КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

УДК 621.91

КОВАЛЕВСЬКИЙ Сергій Вадимович

ІНТЕГРОВАНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ МЕХАНООБРОБКИ

Спеціальність: 05.02.08 - Технологія машинобудування

Автореферат

дисертації на здобування вченого звання
доктора технічних наук

Київ КПІ 1993

Робота виконана на кафедрі технології машинобудування Краматорського індустріального інституту.

Науковий консультант - заслужений діяч науки і техніки, академік ІАН України, доктор технічних наук, професор Гавриш А.П.

Офіційні опоненти: - академік ІАН України, доктор технічних наук, професор Розенберг О.А.

- академік ІАН України, доктор технічних наук, професор Тернюк М.Э.

- академік Української технологічної академії, доктор технічних наук, професор Зенкин А.С.

Провідне підприємство - Науково-виробниче об"єднення "Черметмеханізація"

Захист відбудеться "19" квітня 1993 р. в 15⁰⁰ годин на засіданні спеціалізованої ради Д 068.14.10 при Київському політехнічному інституті по адресі: 252056, м. Київ, проспект Перемоги,37 кор. 1, ауд. 214.

Відгук на автореферат в 2-х екземплярах, завірений печаткою установи, просимо направляти по вищеуказаній адресі на ім"я вченого секретаря спеціалізованої ради.

З дісертацією можна познайомітись в бібліотеці інститута.

Автореферат разісланий "18" березня 1993 р.

Вчений секретарь
спеціалізованої ради,
д.т.н., професор Н.С.Равская

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В наш час продовжується інтенсивне формування технології машинобудування як науки. Поряд з використанням прикладних загальноінженерних дисциплін вчені і спеціалісти все частіше звертаються до фундаментальних природничонаукових досліджень та їх результатів. Зокрема- до фізичної хімії, ядерної фізики, теорії коливальних (хвильових) процесів, теорії систем, теорії управління і т. п. Використання основних положень фундаментальних наук стосовно області технології машинобудування дає можливість продовжити побудову її філософської системи і забезпечити подальше удосконалення технологічних процессів з метою підвищення їх якості і надійності.

Особливе значення в пізнанні різних об'єктів і процессів належить поняттю ентропії, яка характеризує ступінь їх упорядкованості. В свою чергу, технологія машинобудування, являючи собою науку про систематизацію (упорядкування) сукупності прийомів і засобів обробки сировини, матеріалів та напівфабрикатів з метою отримання готової машинобудівної продукції відповідної якості при максимальній продуктивності та ефективності, може отримати новий імпульс у своєму розвитку на основі виявлення областей і методів використання фундаментального поняття - ентропії та її твірних. