння зв'язку	Коефіцієнт детермінації R^2
ВНІІ	$t_{см} = 1,423 + 0,00091 \cdot D_c$	0,579
	$t_{см} = 1,57 + 0,0005D_c + 1,17E^{-7} D_c^2$	0,949
	$t_{см} = 1,505 + 0,00084 \cdot D_c$	0,474
	$t_{см} = 0,025 + D_c^{0,655}$	0,509

Проаналізуємо залежність $t_{см}$ від D_c з використанням регресійного аналізу (таблиця 6.4). Отримані дані по складу, структурі часу зміни інструменту, а також результати дослідження методами математичної статистики дозволяють описати час зміни за допомогою регресійних моделей. Точність моделі оцінюється для лінійних залежностей за допомогою коефіцієнта кореляції, для нелінійних – за допомогою коефіцієнта детермінації. Найбільш точною є модель у вигляді поліноміальної залежності ($R^2 = 0,949$).

Значний вплив розміру верстата обумовлений збільшенням висоти площадки супорта, на який піднімається робітник, (рис. 6.29а), а також збільшенням перерізу і відповідно маси різця з 16 кг до 25 кг.

Проаналізуємо статистичні дані, щоб з'ясувати характер впливу виду відмови інструменту на тривалість його зміни (рис. 6.30).



1 – примусова зміна; 2 – знос; 3 – несправність

Рисунок 6.30 – Графік зміни тривалості часу зміни різців різних конструкцій від групи умов

Отримані залежності побічно характеризують вплив коефіцієнта варіації стійкості різця на час зміни. Із зростанням W збільшується вірогідність несправності інструменту, що фактично вимагає великих витрат часу на відновлення. Також збільшується вірогідність того, що верстатник не буде готовий до відмови організаційно, наприклад, у нього буде відсутній запас інструменту потрібного виду.

Тривалість часу виміру деталі з урахуванням регулярних і нерегулярних прийомів можна представити у виді (індекси у формулі (6.2) проставлені згідно рис. 6.13):

$$t_b = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + p_6 T_6 + p_7 T_7, \quad (6.2)$$

де p_6, p_7 – вірогідність подій пошуку вимірювального інструменту і запису результатів виміру відповідно.

При вимірюванні довжини деталі або окремих її частин робітник використовує різний вимірювальний інструмент: лінійку або рулетку, а вимір діаметрів деталі робить кронциркулем. Вимір криволінійних поверхонь проводиться за допомогою шаблонів. Тривалість виміру значною мірою залежить також від розмірів деталі, що підтверджують регресійні залежності, побудовані на підставі зібраної статистики (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Характеристика залежності часу виміру від вимірюваного розміру деталі

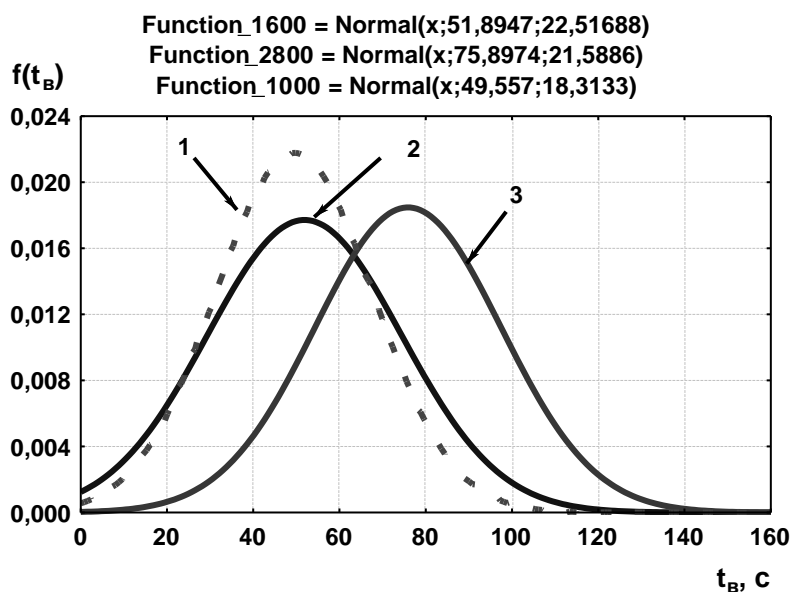
Вимірюваний параметр	Вид рівняння зв'язку	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт кореляції
Діаметр	1) $t_b = 0,00698 \cdot D^{1,13}$ 2) $t_b = -119 + 20 \cdot \ln(D)$	0,584	0,537
Довжина	3) $t_b = 0,095 \cdot L^{0,625}$ 4) $t_b = -64 + 9,9 \cdot \ln(L)$	0,982	0,98

З приведених рівнянь дещо кращий коефіцієнт детермінації у ступеневої залежності. Приймаємо цю залежність для опису взаємозв'язку часу виміру деталі від діаметру і довжини деталі (рівняння 1 і 3).

Аналіз залежностей для часу налаштування на прохід для регулярних прийомів показав вплив розмірного параметра токарного верстата на тривалість налаштування (рис. 6.31). Це пов'язано з тим, що на більших верстатах обробляються деталі більших габаритів. На переміщення супорта при налаштуваннях вимагається більше часу і робітник також на переміщення витрачає більше часу.

Обробка статистичних даних по тривалості налаштування на прохід методами регресійного аналізу дозволила отримати залежність часу

налаштування на прохід для регулярних прийомів залежно від розмірного параметра токарного верстата D_c , мм (рис. 6.32).



1 – $D_c = 1000$ мм, 2 – $D_c = 1600$ мм, 3 – $D_c = 2800$ мм

Рисунок 6.31 – Графік щільності розподілу часу налаштування на прохід, регулярні прийоми

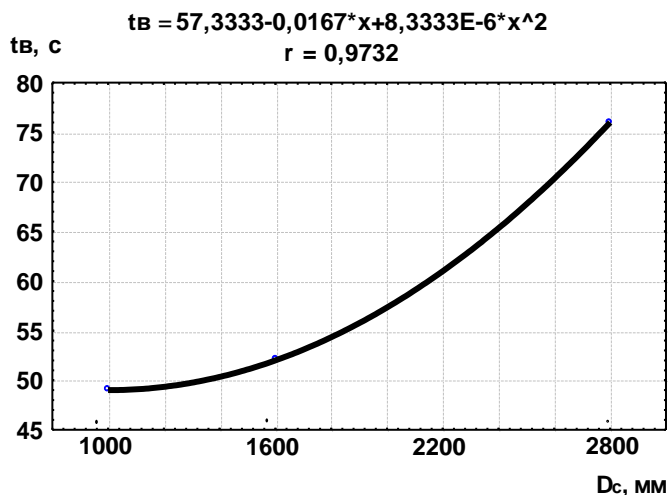


Рисунок 6.32 – Графік залежності часу налаштування на прохід від розмірного параметра токарного верстата D_c , мм для регулярних прийомів

6.1.1 Вірогідність відновлення технологічної системи і гамма-відсотковий час відновлення

Ремонтпридатність або більш конкретно в наших умовах відновлюваність - це одна з властивостей, що становить надійність ТС. Під

терміном "відмова" ми розуміємо невідновлення в заданому терміні t_{HB} . Великий інтерес представляє подію "відновлення в заданий час". Формули для статистичної оцінки:

$$P(t_{HB}) = (n-m)/n,$$

$$Q(t_B) = 1 - P(t_{HB}) \quad (6.3)$$

де $P(t_{HB})$ и $Q(t_B)$ – відповідно вірогідність невідновлення і відновлення;
 n – об'єм вибірки (число даних випадків відновлення);
 m – число випадків невідновлення за час t_{HB} (рис. 6.33).

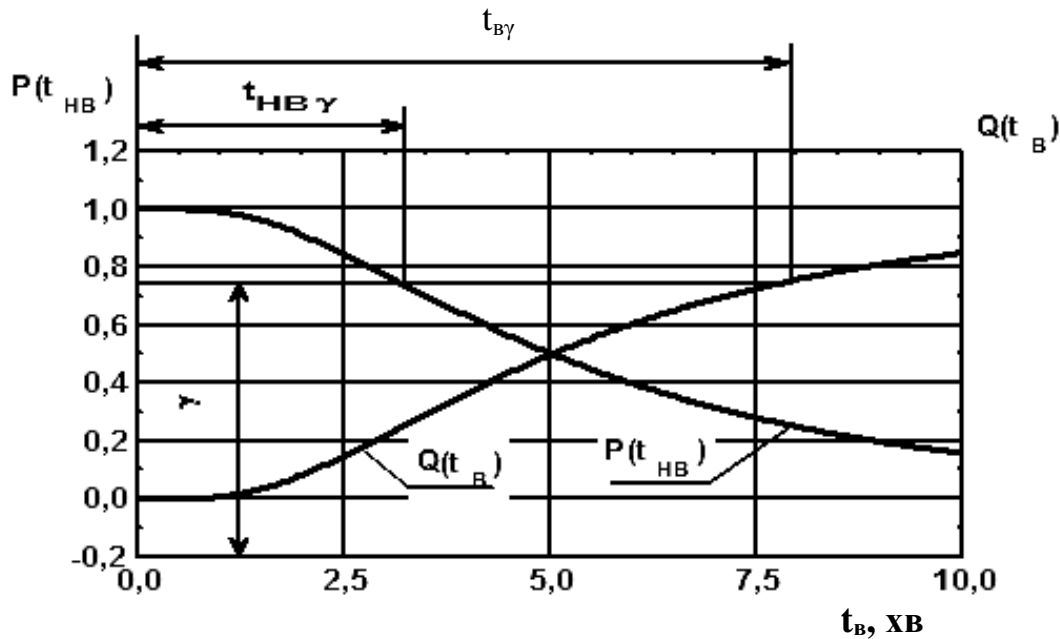


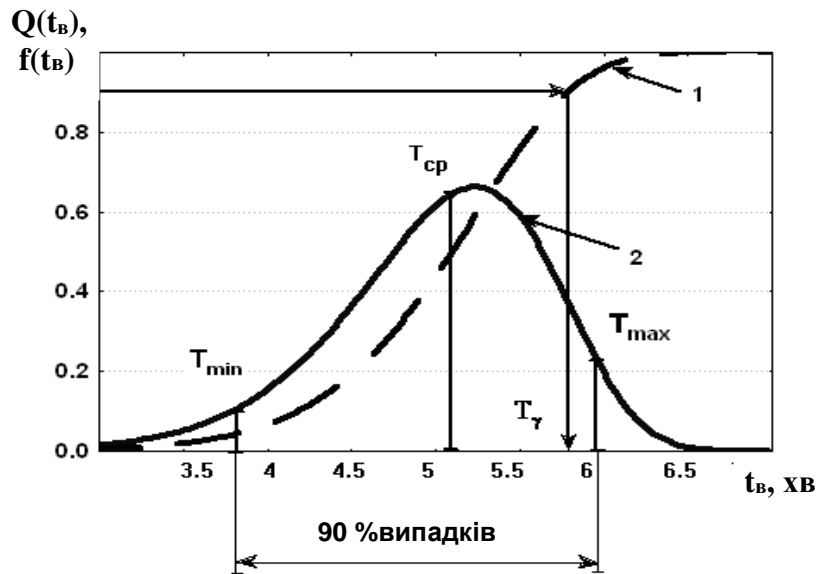
Рисунок 6.33 – Графік, що інтерпретує вірогідність невідновлення $P(t_{HB})$ і вірогідність відновлення $Q(t_B)$ ТС в заданий час

Графік $P(t_{HB})$ може бути названий графіком спаду. Він показує, як з часом зменшується число випадків невідновлення. Тоді графік $Q(t_B)$ має бути названий графіком накопичення. Він показує, як росте число випадків відновлення. На рисунку показані ще два важливі показники: $t_{HB\gamma}$ – гамма-відсотковий час невідновлення, тобто час, за який мали місце γ % випадків невідновлення; $t_{B\gamma}$ – гамма-відсотковий час відновлення тобто час, за який має місце γ % випадків відновлення.

Випадкова величина може описуватися, законом розподілу її вірогідності, тобто співвідношенням, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і вірогідністю, що їм відповідає [129, 130].

Наприклад, залежність 1 на рис. 4.34 відображає вірогідність відновлення, а залежність 2 – щільність часу відновлення різця і побудовані на підставі зібраного банку даних. Так, тривалість часу зміни різця з вірогідністю 0,90 дорівнює 5,8 хв, тобто 90 % різців відновлюватиметься за

час не більше 5,8 хв. Значення T_{\min} і T_{\max} рівні відповідно до часу відновлення з вірогідністю 0,05 і 0,95 і охоплюють 90 % випадків відновлення.



1 – інтегральний розподіл $Q(t_в)$; 2 – розподіл щільності часу зміни $f(t_в)$
 Рисунок 6.34 – Графік, що пояснює визначення γ -відсоткового (T_γ) часу відновлення ТС

У такий спосіб знаходилися T_{\min} , T_{\max} , $T_{0,9}$ для зміни інструменту, його встановлення, вимірювання деталі і інших операцій по відновленню ТС, що дозволяє з більшою надійністю прогнозувати процес. Ці показники є дуже важливими для оцінки процесу механообробки. Вони більш чутливі показники, ніж середній час відновлення для оцінки технічної і організаційної культури виробництва, різних заходів по поліпшенню організації праці.

Як вже було зазначено, повний час відновлення, наприклад, пов'язаний зі зміною інструменту, зазнає великого розсіювання. Щоб охопити увесь діапазон коефіцієнтів варіації, що мали місце, доцільно вибрати закон розподілу – закон Вейбула, що охоплює розподіл з коефіцієнтами варіації в діапазоні 0,25 ... 1,0. Тоді маємо вираз: $Q(t_в) = 1 - e^{-(t_в/a)^b}$, де a і b – параметри закону Вейбула. Використовуючи зв'язок параметра b з коефіцієнтом варіації часу $W_{тв}$, можна отримати сімейство кривих вірогідності відновлення для різних $W_{тв}$ (рис. 6.35). На підставі таких залежностей можна побудувати залежність гамма-відсоткового часу відновлення $t_{в\gamma}$ від коефіцієнта варіації часу для різного гамма-відсотка (рис. 6.36). З графіка видно, що при досить високих гарантіях із зростанням розсіювання різко збільшується гарантований час відновлення. Цей розрахунок був зроблений при постійному середньому часі відновлення $t_в = 3$ хв. Типовий випадок, коли середній час відновлення визначається по формулі:

$$\bar{t}_в = t_c + \sum_{i=1}^n t_{пер_i} P_{пер_i}, \quad (6.4)$$

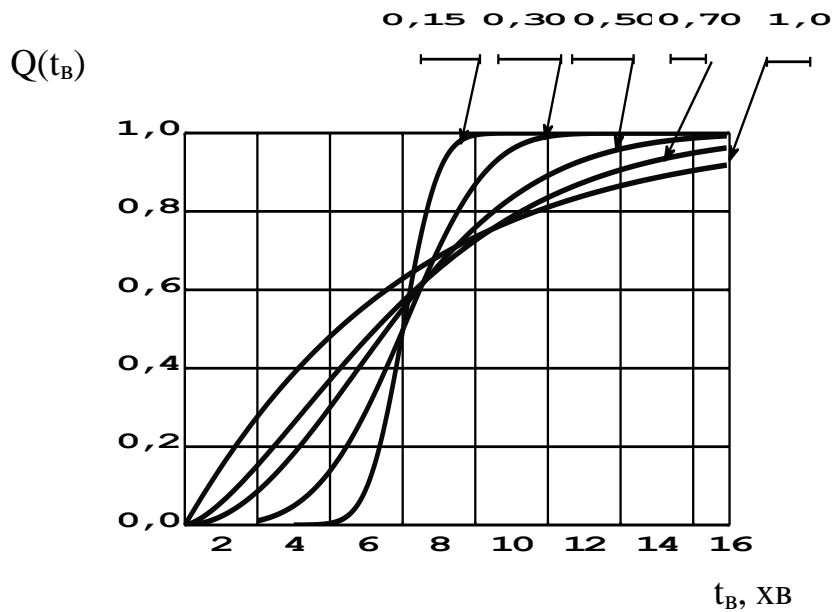


Рисунок 6.35 – Сімейство залежностей вірогідності відновлення різця від різних коефіцієнтів варіації часів відновлення

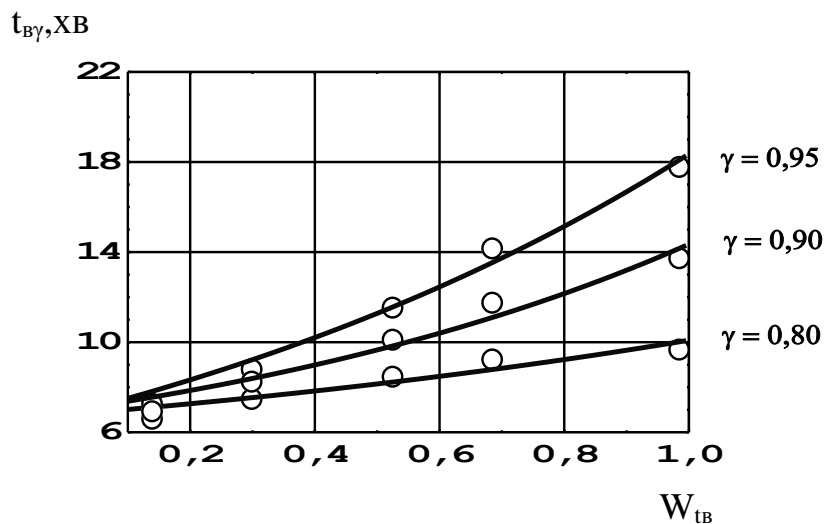
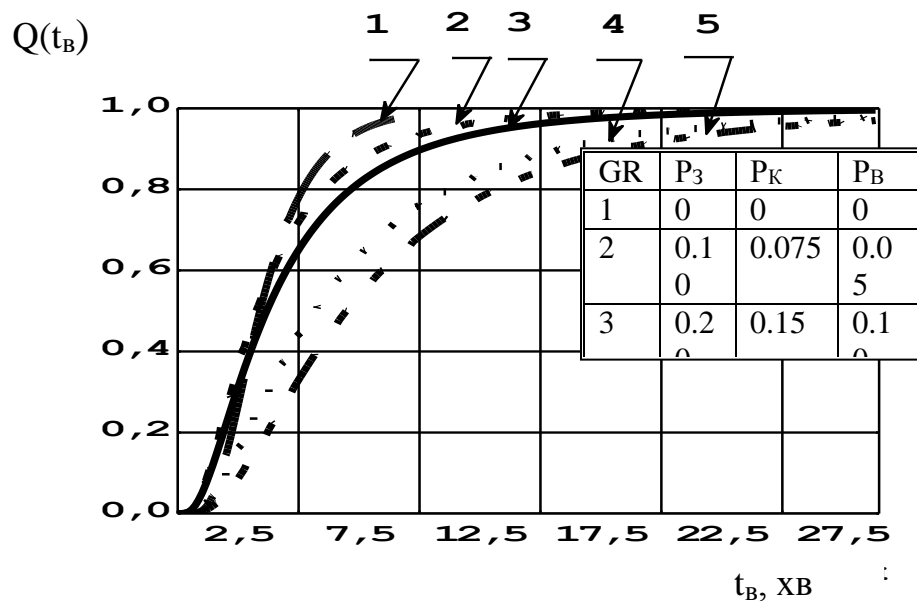


Рисунок 6.36 – Графік залежності гамма-відсоткового часу відновлення інструменту від коефіцієнта варіації часу для різних значень гамма-відсотка

де t_c – час зміни інструменту (час регулярних комплексів прийомів);
 $t_{нер_i}$ і $P_{нер_i}$ – відповідно час на i -й нерегулярний підкомплекс прийомів і вірогідність його виконання;
 n – число нерегулярних підкомплексів.

Були побудовані графіки вірогідності відновлення для п'яти типів випадків зміни інструменту з урахуванням нерегулярних комплексів прийомів (заточування, ходіння в комору, вирубубання твердого сплаву) (рис. 6.37). Кожен тип характеризувався параметром – група стабільності GR, який кількісно оцінювався долею нерегулярних прийомів в загальному часі

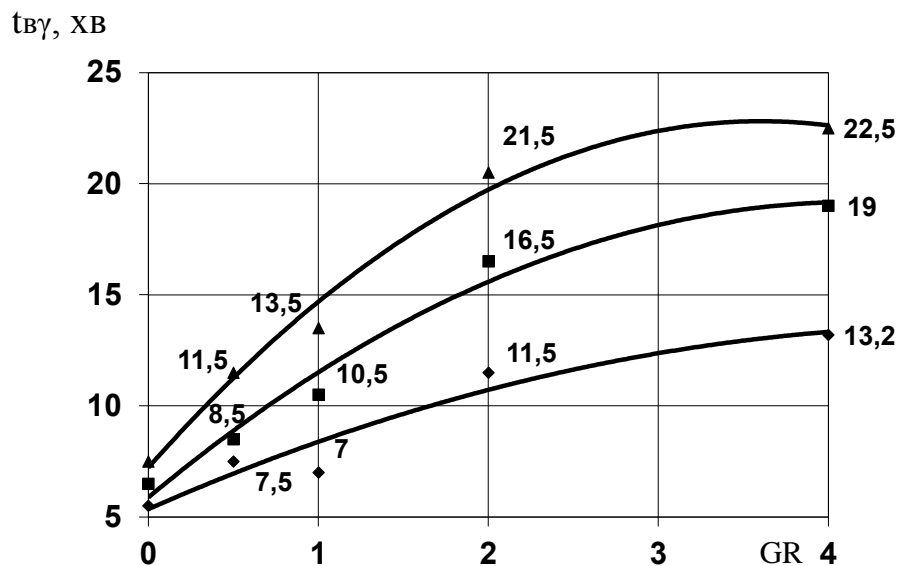
відновлення. Крайні випадки наступні: 1 – найвища культура виробництва, нерегулярні підкомплекси прийомів відсутні; 5 – найнижча культура виробництва, доля нерегулярних прийомів в загальному часі зміни, а також вірогідність появи нерегулярних прийомів найбільш висока.



$P_З$ – вірогідність заточування; $P_К$ – вірогідність ходіння в комору;

$P_В$ – вірогідність вирубування твердого сплаву

Рисунок 6.37 – Вірогідність відновлення залежно від вірогідності виконання нерегулярних підкомплексів прийомів і групи стабільності GR



◆ – $\gamma = 80\%$; ■ – $\gamma = 90\%$; ▲ – $\gamma = 95\%$

Рисунок 6.38 – Гамма-відсотковий час відновлення в залежності від групи стабільності обробки

Аналіз залежності гамма-відсоткового часу відновлення від групи стабільності GR (рис. 6.38) показує, що при найнижчій культурі виробництва гарантований з вірогідністю 0,95 час відновлення може збільшитися до 3-х і більше разів. Для підвищення стабільності виробництва необхідно передусім прагнути не до зменшення середнього, а до зменшення гамма-відсоткового часу відновлення, що досягається за рахунок застосування таких організаційних і технічних заходів, які зводять до мінімуму вірогідність появи нерегулярних прийомів.

6.1 Аналіз часу обслуговування технологічної системи під час різання

6.2.1 Види робіт по обслуговуванню технологічної системи і закони розподілів їх тривалості

Коли відбувається обробка деталі, робітник проводить обслуговування заявок. Розглянемо трудові прийоми по зміні режимів різання, прибиранню стружки. При налаштуванні на перехід робочий встановлює рівень режимів відповідно до виду обробки (точіння, підрізування), стадії обробки (чорнова, чистова). В процесі різання зміна режимів різання відбувається з кількох причин. По-перше, це спосіб управління навантаженням на різець у зв'язку з нерівномірністю припуску або властивостей матеріалу по довжині і перерізу. По-друге, знос інструмента, що викликає зміну геометрії різального клину, і нерівномірність властивостей заготовки приводять до появи небезпечної стружки у вигляді стрічки або довгої спіралі, яку робітник прибирає із зони різання гачком.

Вид стружки є свого роду діагностикою благополуччя процесу різання. При правильно підібраній геометрії і рівні режимів різання стружка дрібноподрібнена або крупноподрібнена $R = 20 \dots 40$ мм, довжина витка до 80 мм [12]. З метою зручності транспортування вита стружка вимагає додаткового подрібнення, яке проводиться в спеціальних барабанах. Це додаткові витрати (на електроенергію, зарплату робітників, зайнятих дробленням) їх величина порівнянна з витратами на купівлю інструменту.

Статистичний аналіз показав, що щільність розподілу часу зміни режимів різання для верстатів з різними Dс може описуватися лог-нормальним законом з великим коефіцієнтом варіації або експоненціальним законом (рис. 6.39), а закон щільності розподілу часу прибирання стружки носить лог-нормальний характер (рис. 6.40).

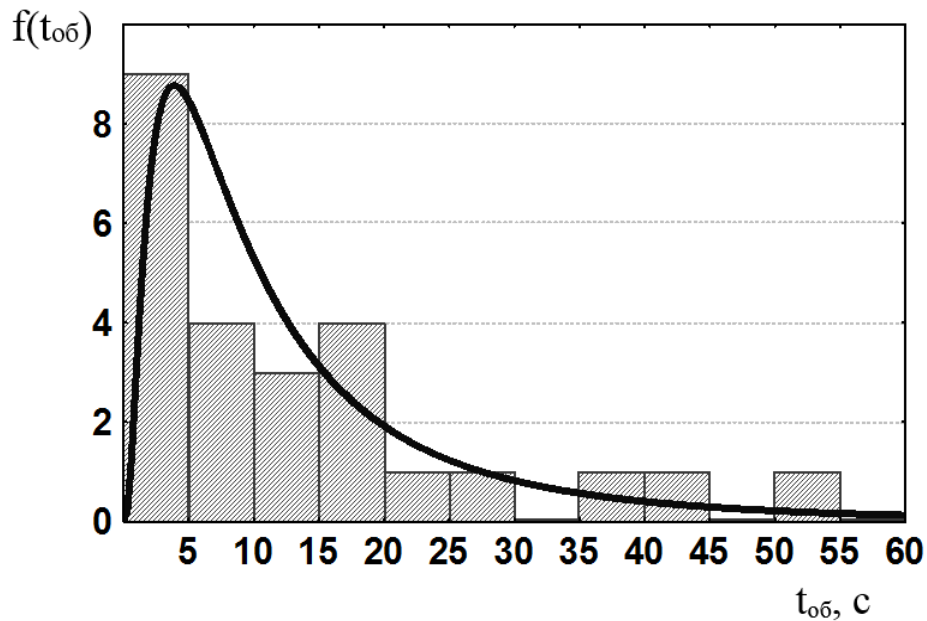


Рисунок 6.39 – Розподіл часу зміни режимів різання на токарних верстатах з $D_c = 1600$ мм

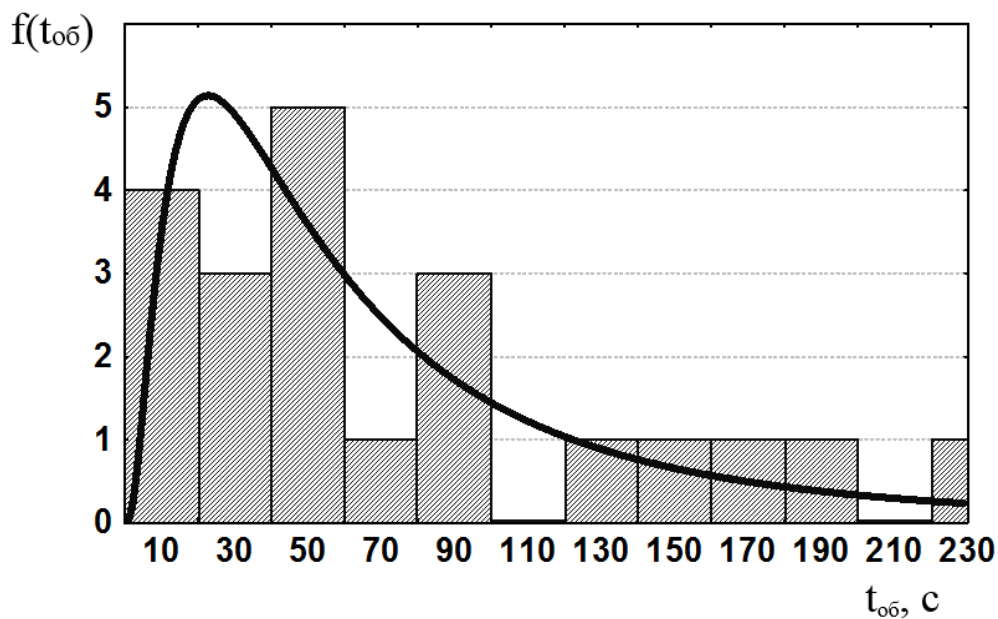
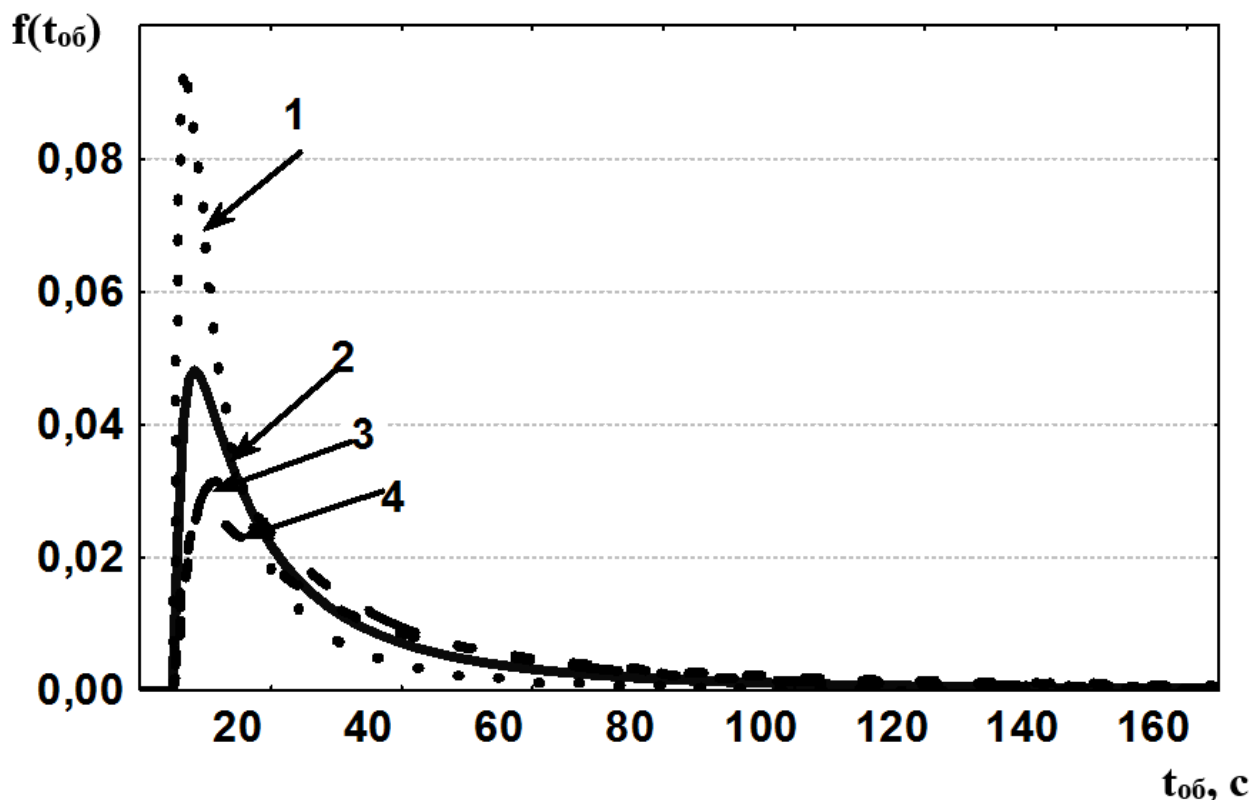


Рисунок 6.40 – Розподіл часу прибирання стружки для верстатів з $D_c = 2800$ мм

6.2.2 Забезпечення контролю за точністю параметрів техпроцесу

В процесі вивчення обслуговування робочим ТС окремо було виділено стан активної уваги, що має важливе значення. У цей період робітник контролює стан процесу обробки, перевіряє правильність своїх дій з обслуговування системи, аналізує чи не треба провести підналадку системи, планує подальші дії з виконання техпроцесу (рис. 6.41).



1 – контроль за різцем; 2 – контроль за точністю обробки;
 3 – контроль форми деталі; 4 – контроль за закінченням проходу
 Рисунок 6.41 - Графік щільності розподілу часу активної уваги для чорнового точіння деталей типу вал на токарному верстаті з $D_c = 1600$ мм

Якщо час активної уваги не диференціювати на різні види, то він досить точно описується експонентою, коефіцієнт варіації $W = 1,5497$, що свідчить про чисто випадковий характер даного процесу контролю.

Як видно з рис. 6.42 роботи по аналізу і ухваленню рішень нетривалі і в цілому займають близько 1/3 часу різання. Проаналізуємо, який вплив вони можуть робити на ефективність обробки і на самого верстатника, якщо при їх виконанні процес різання не зупиняється.

По-перше, усі ці роботи викликають напругу верстатника, тривожність, оскільки вони пов'язані з можливістю браку, відмови інструменту, іноді з можливістю травмування верстатника.

По-друге, оскільки події чисто випадкові, непрогнозовані, є можливість появи черги на обслуговування, тобто виникає необхідність виконання декількох видів робіт паралельно, що являється небезпечним.

Дані роботи не впливають на продуктивність обробки в даний момент часу, але вони викликають стомлення робітника, знижують продуктивність праці при виконанні інших робіт і можуть викликати помилки. Тому їх треба враховувати при плануванні і нормуванні робіт, що раніше не передбачалося.

Слід зазначити, що дані роботи пов'язані з якістю роботи інструменту. Наприклад, при точно вибраній формі передньої поверхні різця виключається прибирання стружки із зони різання.

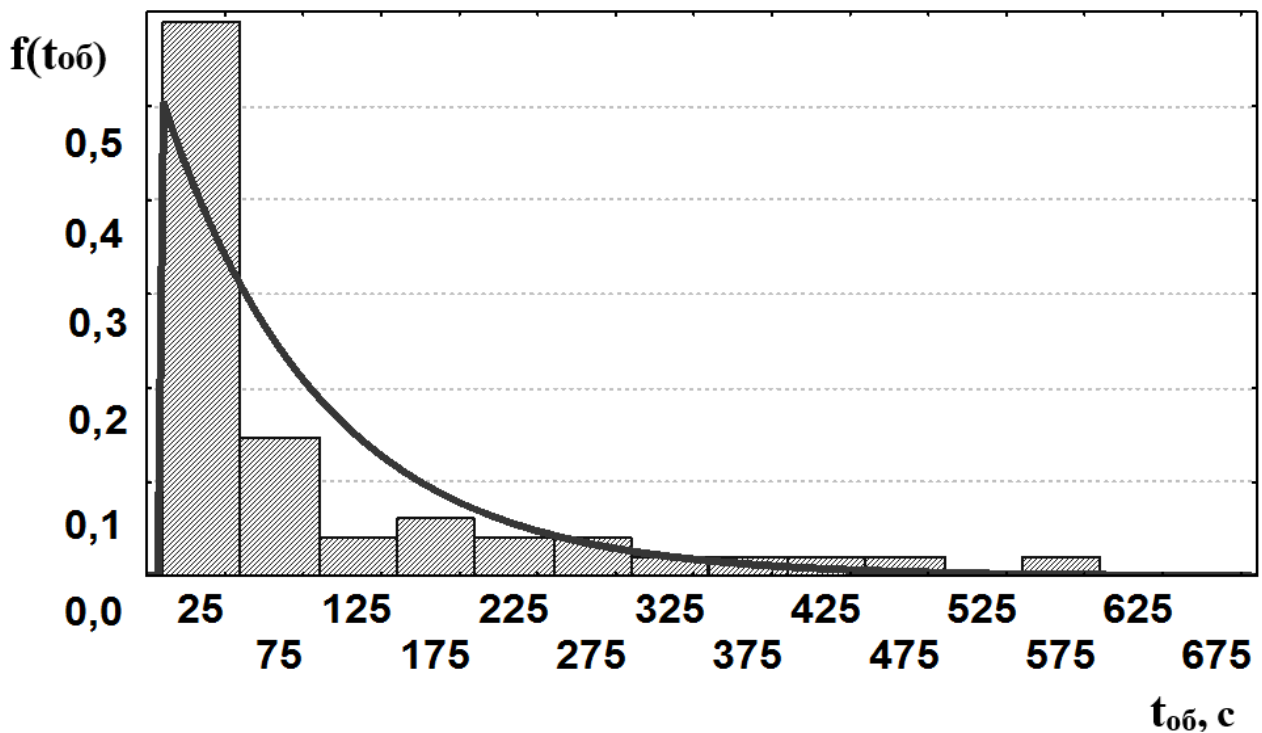


Рисунок 6.42 – Графік щільності розподілу часу активної уваги і ухвалення рішень при чорновому точінні деталей типу вал на токарному верстаті с $D_c = 1600$ мм

Під час здійснення верстатом і інструментом процесу різання чітко спостерігаються два стани верстатника:

1) стан пасивної уваги, коли робітник може не спостерігати за зоною різання і не знаходитися поблизу пульта управління (зазвичай, він тільки "слухає, як йде процес різання");

2) стан активного спостереження і ухвалення рішень, коли робітник знаходиться на супорті і пильно спостерігає за зоною різання. Зазвичай, переносний пульт управління знаходиться в його руках.

Між станом активного спостереження і пасивної уваги знаходиться ряд проміжних станів, що відрізняються мірою уваги робітника. Введемо хоч би один ступінь уваги і назовемо його станом активної уваги. Тоді можливі три стани верстатника: пасивної уваги впродовж часу $t_{пв}$, активної уваги – $t_{ав}$ і активного спостереження і ухвалення рішень – $t_{пр}$.

Вважатимемо, що в період активної уваги верстатник ще не піднявся на супорт, не почав спостерігати за зоною різання зблизька, але напружено прислухається до звуків обробки, частіше або рідше кидає погляд на поверхню деталі, чекає відмови. Цей період роботи верстатника передуює затупленню або поломці інструмента.

Перехід із стану пасивної в стан активної уваги здійснюється тоді, коли вірогідність відмови досягає певної (значимої) величини $P = 0,1$. Тоді час знаходження в стані пасивної уваги буде рівний гамма-відсотку T_γ при $\gamma = 90$ %, тобто $t_{пв} = T_{90}$.

Час пасивної уваги залежить від закону щільності розподілу стійкості. Відомо [126, 131], що залежно від умов обробки, навантаження на інструмент і його якості закон розподілу змінюється від нормального до закону Вейбула і далі до експоненціального. При цьому коефіцієнт варіації стійкості росте від $W \leq 0,3$ до 1,0 і більше.

Неважко бачити (рис. 6.43), що це супроводжується різким зменшенням часу пасивної уваги tn_B . Найбільш універсальним для опису процесу контролю в широкому діапазоні зміни коефіцієнтів варіації стійкості являється закон Вейбула. При параметрі $b > 4$ він наближається до нормального, а при $b = 1,0$ перетворюється на експоненціальний. Тому розрахунок часу пасивної уваги ведемо по формулі гамма-відсоткової стійкості для закону Вейбула :

$$T_{\gamma} = \left(a \cdot \ln \frac{\gamma}{100} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (6.4)$$

де a і b – параметри закону.

Отримані дані показують, що в зоні дії нормального закону часу пасивної уваги вистачає для деякого відпочинку робітника і в якості резерву на випадок необхідності виконання інших видів обслуговування. Так, при коефіцієнті варіації стійкості $W_{\tau} = 0,3$ час пасивної уваги $tn_B = 32$ хв. В зоні дії власне закону Вейбула tn_B наближається до критичного значення. При $W = 0,55$ воно падає до 17 хв., а при $W = 0,9$ стає рівним 7 хв. Можна стверджувати, що при останньому значенні стомлюваність робітника буде надмірною, можливі помилки в роботі, надійність ТС буде недостатньою. Тому якість інструменту, навантаження на нього мають бути такими, щоб коефіцієнт варіації стійкості не перевищував 0,5.

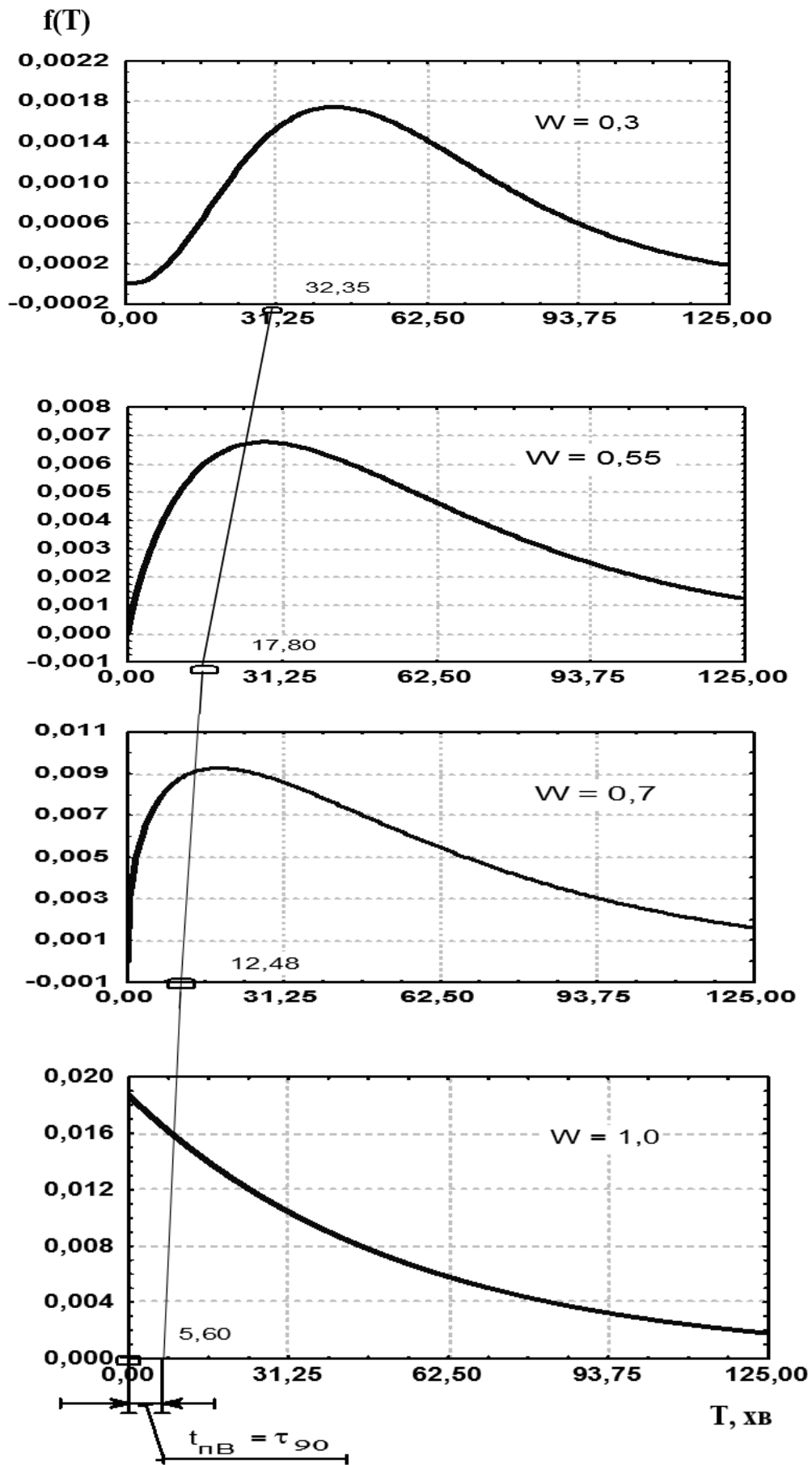


Рисунок 6.43 – Зміна часу пасивної уваги верстатника при трансформації закону розподілу стійкості

6.3 Імітаційне моделювання функціонування технологічної системи при обробці валків

6.3.1 Постановка завдання і отримання співвідношень моделі

Об'єктом дослідження є технологічна система операційного рівня, що складається з універсального токарного верстата ($D_c = 1600$ мм) і засобів технологічного оснащення (ЗТО), де обробляється робочий валок (сталь 60ХН, $HV = 229.285$, $D = 1100$ мм, $L = 5035$ мм) [133]. Виконується напівчистове точіння і підрізування торця. Обробка ведеться одним або двома супортами. Верстатник працює без підручного і здійснює наступні дії з відновлення системи: 1 – зміна різця; 2 – зміна режимів різання; 3 – вимір деталі; 4 – прибирання стружки; 5 – активна увага; 6 – налаштування верстата на новий прохід. Щільність розподілу часу напрацювання на появу події в системі для виробничих умов описується розподілом Вейбула з коефіцієнтом варіації $W = 0,9$ при вірогідності відмов інструменту 0,2. Вхідний потік складається з потоків від наступних джерел вимог: інструмент (відмова різця, прибирання стружки із зони різання), деталь (напрацювання на вимір деталі, зміну режимів різання), верстат (налаштування на новий перехід).

Необхідно встановити перелік і величину параметрів ефективності функціонування даної ТС з урахуванням вірогідності її відновлення і надійності інструменту при наступних особливостях процесу. Відновлення ТС проходить у вигляді регламентованих і нерегламентованих перерв, що викликають зупинку верстата, тобто зупиняються джерела вимог – різець, деталь, верстат, потоки вимог в цей час не створюються і продукція не виробляється. Чим менше розсіяння часу відновлення, тим менше коливання продуктивності системи.

Момент виникнення регламентованих перерв залежить від поточного часу зміни (наприклад, огляд робочого місця на початку зміни, відпочинок та ін.), а також від вимог технологічного процесу (наприклад, налаштування на перехід, прохід, переустановлення деталі), що призводить до післядії. Має місце детермінований процес, коли момент появи подій можна розрахувати заздалегідь.

Момент виникнення нерегламентованих перерв випадковий. Потік подій, що призводить до виникнення таких перерв формується шляхом об'єднання незалежних послідовностей подій простішого виду: послідовність моментів відмов різця (верстата), послідовність моментів виміру деталі, зміни режимів різання і так далі. Перша послідовність має післядію, оскільки момент відмови різця (верстата) залежить від стану різця (верстата) – від числа періодів стійкості різця, тобто його надійності. Таким чином, потік вимог, що входить, ординарний, але має післядію.

У моделі використовувалися співвідношення для визначення наступних параметрів ефективності і якості ТС : вірогідність завершення переходу ТП в строк, продуктивність обробки, коефіцієнт готовності ТС, а також параметрів:

інформаційне навантаження робітника, показник стабільності процесу обробки.

6.3.1 Програмування і реалізація моделі

Моделювання проводиться в середовищі GPSS, яке передбачає зображення схеми моделі на мові блок-діаграм. Кожен автономний підпроцес, що протікає в реальній ТС реалізується за допомогою окремих блоків моделі. Так, обслуговування робітником заявки реалізується блоками SEIZE - ADVANCE - RELEASE, збір статистики черги за допомогою блоків QUEUE - DEPART і так далі.

Перевірка достовірності моделі і висновок про достовірність зроблений на основі того, що блок-діаграма GPSS однозначно відповідає формалізації моделі у вигляді Q-схеми (рис. 4.5).

6.3.2 Планування машинного експерименту з моделлю

Був проведений аналіз параметрів і чинників системи, безпосередньо пов'язаних з модельованою ситуацією, і визначення змінних величин, котрі в процесі імітації можуть набувати різних значень. Для чого після декількох прогонів моделі проводився кореляційний аналіз для обґрунтування вибору вихідних змінних і визначення значимих впливів між чинниками. Отримана кореляційна матриця підтверджує наявність значимих впливів між рядом чинників, такі осередки виділені курсивом з підкресленням (таблиця. 6.6). У матриці використані параметри: *W* – коефіцієнт варіації часу напрацювання на вступ заявки в систему, *P* – продуктивність ТС, *Win* – коефіцієнт варіації стійкості різця, *IN* – інформаційне навантаження на робітника, *T* – стійкість різця, *GR* – група стабільності ТС, *R* – показник нерегулярності процесу, *Kг* – коефіцієнт готовності ТС.

Отже, вхідними змінними прийняті параметри потоку відмов інструменту в систему (*W*), доля регулярних дій в часі відновлення ТС, що позначається як група стабільності (*GR*), стійкість різця (*T*). Вихідними змінними, що оцінюють якість функціонування системи, прийняті: продуктивність обробки (*P*), інформаційне навантаження на робітника (*IN*), коефіцієнт готовності ТС (*Kг*), коефіцієнт нерегулярності роботи (*R*). Для оцінки ефективності введений показник вірогідності завершення ТП в строк (*VEND*).

Планування здійснювалося в системі STATISTICA для роботи з різною середньою стійкістю інструменту при непостійному коефіцієнті варіації його стійкості [122]. У факторному плануванні введені поняття про основні ефекти

і ефекти взаємодії чинників. Вектор-стовпець ефекту взаємодії виходить перемножуванням векторів-стовпців незалежних змінних. Ефекти чинників визначаються як зміни залежної змінної при зміні рівнів цих чинників (табл. 6.7).

Такий план дозволяє визначити три основні ефекти чинників, три ефекти взаємодії першого порядку (X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3) і ефект взаємодії третього порядку $X_1 X_2 X_3$. Вид рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (6.6)$$

Після отримання регресійних рівнянь отримуємо оцінки коефіцієнтів регресії і помилки в їх визначенні $b_0, b_1, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}, S\{b\}, S\{y\}$. Для перевірки того, наскільки модель добре описує експериментальні дані, використовуємо дисперсійний аналіз (тест втрати згоди і карту Парето).

Отже, в результаті імітаційного експерименту отримуємо залежності параметрів ефективності і якості ТП від вибраних чинників, тобто від незалежних змінних моделі.

Таким чином, аналіз структури часу відновлення дозволив визначити перелік дій, що здійснюються в кожному із станів ТС, тривалість їх виконання і вірогідність появи.

Головним джерелом низької стабільності виконання технологічного процесу є нерегулярні прийоми. Закони розподілу часу при регулярних процесах - нормальний або лог-нормальний з відносно малим коефіцієнтом варіації $W = 0,25 \dots 0,45$. Закон розподілу сумарного часу з урахуванням нерегулярних прийомів – лог-нормальний з високим коефіцієнтом варіації $W = 0,85 \dots 1,0$ близький до експоненціального. Для оцінки стабільності виробництва введений показник нерегулярності процесу – відношення середніх значень і коефіцієнтів варіації часу для усього їх розподілу і його регулярної частини.

Гамма-процентний час відновлення є більш чутливим показником для оцінки процесів відновлення ТС, чим середній час відновлення, тому розрахунок резервного часу на виконання прийомів необхідно вести по формулі гамма-процентної стійкості для закону Вейбула.

Таблиця 6.6 – Кореляційна матриця

Параметри	W	P	W _{ин}	IN	T, хв	σ	R	КГ
W	1	0,6374 p=0,065	-0,4555 p=0,218	0,6280 p=0,070	<u>-0,6912</u> <u>p=0,039</u>	<u>-0,7308</u> <u>p=0,025</u>		0,4133 p=0,2690
P	0,6374 p=0,065	1	<u>-0,7769</u> <u>p=0,00001</u>	0,1795 p=0,3702	<u>-0,9868</u> <u>p=0,00001</u>	<u>-0,9594</u> <u>p=0,00001</u>	0,9947 p=0,0654	-0,6255 p=0,0004
W _{ин}	-0,4555 p=0,218	<u>-0,7769</u> <u>p=0,00001</u>	1	0,3468 p=0,0769	<u>0,8930</u> <u>p=0,00001</u>	<u>0,9134</u> <u>p=0,00001</u>	0,9242 p=0,2490	<u>0,9040</u> <u>p=0,00001</u>
IN	0,6280 p=0,070	0,1795 p=0,3702	0,3468 p=0,0769	1	0,1620 p=0,4194	0,1957 p=0,3270	0,8079 p=0,401	0,1540 p=0,449
T, хв	<u>-0,6912</u> <u>p=0,039</u>	<u>-0,9868</u> <u>p=0,00001</u>	<u>0,8930</u> <u>p=0,00001</u>	0,1620 p=0,4194	1	<u>0,9829</u> <u>p=0,00001</u>	0,9806 p=0,125	<u>0,8440</u> <u>p=0,00001</u>
σ	<u>-0,7308</u> <u>p=0,025</u>	<u>-0,9594</u> <u>p=0,00001</u>	<u>0,9134</u> <u>p=0,00001</u>	0,1957 p=0,3270	<u>0,9829</u> <u>p=0,00001</u>	1	-0,6777 p=0,526	<u>0,8530</u> <u>p=0,00001</u>
R		0,9947 p=0,0654	0,9242 p=0,2490	0,8079 p=0,401	0,9806 p=0,125	-0,6777 p=0,526	1	0,756 p=0,454
КГ	-0,4133 p=0,2690	-0,6255 p=0,0004	<u>0,9040</u> <u>p=0,00001</u>	0,1540 p=0,449	<u>0,8440</u> <u>p=0,00001</u>	<u>0,8530</u> <u>p=0,00001</u>	0,756 p=0,456	1

Таблиця 6.7 – Комбінація рівнів для трьох чинників(*GR, W, T*)

Номер досліджу	Незалежні змінні		
	Група стабільності (GR) X ₁	Коефіцієнт варіації часу напрацювання на відмову інструменту (W) X ₂	Стійкість різця (T, хв) X ₃
1	0,9	0,3	80
2			140
3			200
4		0,6	40
5			140
6			200
7		0,9	80
8			140
9			200
10	0,6	0,3	80
11			140
12			200
13		0,6	80
14			140
15			200
16		0,9	80
17			140
18			200
19	0,3	0,3	80
20			140
21			200
22		0,6	80
23			140
24			200
25		0,9	80
26			140
27			200

РОЗДІЛ 7 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ РІЗНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

7.1 Аналіз адекватності моделі

7.1.1 Моделювання ТС з різною мірою автоматизації робіт

Об'єктом дослідження є дві технологічні системи операційного рівня. Одна складається з універсального токарного верстата, інша – з верстата з ЧПК з однаковою розмірною характеристикою ($D_c = 1600$ мм), в обох випадках обробляється робочий валок (сталь 60ХН, НВ=229...285, $D = 1100$ мм, $L = 5035$ мм). Розглядається подовжнє точіння поверхонь валка з розмірами $D = 738$ мм, $L = 70$ мм; $D = 620$ мм, $L = 90$ мм; $D = 720$ мм, $L = 890$ мм; $D = 1120$ мм, $L = 2300$ мм; $D = 720$ мм, $L = 1025$ мм.

Кріплення інструменту для універсального верстата – гідрозатиск, для верстата з ЧПК – адаптер, що встановлюється в ламель. Конструкція інструменту для універсального верстата – різець з блоком конструкції ВНП, для ЧПК – різець із ЗБП. Режими різання: $t = 6$ мм, $S = 1,5$ мм/об, $n = 12$ хв⁻¹.

Після прогонів моделей для ТС різної конфігурації отримані наступні результати (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Порівняння показників ефективності для різних верстатів

Режими різання, умови обслуговування	Продуктивність, мм ² /хв	Коефіцієнт готовності	Інформаційне навантаження	Коефіцієнт нерегулярності	Вірогідність завершення переходу	Середній час зайнятості робітника, хв
Верстат з ЧПК	62702	0,75	1,72	0,36	0,90	1,54
Універсальний верстат (база)	59318	0,71	2,57	0,75	0,77	1,84
Відношення до бази	1,06	1,05	0,67	0,49	1,17	0,84

Таким чином, для заданих умов обробки на верстаті з ЧПК в порівнянні з універсальним токарним верстатом продуктивність вище на 6 % коефіцієнт готовності вище на 5 % інформаційне навантаження на робітника менше у 1,5 рази, коефіцієнт нерегулярності краще у 2 рази, вірогідність завершення переходу в строк вище у 1,17 рази, верстатник зайнятий роботами по відновленню ТС менше у 1,19 рази.

Для порівняння часу відновлення на підставі вихідної статистики моделі будувалися графіки зміни гамма-процентного часу відновлення інструменту при $\gamma = 90$ %. Аналіз показав (рис. 7.1), що для верстатів з ЧПК

воно в три рази менше і складає 4,5 хв при 14,2 хв для універсальних верстатів.

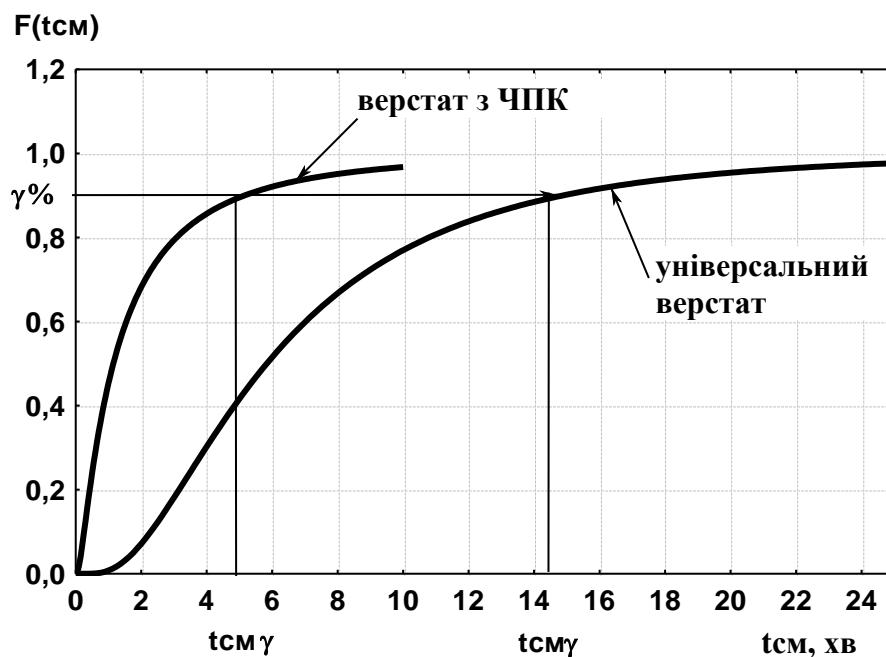


Рисунок 7.1 – Зміна гамма-процентного часу заміни ($t_{см\gamma}$) для верстатів з різною мірою автоматизації обробки

Була зроблена перевірка чутливості моделі (рис. 7.2). Для цього будувалися графіки функції розподілу часу заміни інструменту на підставі виробничих даних і даних моделювання. Похибка моделі склала 1,5 %.

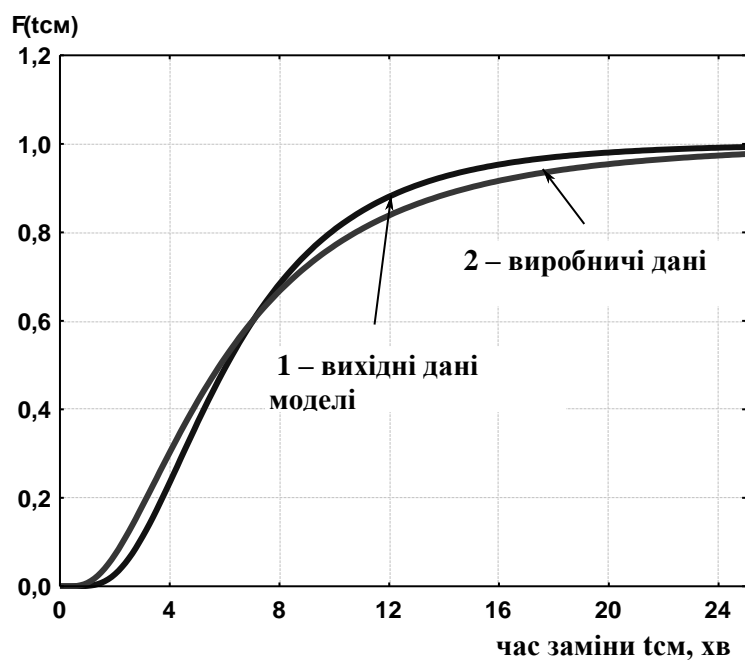


Рисунок 7.2 – Оцінка чутливості моделі

Приведені результати дозволяють стверджувати, що ефективність верстата з ЧПК за названими показниками вище, ніж універсального токарного.

7.1.2. Моделювання ТС з різними стратегіями інструментозабезпечення

Характеристики ТС і особливості процесу, що протікає в ній, наводилися раніше в розділі 4.3.1. Для робочого валка (сталь 60ХН, НВ = 229–285, D = 1100 мм, L = 5035 мм) промоделювати подовжнє точіння шийки валка з розмірами D = 738 мм, L = 890 мм з централізованим заточуванням і доставкою інструменту до верстата і без них. Конструкція різця з блоком ВПП, режими різання: t = 6 мм, S = 1,5 мм/об, V = 56 м/хв. Коефіцієнт варіації стійкості W = 0.6, група стабільності обробки GR = 0,3.

Аналіз результатів прогонів різних конфігурацій моделі показав, що зміна стратегії інструментозабезпечення верстата дозволяє збільшити продуктивність обробки на 7 %, коефіцієнт готовності ТС на 11 %, вірогідність різання на 7%, середнє часу зайнятості робітника на 8 %, при зниженні інформаційного навантаження у 1,23 рази, коефіцієнта нерегулярності у 1,2 рази (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 - Показники ефективності для різних стратегій інструментозабезпечення

Умови обслуговування	Продуктивність мм ² /хв	Коефіцієнт готовності	Інформаційне навантаження	Коефіцієнт нерегулярності	Тв/Тр	Вірогідність різання	Середній час зайнятості робітника, хв
Без заточування і доставки інструменту до верстата	62949	0,417	15	0,946	0,546	0,801	1,78
Заточування і доставка інструменту до верстата (база)	67687	0,468	12	0,784	0,488	0,862	1,642
Відношення до бази	0,93	0,89	1,23	1,2	1,12	0,93	1,08

7.1.3 Моделювання ТС з різними стратегіями інструментабезпечення і різцями різної надійності

Характеристики ТС і особливості, процесу, що протікає в ній, такі ж як в постановці завдання розділу 6.3.1. Для робочого валка (сталь 60ХН, НВ = 229-285, D = 1100 мм, L = 5035 мм) промоделювати подовжнє точіння шийок валка з розмірами D = 738 мм, L = 890 мм з централізованим заточуванням і доставкою інструменту до верстата і без них, група стабільності обробки GR = 0,3. Для однієї конфігурації моделі прийнята конструкція різця з блоком ВНП, коефіцієнт варіації стійкості W = 0,6 для іншої – конструкція із ЗБП W = 0,21 (виготівник – Уралмашзавод на основі креслень фірми "Сандвик-Коромант"). Режими різання : t = 6 мм, S = 0,6 мм/об, V = 135м/хв.

Результати аналізу моделі приведені в таблиці 7.3. Одночасний перехід на конструкції різців із ЗБП з доставкою до верстата дозволить підвищити продуктивність обробки у 1,21 рази, коефіцієнт готовності ТС у 1,14 рази, вірогідність завершення переходу у 1,43 рази при зниженні інформаційного навантаження у 1,79 рази, коефіцієнта нерегулярності у 1,3 рази, середнього часу зайнятості верстатника роботами по відновленню в 1,24 разу.

Таблиця 7.3 - Показники ефективності для різних видів інструментабезпечення і надійності різців різних конструкцій

Режими різання, умови обслуговування	Продуктивність, мм ² /хв	Коефіцієнт готовності	Інформаційне навантаження	Коефіцієнт нерегулярності	Вірогідність завершення переходу	Середній час зайнятості робітника, хв
ВНП, без доставки інструменту до верстата (база)	62949	0,612	7,02	0,578	0,63	1,93
ЗБП, доставка інструменту до верстата	75994	0,695	3,92	0,444	0,90	1,56
Відношення до бази	1,21	1,14	0,56	0,768	1,43	0,809

7.2. Аналіз результатів моделювання

В результаті імітаційного експерименту отримуємо математичні моделі (операторні співвідношення), що описують залежність параметрів

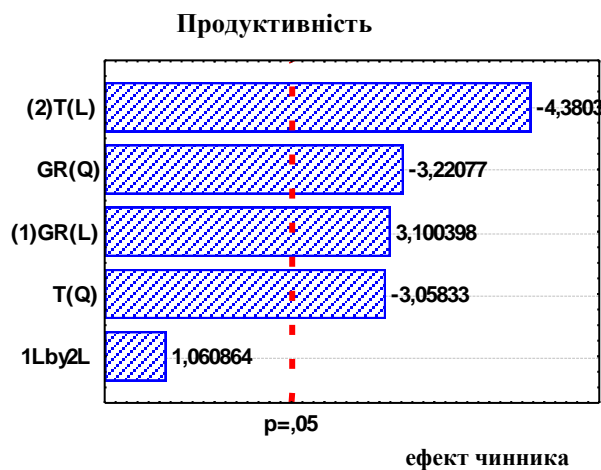
ефективності ТС від вибраних чинників, тобто від незалежних змінних моделі в заданому діапазоні зміни чинників (табл. 7.4). Після перевірки моделі на адекватність отримані відношення можна використати для подальшого аналізу поведінки системи.

Таблиця 7.4 - Операторні відношення для функціонування ТС

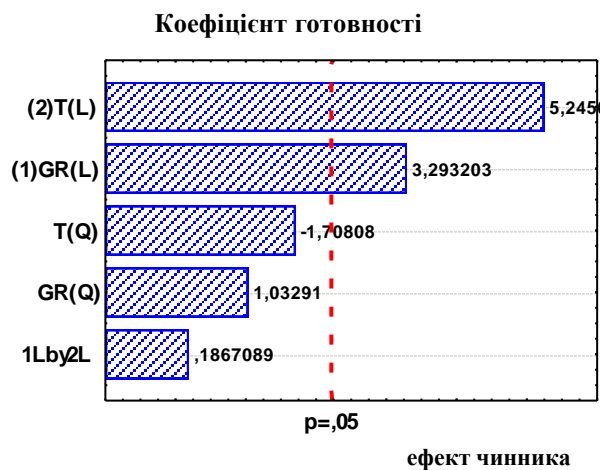
Залежності для параметрів ефективності	Коефіцієнт детермінації R-sqr	Оцінка адекватності моделі на карті Парето
$P = 96721 + 245,8 \cdot T - 1,7 \cdot T^2 + 70804 \cdot GR - 69888 \cdot GR^2$	0,828	рис. 5.2.а
$S_P = 2443 - 579 \cdot T - 766 \cdot GR - 809 \cdot GR^2 - 374 \cdot W$	0,924	
$K_r = 0,39 + 0,0009 \cdot T - 0,025 \cdot GR$	0,814	рис. 5.2.б
$K_r = 0,5 + 0,022 \cdot T + 0,0135 \cdot GR$ (у кодах)	0,814	
$S_K_r = 0,022 + 0,049 \cdot W^2$	0,819	
$IN = 12,7 + 0,43 \cdot GR - 0,059 \cdot T + 10,45 \cdot W + 0,00022 \cdot T^2$	0,936	рис. 5.2.с
$IN = 9,8 - 1,41 \cdot GR - 1,34 \cdot T + 0,98 \cdot W + 0,79 \cdot T^2$ (у кодах)	0,936	
$R = 1,21 - 0,0049 \cdot T + 0,000013 \cdot T^2$	0,660	
$R = 0,66 - 0,063 \cdot T + 0,047 \cdot T^2$ (у кодах)	0,660	
$VER_r = 0,726 + 0,0016 \cdot T - 0,000004 \cdot T^2 + 0,046 \cdot GR$	0,935	рис. 5.2.д
$VER_r = 0,91 + 0,026 \cdot T - 0,016 \cdot T^2 + 0,016 \cdot GR$ (у кодах)	0,935	
$VEND = 0,358 + 0,409 \cdot GR - 0,113 \cdot GR^2$	0,960	

Представлені рівняння утворюють основу оцінки ефективності і якості обробки деталей в досліджуваній ТС. Оцінка коефіцієнтів по методу найменших квадратів виявила статистичну значущість змінних (при рівні $p = 0,05$), включених в моделі, незначимі змінні з рівнянь виключені. Значення коефіцієнта детермінації (R-sqr) для усіх моделей знаходяться в інтервалі 0,66 ...0,99. Це говорить про хороше наближення лінії регресії до спостережуваних даних і про можливість побудови якісного прогнозу.

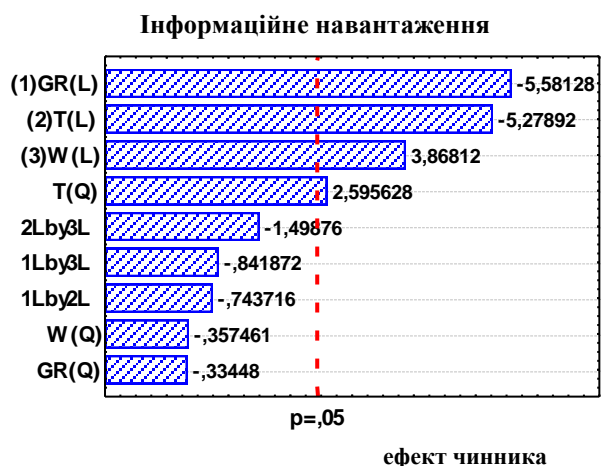
Оцінка адекватності залежностей проводилася за допомогою дисперсійного аналізу і ґрунтувалася на аналізі залишків, тобто різниці між спостережуваними значеннями і передбаченими за допомогою рівнянь. Аналізувалася залишкова сума квадратів SS. Як приклад (табл. 7.5) приведений такий аналіз для виведення залежності вірогідності різання від керованих змінних. Для випадків, коли р-значення використаного тесту більше 0,05 (останній стовпець таблиці), моделі представляються адекватними для опису відповідних відгуків. Графічно аналіз на адекватність представлений за допомогою карт Парето-ефектів (рис. 7.3). Параметр моделі дає значимий ефект, якщо колонка, що відповідає йому, на карті Парето перетинає вертикальну лінію, що представляє 95 %-у довірчу вірогідність.



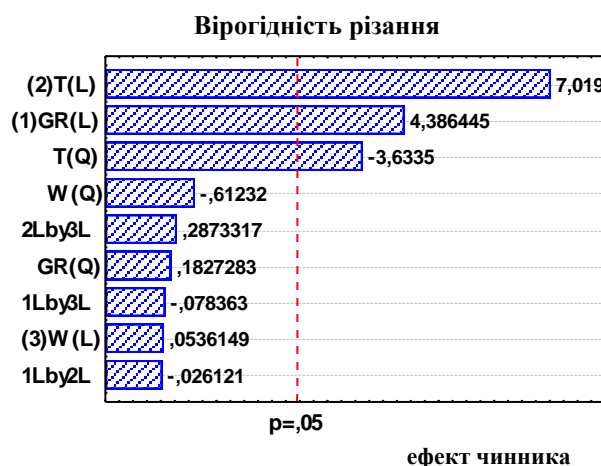
а)



б)



с)



д)

*а – модель продуктивності; б – модель коефіцієнта готовності;
с – модель інформаційного навантаження; д – модель вірогідності різання*
Рисунок 7.3 - Графічне представлення аналізу моделей ТС для різних показників ефективності на адекватність за допомогою карт Парето

Таблиця 7.5 - Оцінка адекватності регресійного рівняння

	SS	df	MS	F	p
(1)GR (L)	0,002489	1	0,002489	7,88193	0,030859
GR (Q)	0,000048	1	0,000048	0,15114	0,710872
(2)T (L)	0,006313	1	0,006313	19,99385	0,004231
T (Q)	0,000946	1	0,000946	2,99561	0,134209
(3)W (L)	0,000001	1	0,000001	0,00270	0,960278
W (Q)	0,000299	1	0,000299	0,94829	0,367763
1L by 2L	0,000008	1	0,000008	0,02534	0,878757
1L by 3L	0,000050	1	0,000050	0,15835	0,704457
2L by 3L	0,000050	1	0,000050	0,15835	0,704457
Error	0,001895	6	0,000316		
Total SS	0,012370	15			

Для оцінки впливу керованих чинників (коефіцієнта варіації стійкості, стійкості і групи стабільності) на параметри якості функціонування ТС, будуюмо відповідні залежності (рис. 7.4 – рис. 7.8). Графіки показують, що стійкість різця і група стабільності впливають на усі досліджувані показники ефективності роботи ТС, коефіцієнт варіації стійкості впливає на розсіяння продуктивності і на інформаційне навантаження на робітника. Останнє виходить з виразу для інформаційного навантаження – формула (6.7), де її величина залежить від квадрата середньо квадратичного відхилення часу напрацювання на зміну інструменту, тобто величини розсіяння стійкості різця, яка корелює з відносним показником розсіяння стійкості – коефіцієнтом варіації.

Характер впливу стійкості різця на середній час зайнятості і інформаційне навантаження на робітника однієї природи. При збільшенні стійкості різця рідше проводиться зміна інструменту, налаштування на перехід і інші дії робочого по обслуговуванню ТС, тобто доля участі робочого в загальному часі функціонування ТС падає. При цьому росте значення відношення часу різання до загального часу роботи, що викликає зростання коефіцієнта готовності ТС.

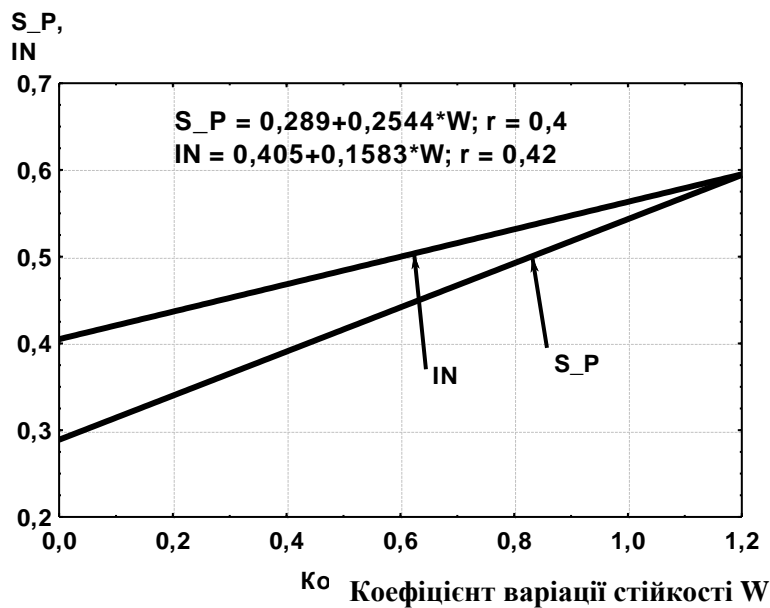
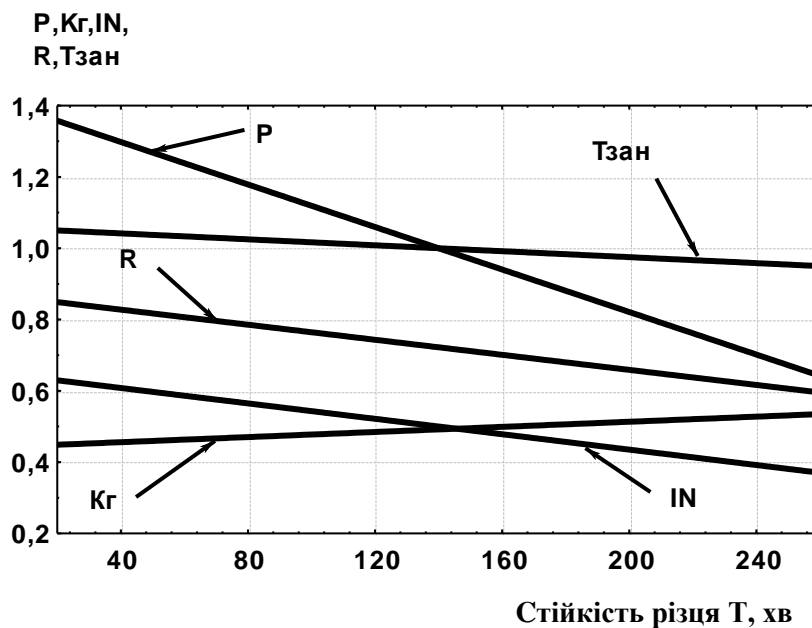


Рисунок 7.4 - Вплив коефіцієнта варіації стійкості інструменту на розсіяння продуктивності (S_P) і величину інформаційного навантаження (IN)



P – продуктивність; $Kг$ – коефіцієнт готовності;
 R – коефіцієнт нерегулярності; $Tзан$ – зайнятість робітника;
 IN – інформаційне навантаження

Рисунок 7.5 - Графіки впливу стійкості різця на параметри функціонування технологічної системи

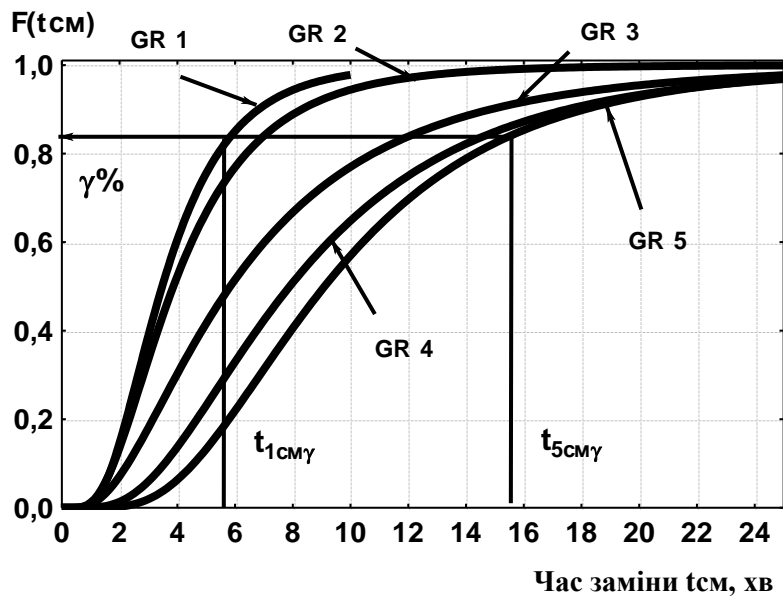
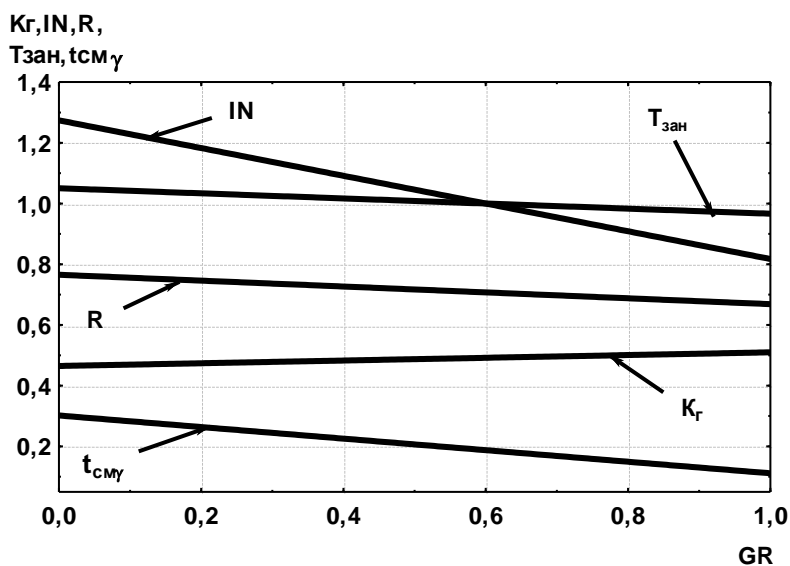


Рисунок 7.6 – Зміна $\gamma\%$ - ого часу відновлення різця залежно від групи стабільності



P – продуктивність; K_g – коефіцієнт готовності;
 R – коефіцієнт нерегулярності; $T_{зан}$ – зайнятість робітника;
 IN – інформаційне навантаження; VER_r – вірогідність різання;
 $T_{зан}$ – час зайнятості робітника; $t_{см\gamma}$ – гамма-відсотковий час зміни різця
 Рисунок 7.7 – Графіки впливу групи стабільності (GR) на показники ефективності

Обернено пропорційна залежність продуктивності від стійкості пов'язана з тим, що велика стійкість можлива при малих швидкостях різання, тобто зменшується об'єм знятого металу в одиницю часу.

Група стабільності характеризується долею часу регулярних прийомів в загальному часі відновлення. Так якщо $GR = 1$, то нерегулярні прийоми відсутні, середній час відновлення, його коефіцієнт варіації мінімальні, організація процесу відновлення ТС найкраща. Отже, зі зміною групи стабільності від 0 до 1 зменшується доля допоміжного часу в загальному часі роботи за рахунок зменшення середнього часу відновлення, звідси зростання коефіцієнта готовності, падіння інформаційного навантаження і середнього часу зайнятості робітника (рис. 7.7). Зменшення коефіцієнта варіації часу відновлення призводить до зменшення показника нерегулярності процесу відновлення, оскільки він характеризує міру відхилення коефіцієнта варіації часу відновлення від такого для регулярних прийомів.

Проаналізуємо залежність $GR - t_{смγ}$ (рис. 7.7). Для встановлення значень $t_{смγ}$ будемо інтегральні криві розподілу часу зміни інструменту для процесів з різним відсотком допоміжного часу, тобто для різних груп стабільності. Визначаємо гамма-відсотковий час відновлення з вірогідністю $γ = 90\%$ (рис. 7.6). Для випадку, коли в ТС протікають тільки регулярні процеси і показник стабільності механообробки $GR = 1$, час відновлення з 90% вірогідністю дорівнює 6,7 хв зі збільшенням долі нерегулярних процесів до 10% загального часу ($GR = 2$) час відновлення з 90% вірогідністю зростає до 8,1 хв, з подальшим збільшенням долі нерегулярних процесів до 40% загального часу ($GR = 3$) час відновлення з 90% вірогідністю зростає до 14,5 хв, для випадку, коли доля нерегулярних подій більше 99% ($GR = 5$), час відновлення з 90% вірогідністю дорівнює 16 хв.

Таким чином, збільшення долі нерегулярних подій в процесі обробки (значення GR зменшується) погіршує показники надійності ТС, що пов'язано із зростанням гамма-відсоткового часу зміни інструменту. При значенні $γ\% = 0,5$ середній час зміни різців змінюється менше для різних груп стабільності, ніж при $γ\% = 0,8...0,9$. Тобто середній час зміни менш чутливий до зміни групи стабільності, ніж гамма-відсотковий час для $γ\% = 0,8...0,9$.

Аналіз впливу групи стабільності на розсіяння продуктивності показав (рис. 7.8), що із зростанням долі регулярних прийомів в загальному часі відновлення, розсіяння зменшується. Для групи стабільності $GR = 1$ параметр S_P зменшується в 1,9 разу в порівнянні з $GR = 0,3$.

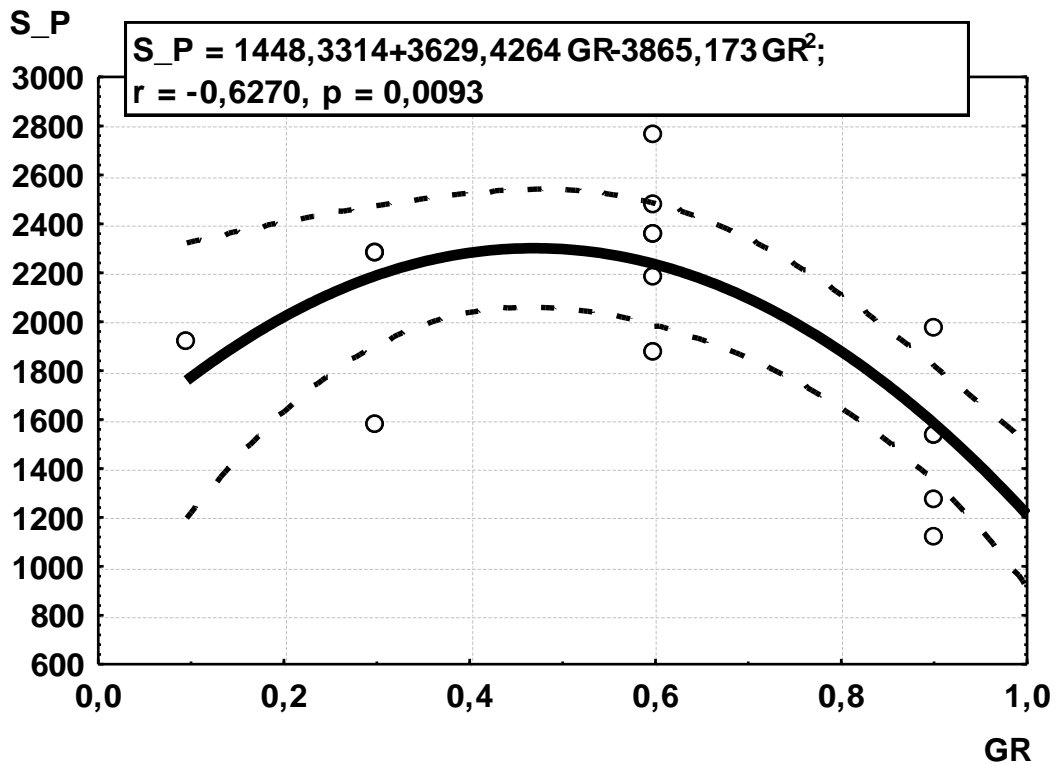


Рисунок 7.8 – Графік залежності розсіяння продуктивності обробки від групи стабільності з довірчим інтервалом

Проаналізуємо вплив групи стабільності обробки на показник ефективності функціонування ТС, тобто на вірогідність отримання готової поверхні деталі при своєчасному закінченні переходу і надійному функціонуванні, який розраховувався по залежності (розділ 5, рис. 5.1). Необхідні значення вірогідності своєчасного завершення переходу, вірогідність відновлення різця і вірогідності його безвідмовної роботи визначалася за допомогою функції розподілу (рис. 7.6, рис. 7.9) відповідних часів. Як видно з графіку (рис. 7.10), вірогідність досягнення мети (VEND), тобто отримання готової поверхні деталі в строк, росте із зростанням долі регулярних прийомів в загальному часі відновлення. Так, для групи стабільності обробки $GR = 1$, VEND у 3,68 рази вище, ніж для $GR = 0,2$.

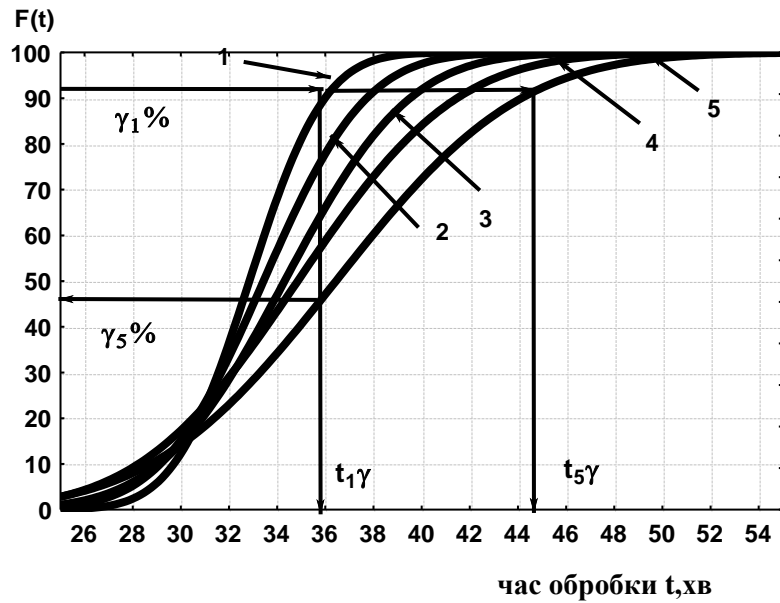
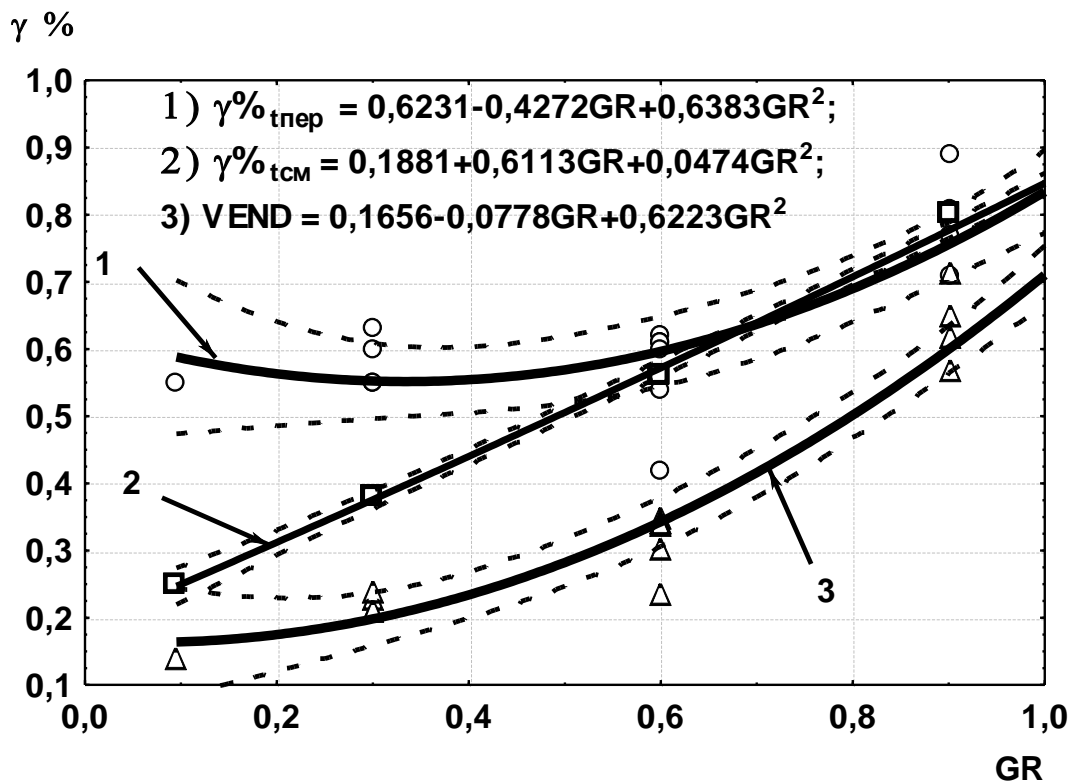


Рисунок 7.9 – Визначення вірогідності завершення переходу в строк за допомогою функції розподілу тривалості переходу



Оцінка адекватності: 1 – $r = 0,7944$, $p = 0,0001$; 2 – $r = 0,9968$, $p = 0,00001$;
3 – $r = 0,9475$, $p = 0,000000008$

Рисунок 7.10 – Графік залежності своєчасності завершення переходу (1), своєчасності відновлення різця (2), вірогідності досягнення мети (3) від групи стабільності з довірчим інтервалом

Для аналізу спільного впливу декількох керованих змінних на параметри ефективності і визначення області значень чинників, в яких досліджуваний параметр набуває максимального або мінімального значення, використовуємо графіки поверхні відгуку (рис. 7.11 – рис. 7.16). Екстремальні значення параметра ефективності досягаються при зміні незалежних змінних в самому темно зафарбованому еліпсі. Так, аналіз показав, що значне зростання продуктивності спостерігається при стійкості в діапазоні 80 хв...180 хв і значеннях групи стабільності $GR > 0,5$ (рис. 7.11).

Було показано, що найбільше значення коефіцієнта готовності (рис. 7.12) спостерігається в області значень групи стабільності понад 0,8 при стійкості

$T > 180$ хв. Це зона найбільш ефективної роботи з точки зору максимальної надійності ТС.

Мінімальні значення інформаційного навантаження (рис. 7.13, рис. 7.14) на робітника досягаються в області значень стійкості більше 160 хв при групі стабільності більше 0,8 (рис. 7.13). Якщо ж оцінювати вплив на інформаційне навантаження ще і коефіцієнта варіації стійкості, то вона значно зменшується при $W < 0,4$ і стійкості $100 \text{ мін} < T < 200$ хв (рис. 7.14).

Також проводилася оцінка вірогідності різання, яка досягає найбільших значень при $160 \text{ хв} < T < 220 \text{ хв}$, $GR > 0,8$ (рис. 7.15).

Вірогідність досягнення мети найбільша при значеннях групи стабільності $GR > 0,9$ і коефіцієнті варіації стійкості різця $W < 0,4$ (рис. 7.16). В результаті розгляду впливу різних незалежних змінних на параметри ефективності і якості виділені наступні області значень параметрів функціонування ТС:

– $0,2 < W < 0,4$; $GR > 0,8$, що відповідає $t_{смγ} = 6 - 9$ хв ($γ = 90 \%$),
 $T > 180$ хв, якщо потрібна максимально надійна робота системи;

– $80 \text{ хв} < T < 180 \text{ хв}$, якщо важлива максимальна продуктивність ТС.

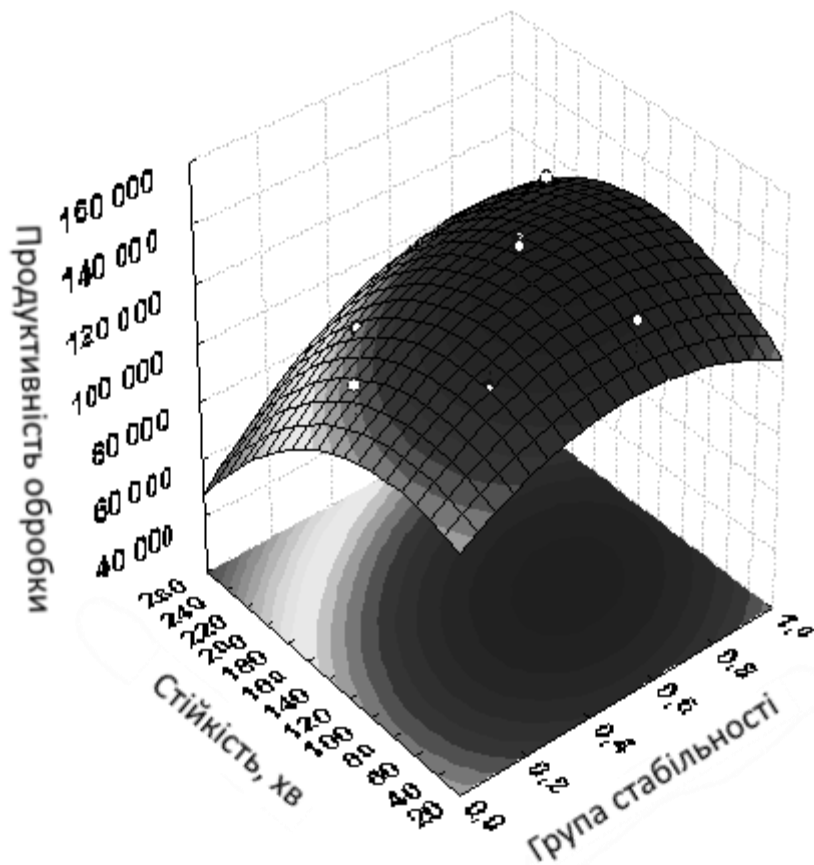


Рисунок 7.11 – Поверхня відгуку для продуктивності обробки залежно від стійкості різця і групи стабільності

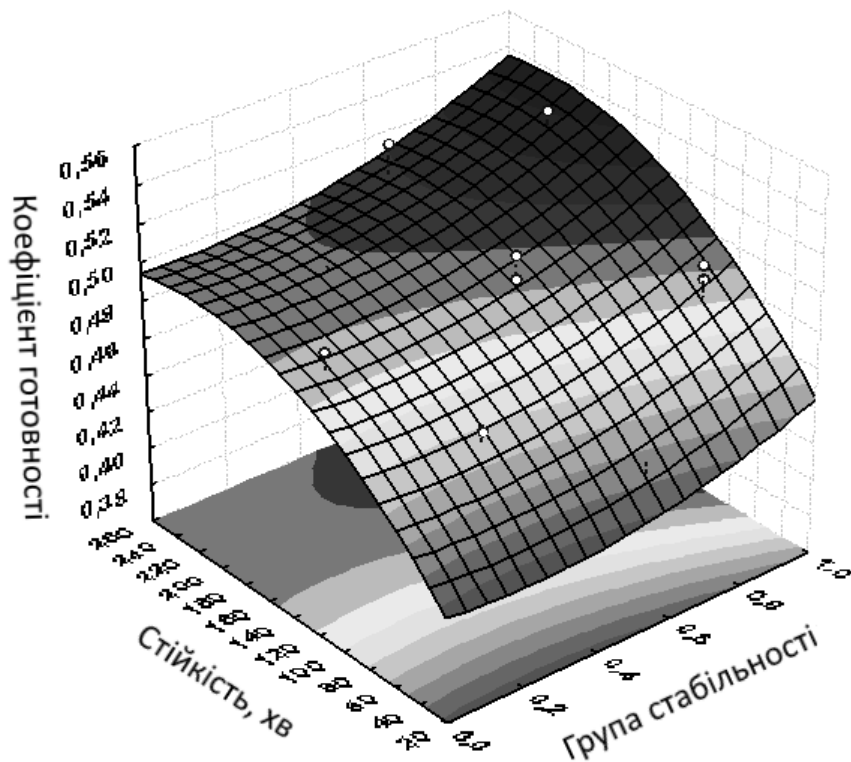


Рисунок 7.12 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнта готовності ТС від групи стабільності і стійкості різця

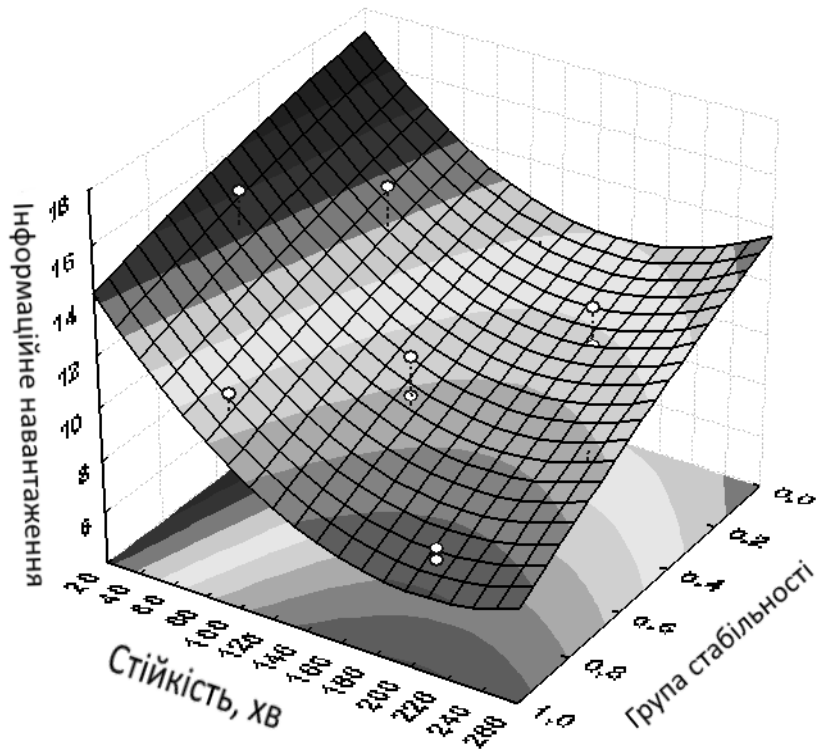


Рисунок 7.13 – Поверхня відгуку залежності інформаційного навантаження від стійкості різця і групи стабільності обробки

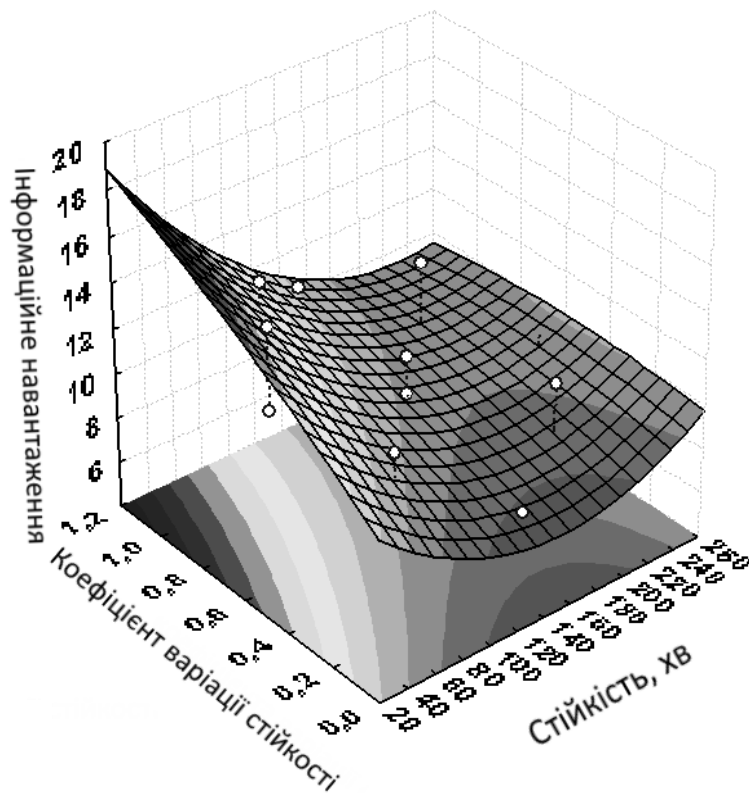


Рисунок 7.14 – Поверхня відгуку залежності інформаційного навантаження від стійкості різця і коефіцієнта варіації стійкості

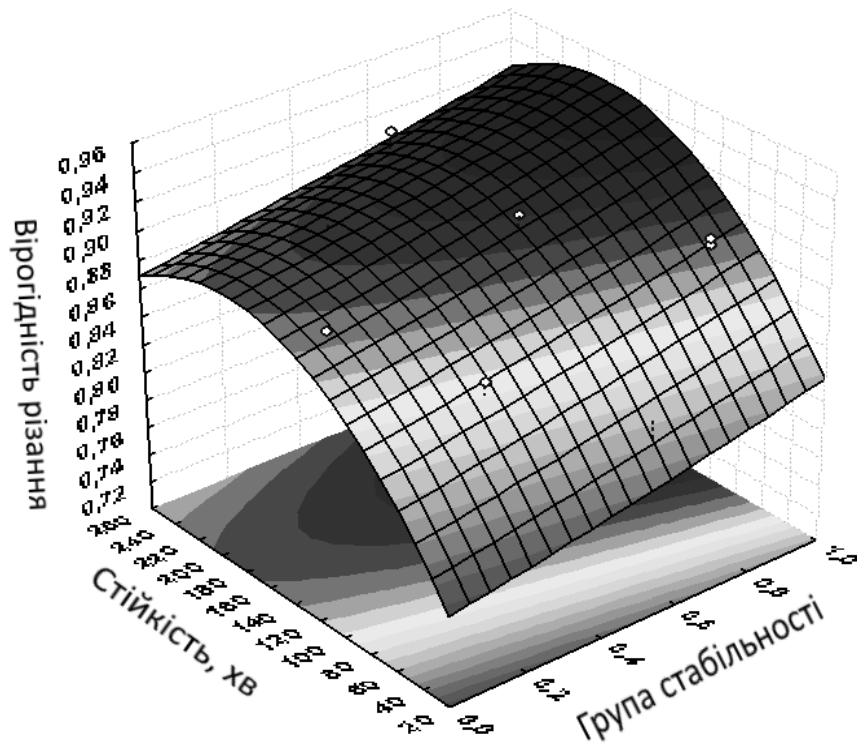


Рисунок 7.15 – Поверхня відгуку залежності вірогідності різання від стійкості різця і групи стабільності

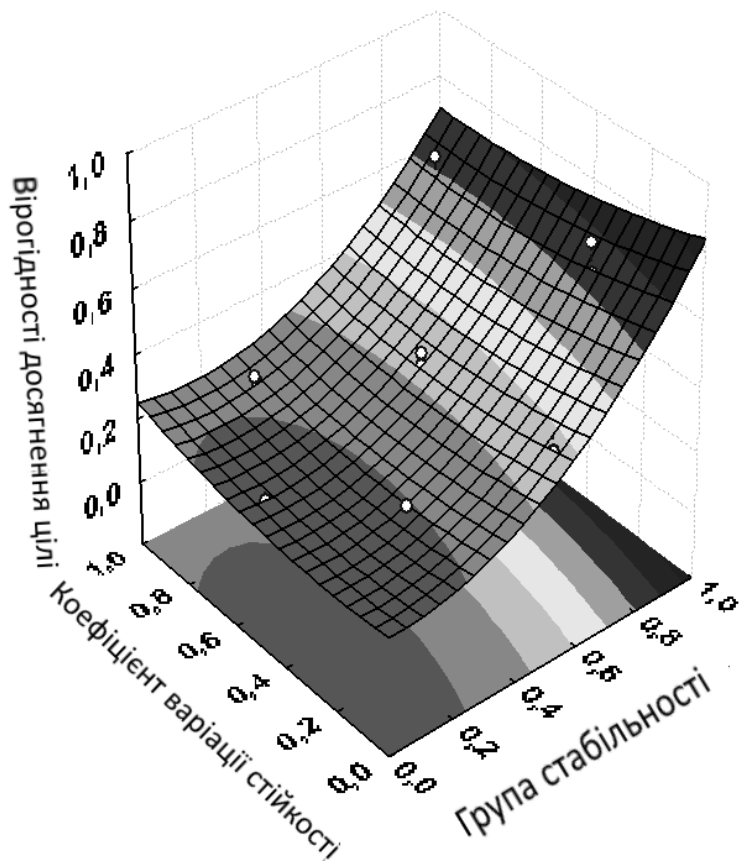


Рисунок 7.16 – Поверхня відгуку залежності вірогідності досягнення цілі від коефіцієнта варіації стійкості різця і групи стабільності

Таким чином, стабільність механічної обробки робить вплив на надійність ТС і в якості критерію оцінки міри цього впливу пропонується гамма-відсотковий час відновлення. Гамма-відсотковий час відновлення і стійкість інструменту впливають на величину продуктивності ТС, а коефіцієнт варіації стійкості – на розсіяння продуктивності.

Ефективніші показники роботи ТС можуть бути досягнуті при $0,2 < W < 0,4$; $GR > 0,8$; $T > 180$ хв, якщо потрібна максимально надійна робота системи і 80 хв $< T < 180$ хв, якщо важлива максимальна продуктивність ТС. Для забезпечення цих умов знадобиться висока якість усіх складових системи, більш висока культура виробництва, якісна технологічна підготовка виробництва.

Отримані кількісні залежності інформаційного навантаження верстатника від характеристик технічної складової ТС – часу відновлення, стійкості різця, коефіцієнта варіації стійкості. Показано, що ухвалення яких-небудь технологічних рішень неможливе без урахування інформаційного навантаження на верстатника, під яким розуміється число фізичних і логічних операцій, що виконуються в одиницю часу.

Запропонований в роботі метод аналізу функціонування ТС може використовуватися для різних конфігурацій ТС.

РОЗДІЛ 8 ЗАХОДИ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ.

8.1 Заходи по поліпшенню параметрів ефективності технологічної системи

8.1.1 Заходи на основі моделювання впливу якості інструменту і його конструкції

Висока ефективність роботи ТС забезпечується багатьма складовими, у тому числі надійністю інструменту. Відмова різця проявляється у вигляді зношування різальної кромки, її викришування, поломки пластини або іншого елемента конструкції різця. Поломки – це непрогнозовані відмови різців. В цьому випадку час відновлення збільшується, що було показано в розділі 4. Крім того, зростає вірогідність отримання браку за рахунок вдавнення пластини в тіло деталі при поломці. Відсоток поломок залежить від ряду чинників [126], у тому числі від якості заготовки і інструменту, його конструкції, якості заточування, рівня режимів різання, жорсткості системи СПД і інших умов експлуатації, що проявляється через збільшення коефіцієнта варіації стійкості.

Моделювання на запропонованій автором моделі показало:

1. Застосування різального інструменту з різними значеннями коефіцієнта варіації стійкості істотно впливає на розсіяння і абсолютне значення продуктивності різання і інших параметрів ефективності ТС.
2. При коефіцієнті варіації стійкості різців $W \leq 0,4$ забезпечується найбільш ефективна робота ТС.

Відсоток поломок і коефіцієнт варіації стійкості, можна понизити декількома шляхами.

По-перше, підвищенням якості підготовки виробництва, оскільки недостатня кількість різців призводить до того, що робітник, щоб не зупинити верстат і виключити відвідування ІРК, прагне працювати вже зношеним різцем як можна довше або бере не той різець або блок, що збільшує вірогідність поломки у зв'язку з погіршенням дроблення стружки. Сучасні різальні пластини повинні мати конструктивні елементи, які забезпечують стружподрібнення при будь-якій стадії зносу інструменту, а також значно розширюють використовувані діапазони глибин, подач і тому не вимагають зміни інструменту при виконанні іншого переходу або навіть при обробці іншої деталі.

По-друге, забезпеченням вхідного контролю якості отриманих партій інструменту, що зменшує коефіцієнт варіації стійкості і підвищує надійність.

По-третє, застосуванням наступних методів підвищення міцності інструменту: управління навантаженням інструменту, збільшення конструктивної міцності інструменту, управління фізико-механічними

властивостями матеріалу пластини, державки, припою, використання методу тренування інструменту.

Що стосується регулювання навантаження на інструмент, то при чорновій і напівчистовій обробці прийнято призначати максимально можливу подачу і розраховувати швидкість різання [9, 126]. Це пояснюється тим, що подача менше впливає на знос, чим швидкість різання.

$$W = \frac{C_w}{K^y V^x},$$
$$K = \frac{C_k D^y V^x h^z}{S^n}, \quad (8.1)$$

де W – коефіцієнт варіації стійкості інструменту;

K – число періодів стійкості інструменту до руйнування;

V – швидкість різання;

S – подача;

D – основний розмірний параметр верстата;

h – товщина пластини;

C_w, C_k – розмірні коефіцієнти.

Проте, якщо звернутися до формули 8.1 [126], то стане зрозуміло, що з точки зору надійності підхід до вибору режимів різання має бути іншим. Таким чином, при виборі подачі для забезпечення високої стабільності різання необхідно враховувати, що зростання подачі збільшує розсіювання стійкості, а зростання швидкості зменшує її розсіювання.

8.1.2 Заходи на основі аналізу моделювання способу інструментзабезпечення і надійності інструменту на показники ефективності ТС

Існують різні способи інструментозабезпечення для різців з переточуваними пластинами: робочий сам береть в коморі інструмент і потім його заточує; інструмент заточує централізовано і доставляють на робоче місце. Для різців із ЗБП – робітник бере пластини в коморі або вони доставляються на робоче місце транспортувальником.

Вивчення даних про предметну область показало (розділ 4), що середній час зміни інструменту на важких токарних верстатах без заточування і ходіння в комору складає 2,5 хв, тоді як заточування різця і ходіння в комору, збільшує середній час зміни до 5 хв. Це підтверджує те, що ефективніший спосіб – це централізоване заточування. В той же час у разі поганої організації виробництва якість заточування працівниками

інструментального господарства не задовольняє робітника і він бере цю функцію на себе.

Результати моделювання різних способів інструментозабезпечення для однієї і тієї ж конструкції різця (ВНП) (табл. 7.4) показали, що при централізованому заточуванні продуктивність різання підвищується на 7 %, коефіцієнт готовності збільшується на 11 %. А моделювання ТС з метою визначення одночасного впливу введення централізованого заточування і застосування надійнішої конструкції (табл. 7.5) показало, що продуктивність росте на 21 %, коефіцієнт готовності збільшується на 14 %, інформаційне навантаження зменшується у 2 рази, при зменшенні зайнятості робочого відновленням ТС на 20 %, вірогідність досягнення мети росте у 1,43 рази.

Для підвищення стабільності ТП пропонуються наступні заходи:

1. Забезпечити важкі токарні верстати сучасною модульною системою інструменту оптимальної якості, що включає оптимізований ряд типорозмірів корпусів, державок, блоків для можливих випадків обробки.

2. Забезпечити верстати раціональною номенклатурою змінних багатогранних пластин, розрахувавши необхідний запас на робочому місці, що скоротить час відновлення.

3. Оснастити металорізальні верстати механізованими затискними пристроями для інструменту, оскільки разом з частою заміною блоків доводиться замінювати державки або корпус.

4. Реорганізувати централізоване заточування під змінно-добове завдання, забезпечивши його якість відповідно до креслення різця.

8.1.3 Вплив автоматизації механічної обробки деталей

Робота підприємств в умовах ринкових стосунків ставить перед ними дві основні проблеми: швидка переналагоджуваність і висока керованість виробництва. Ці питання вирішуються при використанні інтегрованих систем автоматизації проектування виробів і підготовки виробництва. Переваги таких систем повною мірою проявляються при взаємодії з CRP, MRP, ERP системами з одного боку і засобами виробництва з іншою. Так, на основі креслень, розроблених в САД-системі, в САМ-системі автоматично проектуються програми, що керують обробкою деталі на верстатах з ЧПК. Тому перехід на обробку деталей на верстатах з ЧПК є ефективним рішенням.

Моделювання операцій точіння валка робочого на верстаті з ЧПК з використанням інструментального переходу і точіння на універсальному верстаті дало наступні результати (табл. 7.3): продуктивність різання на верстаті з ЧПК підвищується на 6 %, коефіцієнт готовності на 5 %, інформаційне навантаження зменшується у 1,49 рази, при зниженні зайнятості робочого відновленням ТС на 16 %, вірогідність досягнення мети зростає у 1,17 рази.

8.1.4 Рекомендації для нормування

Як було показано в главі 4, процес відновлення ТС носить ймовірнісний характер. В якості параметра, що кількісно оцінює його продуктивність, було запропоновано час відновлення ТС. Причому, дослідження предметної області показали, що гамма-відсотковий час відновлення тонше реагує на зміни середовища на відміну від середнього часу відновлення. Для обробки відповідальних деталей на універсальних токарних верстатах і верстатах з ЧПК автором пропонується:

1. При розробці нормативів часу призначати не лише середній час відновлення, але і максимальний, мінімальний час, а також гамма-відсотковий час. Нижче запропонована форма карт для призначення допоміжного часу (табл. 8.1, табл. 8.2).

Таблиця 8.1 – Тривалість заміни інструменту

Характеристика верстата D _c , мм	Конструкція різця	Середній час t, хв	Межі розсіювання (90 % випадків) t _{min} ...t _{max} , хв	Гарантований час з 90 % вірогідністю t ₉₀ , хв
1600	Змінний блок (ВНП)	2,99	1,1 ÷ 5,3	4,8
2800		4,06	1,7 ÷ 6,4	5,8

Таблиця 8.2 – Тривалість виміру деталі

Характеристика верстата, D _c , мм	Вимірюваний параметр	Середній час t, хв	Межі розсіювання (90% випадків) t _{min} ...t _{max} , хв	Гарантований час з 90% вірогідністю t ₉₀ , хв
1000	діаметр	0,68	0,12 ÷ 1,65	1,32
1600		0,82	0,20 ÷ 1,58	1,40
2800		1,13	0,05 ÷ 3,68	2,72
2800 (з нерегулярними подіями)		1,20	0,08 ÷ 4,00	3,00

2. У системи активного контролю інтегрувати функцію, що забезпечує реєстрацію наближення відмови інструменту і його швидке відведення.

3. Ввести при розрахунку режимів різання нормативні значення для рівня надійності інструменту (табл. 8.3) і розділення виробництва по групах стабільності (табл. 8.4). Нормуючи надійність, ми одночасно накладаємо обмеження на продуктивність за рахунок рівня режимів різання і на інформаційне навантаження, оскільки при зниженні надійності резервний час

для ухвалення рішень зменшується, що викликає зростання інформаційного навантаження.

Таблиця 8.3 – Рівень надійності інструменту і зміна показників якості функціонування ТС (у відносних одиницях)

Доля регулярних процесів	Стійкість різців T, хв	Коефіцієнт варіації стійкості	Продуктивність різання	Коефіцієнт готовності	Інформаційне навантаження на робітника	Гамма-відсотковий час відновлення t_{90}
0,8	80	0,3 0,9	1,00 0,99	0,93 0,92	0,60 0,76	0,47
	200	0,3 0,9	0,74 0,75	1,00 0,96	0,51 0,53	0,47
0,3	80	0,3 0,9	0,96 0,95	0,85 0,86	0,76 1,00	1,0
	200	0,3 0,9	0,72 0,71	0,92 0,90	0,74 0,84	1,0

Таблиця 8.4 – Групи стабільності для дрібносерійного і одиничного виробництва

Група стабільності виробництва	Коефіцієнт варіації стійкості	Закон розподілу часу відновлення	Доля нерегулярних процесів	Зміна вірогідності завершення ТП	Зміна розсіювання продуктивності
Високо стабільне	$\leq 0,25$	нормальний	$\leq 0,2$	1,00	1,00
Помірно стабільне	$> 0,25$ $< 0,80$	лог-нормальний, Вейбула	$> 0,2$ $< 0,6$	0,45	1,30
Нестабільне	$\geq 0,8$	експоненціальний	$\geq 0,6$	0,35	1,55

Визначення діапазону характеристик надійності для конкретного підприємства дозволяє оцінити рівень стабільності ТП, ритмічність виконання замовлень, міру прогнозованості виробництва. Заданий рівень надійності ТС визначатиме можливість використання того або іншого інструменту, устаткування, системи інструментозабезпечення. Таким чином, істотне підвищення продуктивності різання, надійності і зменшення інформаційного навантаження на робітника, підвищення стабільності техпроцесу можливо тільки у разі системного підходу, використання широкого комплексу різного виду заходів : технічних, організаційних, освітніх, мотиваційних. У цій роботі були розглянуті технічні і організаційні заходи.

Підводячи загальний підсумок роботи можна відмітити, що на основі аналізу процесу функціонування технологічної системи визначені причини

втрат продуктивності: непрогнозовані відмови складових ТС, наявність в структурі часу відновлення нерегулярних прийомів, якість технологічної підготовки виробництва і рівень культури виробництва.

Встановлено, що при обробці валків на важких токарних верстатах функціонування ТС може бути описане за допомогою класу безперервноїмовірнісних математичних моделей, при побудові яких використовується теорія масового обслуговування. Найбільш ефективним є дослідження таких моделей за допомогою імітаційного моделювання в спеціалізованому середовищі, що дозволяє виявити істотні впливи на функціонування технологічної системи і запропонувати рекомендації по організації її ефективного обслуговування.

Вивчення надійності ТС з точки зору її відновлення показало, що гамма-відсотковий час відновлення можна використати як параметр оцінки продуктивності процесу відновлення, що підвищує прогнозованість результатів процесу обробки.

Отримані залежності часу відновлення інструменту від розмірного параметра токарного верстата, конструкції інструменту і способу інструментозабезпечення, що дозволяють розраховувати поправочні коефіцієнти на часи відновлення для змінених умов.

Встановлена міра впливу коефіцієнта варіації стійкості різців на розсіяння продуктивності; групи стабільності виробництва, стійкості різця на продуктивність обробки, коефіцієнт готовності, інформаційне навантаження на робітника в результаті обробки за допомогою регресійного аналізу даних, отриманих при імітаційному експерименті. Зменшення долі нерегулярних процесів і коефіцієнта варіації стійкості в 3 рази викликає підвищення вірогідності завершення ТП у 1,4 рази, зростання продуктивності на 6 % і зменшення розсіяння продуктивності у 1,3 рази. Ефективніші показники роботи ТС можуть бути досягнуті при значенні коефіцієнта варіації стійкості $0,2 < W < 0,4$; групи стабільності $GR > 0,8$; стійкості різців $T > 180$ хв, якщо потрібна максимально надійна робота системи і $80 \text{ хв} < T < 180 \text{ хв}$, якщо важлива максимальна продуктивність ТС.

Розроблені карти нормативів з урахуванням надійності відновлення системи. Дані математичні залежності, а також рекомендації по розділенню виробництв по групах стабільності.

Комплексний підхід при використанні запропонованих в роботі технічних і організаційних заходів, створює резерви підвищення продуктивності ТС на 6 % при автоматизації робіт за рахунок перенесення обробки деталей на верстати з ЧПК, на 12 % за рахунок підвищення надійності інструменту і зміни способу інструментозабезпечення.

З точки зору практичного значення отриманих результатів можна відмітити наступне:

1. Розроблені рекомендації по підвищенню продуктивності технологічної системи з урахуванням заданого рівня її надійності, які реалізовані в

- укрупнених нормативах часу, загальномашинобудівних нормативах режимів різання на токарні роботи.
2. Запропонована класифікація виробництва за групами стабільності і якості ТП.
 3. Розроблено програмне забезпечення для розрахунку показників ефективності функціонування ТС для універсальних верстатів і верстатів з ЧПК.
 4. Розроблена програма і отримані математичні моделі для розрахунку продуктивності ТС і інформаційного навантаження на робітника з урахуванням рівня надійності ТС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Губинский, А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л. : Наука, 1981. – 252 с.
2. Митрофанов, С. П. Рациональное использование металлорежущих станков / С. П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1967. – 344 с.
3. Хае́т, Г. Л. Централизованный контроль использования крупных металлорежущих станков / Г. Л. Хае́т, Р. Д. Стрельцова ; АН СССР. – М. : ВИНТИ, 1959. – 36 с.
4. Анализ использования тяжелых станков, эксплуатируемых на заводах ВПО «Союзтяжстанкопром» : отчет о НИР : X-28-80 / Краматорский индустриальный институт ; рук. Л. Л. Соловьев ; исполн.: В. В. Скибин, В. С. Медведев [и др.]. – Краматорск, 1981. – 152 с. – № ГР 80039598. – Инв. № 931593.
5. Аверченков, В. И. Проектирование технологических процессов обработки на станках с ЧПУ / В. И. Аверченков. – Брянск : БИТМ, 1984. – 84 с.
6. Синопальников, В. А. Зависимости процесса резания как случайные функции / В. А. Синопальников // Станки и инструмент : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 1968. – № 7. – С. 38–39.
7. Синопальников, В. А. Надежность и диагностика технологических систем : учебное пособие для вузов / В. А. Синопальников, С. Н. Григорьев. – М. : Высшая школа, 2005. – 344 с.
8. Кацев, П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / П. Г. Кацев. – М. : Машиностроение, 1974. – 256 с.
9. Хае́т, Г. Л. Теория проектирования инструмента и его информационное обеспечение : маркетинг, квалиметрия, надежность и оптимизация / [Г. Л. Хае́т, В. С. Гузенко, Е. П. Подгора и др.] ; под общ. ред. Г. Л. Хае́та. – Краматорск : ДГМА, 1994. – 370 с.
10. Грицаенко, Ю. Ф. О надежности металлорежущего инструмента / Ю. Ф. Грицаенко // сб. науч. тр. МИНХ и ГП им. И. М. Губкина. – М. : Машиностроение, 1968. – Вып. 81. – С. 138–141.
11. Ивченко, Т. Г. Определение показателей надежности инструмента с учетом вероятности его разрушения / Т. Г. Ивченко, Г. П. Клименко // Надежность режущего инструмента : сб. науч. тр. / отв. ред. Г. Л. Хае́т. – Краматорск : КИИ, 1991. – Вып. 4 – С. 21–26.
12. Клименко, Г. П. Определение надежности сборных резцов как системы / Г. П. Клименко // Надежность режущего инструмента : сб. науч. тр. / под общ. ред. Г. Л. Хае́та. – Краматорск : КИИ, 1991. – Вып. 4 – С. 26–31.
13. Мироненко, Е. В. Исследование надежности блочных резцов для уникальных станков / Е. В. Мироненко // Надежность режущего инструмента. Вопросы надежности, оптимального проектирования и эксплуатации

инструмента. Теория и практические приложения : сб. науч. тр. / под общ. ред. В. С. Гузенко и Г. Л. Хаета. – Краматорск : ДГМА, 1994. – Вып. 5 – С. 196–210.

14. Казакова, Т. В. Использование моделей накопления повреждений для управления надежностью режущего инструмента / Т. В. Казакова, В. Н. Черномаз // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. / под общ. ред. Г. Л. Хаета. – Краматорск : ДГМА, 1996. – Вып. 6 – С. 178–180.

15. Пандит Ших. Определение надежности и оптимальных правил замены по коэффициенту вариации / Пандит Ших // Конструирование и технология машиностроения : Труды Американского общества инженеров-механиков. – М. : Мир, 1980. – № 4. – С. 55–61.

16. Рамалингем Уотсон. Распределение стойкости режущего инструмента / Рамалингем Уотсон // Конструирование и технология машиностроения : Труды Американского общества инженеров-механиков. – М. : Мир, 1978. – № 2. – С. 131–135.

17. Высоковский, Е. С. Надежность инструмента на токарных полуавтоматах / Е. С. Высоковский // Вестник машиностроения : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 1966. – № 6. – С. 46–50.

18. Высоковский, Е. С. О системном подходе к управлению надежностью режущего инструмента на автоматизированном оборудовании / Е. С. Высоковский, Е. Д. Антипов // Надежность режущего инструмента : сб. науч. тр. – Донецк : ДПИ, 1984. – С. 19–22.

19. Клименко, Г. П. Эксплуатация инструмента на тяжелых токарных станках / Г. П. Клименко, И. Ф. Гушин // Станки и инструмент : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 1988. – № 2. – С. 20–22.

20. Коткина, М. Г. Целесообразный уровень безотказности работы (гамма-процент) для токарных резцов / М. Г. Коткина, Г. П. Клименко // Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент : Научно-технический реферативный сборник НИИмаш. – М., 1979. – Вып. 4. – С. 7–12.

21. Сидоренко, Е. Г. Определение средней фактической стойкости инструмента с учетом его надежности / Е. Г. Сидоренко, В. Н. Черномаз // Надежность режущего инструмента. Вопросы надежности, оптимального проектирования и эксплуатации инструмента. Теория и практические приложения : сб. науч. тр. / под общ. ред. В. С. Гузенко и Г. Л. Хаета. – Краматорск : ДГМА, 1994. – Вып. 5. – С. 210–215.

22. Сидоренко, Е. Г. Оптимизация уровня надежности операций механической обработки / Е. Г. Сидоренко // Надежность режущего инструмента : сб. науч. тр. / под общ. ред. Г. Л. Хаета. – Краматорск : КИИ, 1991. – Вып. 4 – С. 57–62.

23. Сидоренко, Е. Г. Определение показателей надежности и эффективности операций механической обработки методом Монте-Карло / Е. Г. Сидоренко, О. Л. Коробкина, М. В. Лобанова // Надежность режущего

инструмента : сб. науч. тр. / под общ. ред. Г. Л. Хаета. – Краматорск : КИИ, 1991. – Вып. 4 – С. 75–83.

24. Григорьян, Г. Д. Основы разработки современных технологических систем в машиностроении : учебное пособие для вузов / Г. Д. Григорьян. — К. : Вища школа, 1992. — 167 с. : ил.

25. Попов, Л. В. Моделирование технологической системы и оценка ее надежности по параметрам производительности / Л. В. Попов, Г. В. Шиф, М. А. Юдина // Надежность режущего инструмента : сб. науч. тр. / под общ. ред. Г. Л. Хаета. – Краматорск : КИИ, 1991. – Вып. 4. – С. 70–75.

26. Кравченко, В. М. Основы теории функционирования и повышения эксплуатационной надежности карьерного оборудования как динамической системы разноресурсных элементов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.06: защищена 08.12.2000 / Кравченко Владимир Михайлович. – Донецк, 2000. – 303 с.

27. Потапов, В. Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности : учебное пособие для вузов / В. Д. Потапов, А. Д. Яризов. – М. : Высш. школа, 1981. – 192 с.

28. Антипов, И. В. Обоснование параметров и средств повышения надежности технологии безлюдной скрепероструговой выемки : автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : 05.15.02 : защищена 19.10.89 / И. В. Антипов. – Донецк, 1989. – 20 с.

29. Соловьев, А. Е. Имитационное моделирование функционирования модулей ГПС для оценки их надежности / А. Е. Соловьев, В. Г. Попов, Ю. В. Жиров, О. Д. Марковская. – Л. : Ленинград. ин-т информатики и автоматизации, 1990. – 64 с.

30. Вильховченко, Э. С. Место человека в новейшем производстве / Э. С. Вильховченко // Мировая экономика и международные отношения. – 1998. – № 5. – С. 60–65.

31. Добрынин, А. И. Человеческий капитал в транзитивной экономике : формирование, оценка, эффективность использования / А. И. Добрынин, С. А. Дятлов, Е. Д. Цыренова. – СПб. : Наука, 1999. – 308 с.

32. Цутя, К. Особенности человека как элемента управления / Цутя К. ; пер. с яп. ВЦП N Ц-4971. – М. : [б. и.], 1971. – Т. 15. – С. 33–41 : ил.

33. Леонтьев, А. Н. Деятельность. Сознание. Личность / А. Н. Леонтьев. – М. : Политиздат, 1975. – 104 с.

34. Деятельность : теории, методология, проблемы / [сост. И. Т. Касавин]. – М. : Политиздат, 1990. – 56 с.

35. Николов, Л. Структуры человеческой деятельности / Л. Николов. – М. : Прогресс, 1984. – 156 с.

36. Зараковский, Г. М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г. М. Зараковский, В. В. Павлов. – М. : Радио и связь, 1987. – 236 с.

37. Решетов, Е. Т. Исследование систем человек-машина и человек производственная среда : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Решетов Евгений Трофимович. – М., 1971. – 274 с.
38. Берталанфи, Л. История и статус общей теории систем / Л. Берталанфи // Системные исследования : ежегодник. – М., 1973. – С. 45–51.
39. Садовский, В. Н. Принцип системности, системный подход и общая теория систем / В. Н. Садовский // Системные исследования : ежегодник. – М., 1978. – С. 13–18.
40. Бусленко, В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В. Н. Бусленко. – М. : Машиностроение, 1977. – 224 с.
41. Губинский, А. И. Аналитическое имитационное моделирование человеко-машинных систем / А. И. Губинский, И. А. Плаксин // Оптимизация и проектирование человеко-машинных систем. : сб. науч. тр. – Воронеж, 1980. – С. 6–8.
42. Гнеденко, Б. В. Надежность, точность и эффективность деятельности человека-оператора / Б. В. Гнеденко, А. И. Губинский, А. М. Половко // М-лы Второй всесоюзной конференции по инженерной психологии (по проблеме "Человек-автомат"). – М.-Л., 1969. – С. 19–23.
43. Клейнен, Дж. Статистические методы в имитационном моделировании / Дж. Клейнен. – М. : Статистика, 1978. – Вып. 2. – 336 с.
44. Горнев, В. Ф. О проектах и мероприятиях по международной программе IMS / В. Ф. Горнев, В. Б. Тарасов // Автоматизация проектирования : ежемесячный журнал. – 1999. – № 4. – С. 45–52.
45. Бернштейн, Н. А. Физиология движений и активность / Н. А. Бернштейн. – М. : Наука, 1990. – 396 с.
46. Гастев, А. К. Трудовые установки / А. К. Гастев. – М. : Экономика, 1973. – 344 с.
47. Методика изучения использования рабочего времени в промышленности / [составитель А. В. Петухов]. – М. : НИИ труда, 1967. – 20 с.
48. Нормирование труда / [Генкин Б. М., Петроченко П. Ф., Бухалков М. И. и др.] ; под. ред. Б. М. Генкина.. – М. : Экономика, 1985. – 36 с.
49. Генкин, Б. М. Экономика и социология труда : учеб. для вузов / Б. М. Генкин. – М. : НормаИНФРА, 1999. – 384 с.
50. Основы нормирования труда в народном хозяйстве Украины : учеб. пособие. – Краматорск : Центр продуктивности, 1999. – 388 с.
51. Холодная, Г. Н. Нормирование труда в промышленности / Г. Н. Холодная – М. : Экономика, 1978. – 52 с.
52. Курс для высшего управленческого персонала : пер. с англ. / совет редакторов по профессиям и бизнесу изд-ва Прентис-Холл. – М. : Экономика, 1970. – 104 с.

53. Адамов, В. Н. Статистическое изучение влияния отдельных факторов на производительность труда / В. Н. Адамов // Вестник статистики. – 1966. – № 2. – С. 20–26.
54. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производство. – М. : НИИ труда, 1973. – 312 с.
55. Нормативы времени и режимов резания для нормирования работ на крупных токарных станках. Единичное и мелкосерийное производство. – Краматорск : Центр НОТ, 1985. – 272 с.
56. Оценка и прогнозирование функциональных состояний в физиологии : тез. докл. респ. науч.-техн. конф. (13–14 марта, Фрунзе). – Фрунзе : Илим, 1980. – 536 с.
57. Галактионов, А. Т. Представление информации оператору / А. Т. Галактионов. – М. : Энергия, 1989. – 84 с.
58. Суходольский, Г. В. Структурно-алгоритмический анализ и синтез деятельности / Г. В. Суходольский. – Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1976. – 212 с.
59. Шерман, Е. Л. Методы изучения и проектирования трудовых процессов / Е. Л. Шерман // НОТ в машиностроении : сб. науч. тр. – М., 1969. – С. 30–38.
60. Никулин, Л. Ф. Элементы распознавания образов при изучении трудовых процессов рабочих / Л. Ф. Никулин. – М. : Машиностроение, 1978. – 152 с.
61. Никулин, Л. Ф. Системный анализ трудовых процессов станочников / Л. Ф. Никулин. – М. : Экономика, 1975. – 172 с.
62. Завгородня, Т. П. Економіко-математичені моделі в нормуванні труда (монографія) / Т. П. Завгородня. – Хмельницький : Евріка, 2001. – 212 с.
63. Тюріна, Н. М. Дослідження по обґрунтуванню нових видів нормативів / Н. М. Тюріна // Проблеми праці, економіки та моделювання : зб. наук. праць. – Хмельницький : Технологічний ун-т Поділля, 1998. – С. 150–152.
64. Нижник, В. М. Еволюція поглядів на проблеми нормування затрат праці / В. М. Нижник // Проблеми праці, економіки та моделювання : зб. наук. праць. – Хмельницький : Технологічний ун-т Поділля, 1998. – С. 175–178.
65. Кладницька, Г. О. Стохастичні підходи при розробці нормативів часу / Г. О. Кладницька // Проблеми праці, економіки та моделювання : зб. наук. праць. – Хмельницький : Технологічний ун-т Поділля, 1998. – С. 244–249.
66. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
67. Мурашко, А. Г. Первое знакомство с сетями Петри : учеб. пособие / А. Г. Мурашко. – К. : УМК ВО, 1998. – 72 с.
68. Халимон, В. И. Система преобразования модели периодического технологического процесса в сеть Петри / В. И. Халимон, Е. В. Савина // Математические методы в технике и технологиях : сб. науч.

тр. международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – СПб., 2000. – С. 103–104.

69. Зайцев, Д. А. Композиционный анализ сетей Петри / Д. А. Зайцев // Кибернетика и системный анализ : международный научно-теоретический журнал – К., 2006. – № 1. – С. 143–155.

70. Малюх, В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций / В. Н. Малюх. - М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

71. Быков, В. В. Исследовательское проектирование в машиностроении / В. В. Быков, В. П. Быков. - М.: Машиностроение, 2011. – 256 с. ISBN 978-5-94275-587-4.

72. Лабковский, Б. А. Наука изобретать / Б. А. Лабковский. СПб: - Нордмет-Издат, 1999. – 372 с.

73. Аверченков, В. И. Автоматизация проектирования технологических процессов : учеб. пособие для вузов [Электронный ресурс] / В.И.Аверченков, Ю.М.Казаков. - 2-е изд., стереотип. - М.: ФЛИНТА, 2011. - 229 с. ISBN 978-5-9765-1265-8.

74. Болдин, А. Н. Основы автоматизированного проектирования : учеб. пособие / А. Н. Болдин, А. Н. Задиранов. - М.: МГИУ, 2006. - 104 с. ISBN 5-276-00928-7.

75. Божко, А. Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью / А. Н. Божко, А. Ч. Толпаров // Электронное научно-техническое издание «Наука и Образование», 2004, №5. <http://technomag.bmstu.ru/doc/44191.html>.

76. Евгеньев, Г. Б. Системология инженерных знаний / Г. Б. Евгеньев. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 376 с. – ISBN 5-7038-1524-X.

77. Мюллер, И. Эвристические методы в инженерных разработках : пер. с нем. / И. Мюллер –М. : Радио и связь, 1984. –144 с.

78. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов / И. П. Норенков. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с. – ISBN 5-7038-2090-1.

79. Техническое творчество: теория, методология, практика: энциклопедический словарь–справочник / А. М. Дворянкин [и др.] ; под ред. А. И. Половинкина, В. В. Попова. – М. : Информсистема, 1995. – 410 с.

80. Одрин, В. М. Метод морфологического анализа технических систем / В. М. Одрин. – М. : ВНИИПИ, 1989.–312 с.

81. Андрейчиков, А.В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / А.В. Андрейчиков, О.Н Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998. –476 с.

82. Гузенко, В. С. Направленный морфологический анализ и синтез инструмента для особо тяжелых условий резания / В. С. Гузенко // Надежность режущего инструмента. – Краматорск: КИИ, 1991. –Вып.4 – С.83–91.

83. Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням САД/САМ/САЕ-систем: монографія / О. Ф. Тарасов, О. В.

Алтухов, П. І. Сагайда, Л. В. Васильєва, В. Л. Аносов. – Краматорськ : ЦТPI «Друкарський дiм», 2017. – 239 с. ISBN 978-966-379-772-4.

84. Гузенко, В. С. Морфологический синтез технических объектов с помощью последовательной максимизации на неравномерной решетке / В.С. Гузенко, Г.Г. Коткин, В.Л. Аносов // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. В2–х т. Т1. –Краматорск: ДГМА, 1997, С.3–22.

85. Мельников, А. Ю. Разработка информационной системы для поиска функциональных схем объектов посредством оптимизации линейного функционала на неравномерной решетке / А. Ю. Мельников, В. Л. Аносов, Ю. В. Кушнир, В. В. Хорошайло // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2008, №3/2, С.57–64.

86. Патент №23399А Украина, МКИ В23 С5/06. Торцовая фреза / Гузенко В.С., Мироненко Е.В., Аносов В.Л., Носков В.В.; №95062964; Заявлено 23.06.95, опубликовано 31.08.98 г. Бюл.№4 // Промислова власність. – 1998 №4.

87. Патент №32129 Україна, МПК (2006) В23 С5/02 Фреза торцева зі ступінчастою схемою різання / Гузенко В.С., Бабін О.Ф., Аносов В.Л.; № и 2007 12614. Заявлено 14.11.2007, опубліковано 12.05.2008 р. Бюл.№9 // Промислова власність. – 2008 №9.

88. Чень, Ч. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Чень Ч., Ли Р. ; пер. с англ. ; под ред. С.Ю.Маслова. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 360 с.

89. Маслов, С. Ю. Поиск вывода как модель эвристического процесса / С. Ю. Маслов // Кибернетика, 1972. - N5. - С. 74-78.

90. Маслов, С. Ю. Теория поиска вывода / С. Ю. Маслов Кибернетика, 1975. - N4. - С.134-144.

91. Ершов, Ю. Л. Математическая логика / Ю. Л. Ершов, Е. А. Палютин. — 6-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 356 с. - ISBN 978-5-9221-1301-4.

92. Мичи, Д. Компьютер – творец / Д. Мичи, Р. Джонсон. - М.: Мир, 1987. – 255 с.

93. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552с.

94. Коткина, М. Г. Определение производительности при обработке деталей на станках токарной группы с учетом времени на обслуживание / М. Г. Коткина, В. Н. Черномаз, Л. М. Зуева // Надежность режущего инструмента. - Донецк: ДПИ, 1984, - С.89-93.

95. Теория проектирования инструмента и его информационное обеспечение: маркетинг, квалиметрия, надежность и оптимизация / Г.Л.Хаेत, В.С.Гузенко, Л.Г.Хаेत и др.: Под общ.ред. Г.Л.Хаета. - Краматорск: ДГМА, 1994. - 370с.

96. Аносов, В. Л. Экспериментальные исследования времени восстановления торцовых фрез с механическим креплением пластин /

В. Л. Аносов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2004, вип. №15, - С.40-45.

97. Гихман, И. И. Введение в теорию случайных процессов / И. И. Гихман, А. В. Скороход. 2-е издание. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1977, - 568с.

98. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок ; пер. с англ. И. И. Грушко ; под ред. В. М. Неймана. – М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.

99. Системный анализ, оптимизация и принятие решений в механообработке / Г. Г. Коткин, В. С. Гузенко, А. Л. Еськов и др.: Под общ.ред. В. С. Гузенко. - Краматорск: ДГМА, 1998. - 234с.

100. Боровиков, В. П. STATISTICA : искусство анализа данных на компьютере для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 656 с.

101. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко ; под общ. ред. В. В. Налимова. – М. : Мир, 1969. – 396 с.

102. Айвазян, С. А. Прикладная статистика в задачах и упражнениях / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М. : ЮНИТИ–ДАНА, 2001. – 208 с.

103. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, О. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 246 с.

104. Справочник по инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. – М. : Машиностроение, 1982. – 368 с.

105. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 416 с.

106. Кельтон, В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер : Киев : ВНУ, 2004. – 848 с.– (Серия: Классика CS).

107. Томашевський, В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К. : ВНУ, 2005. – 352 с.

108. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.

109. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ : пер. с англ. / Г. Буч. – М. : Бином : СПб : Невский диалект, 1999. – 560 с.

110. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб.пособие для вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2000. – 480 с. – ISBN 5-06-003650-2.

111. Таха Хэмди, А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Хэмди А. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2007. – 912 с.

112. Черчмен, У. Введение в исследование операций / У. Черчмен, Р. Акоф, Л. Арноф. – М. : Наука, 1967. – 488 с.

113. Орлов, С. А. Технологии разработки программного обеспечения : учебник для вузов / С. А. Орлов. – Изд. 3-е. – СПб. : Питер, 2004. – 528 с. – ISBN 5-94723-820-9.

114. Ларман Крэг. Применение UML и шаблонов проектирования : пер. с англ. / Крэг Ларман. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2002. – 624.
115. Юдицкий, С. А. Методология структурного анализа и логического проектирования сложных информационно-управляющих систем / С. А. Юдицкий, А. Т. Кутанов // Приборы и системы управления : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 1994. – № 4. – С. 15–25.
116. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высш. школа, 1989. – 368 с.
117. Кузнецов, Ю. М. Теорія технічних систем / Ю. М. Кузнецов, І. В. Луців, О. П. Дубиняк ; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : Тернопіль : ТДГУ, 1997. – 312 с.
118. Шрайбер, Т. Дж. Моделирование на GPSS / Т. Дж. Шрайбер. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.
119. Томашевський, В. М. Імітаційне моделювання систем і процесів : навч. посіб. / В. М. Томашевський. – К. : ІСДО, 1994. – 124 с.
120. Томашевский, В. Н. Имитационное моделирование средствами GPSS/PC / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. – К. : ІЗМН, ВІПОЛ, 1998. – 124 с.
121. Томашевский, В. Н. Решение практических задач методами компьютерного моделирования / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова, А. А. Жолдаков. – К. : Корнійчук, 2001. – 268 с.
122. Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК-пресс, 2004. – 320 с.
123. Шибанов, Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 264 с.
124. Дальский, А. М. Технология машиностроения : в 2 т. / А. М. Дальский, В. М. Бурцев, А. С. Васильев и др. – 2-е изд., стер. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. Т. 1: Основы технологии машиностроения. – 2001. – 564 с.
125. ХаеТ, Г. Л. Прочность режущего инструмента / Г. Л. ХаеТ. – М. : Машиностроение, 1975. – 168 с.
126. ХаеТ Г. Л. Сборный твердосплавный инструмент / Г. Л. ХаеТ, В. М. Гах, К. Г. Громаков и др. ; под общ ред. Г.Л. ХаеТа. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.
127. Мостеллер, Ф. Анализ данных и регрессия / Ф. Мостеллер, Д. Тьюки ; пер. англ. Ю. Н. Благовещенского ; под ред. Ю. П. Адлера. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 220 с.
128. Боровиков, В. П. STATISTICA. Статистический анализ : обработка данных в среде WINDOWS/ В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М. : Филлин, 1997. – 608 с.

129. Кокс, Д. Статистический анализ последовательностей событий / Д. Кокс, П. Льюис ; пер. с англ. И. А. Маховой, В. В. Рыкова ; под ред. Н. П. Бусленко. – М. : Мир, 1969. – 312 с
130. Кокс, Д. Теория восстановления / Д. Кокс, В. Смит. – М. : Мир, 1967. – 352 с.
131. Брахман, Л. А Коэффициенты вариации стойкости инструмента / Л. А. Брахман, П. Г. Кацев, Ю. А. Лопухин, В. М. Башков // Надежность режущего инструмента : сб. науч. тр. – Киев : Донецк: Вища школа, 1975. – С. 17–21.
132. Венжега, П. И. Стойкость валков чистового холодного проката / П. И. Венжега, М. Я. Белкин // Надежность и долговечность валков холодной прокатки. – М. : Металлургия, 1971. – С. 15–19.
133. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 2 т. / под ред. А. И. Ремебазы. – М. : Машиностроение, 1986. Том 1: Методология, организация, терминология. – 1986. – 224 с.
134. Кузьменко, В. М. Специальные языки программирования. Программные и инструментальные средства моделирования сложных систем / В. М. Кузьменко. – Харьков, 2001. – 252 с.
135. Советов, Б. Я. Моделирование систем : практикум : учеб. пособие для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 2003. – 296 с.

Наукове видання

**БОГДАНОВА Ліна Михайлівна,
АНОСОВ Валерій Леонідович**

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

Монографія

За авторською редакцією

Формат $60 \times 90^{1/16}$. Ум.-друк. арк. 10,17.
Обл.-вид. арк. 11,97. Тираж 300 пр. Зам. № 3.

Видавець

Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003

Виготівник

видавництво ЦТРІ – «Друкарський дім»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавництв
ДК № 5071 від 23.03.2016
м. Краматорськ, вул. Олекси Тихого, 1-б.
тел.: (0626) 6-73-24, (066) 076-76-21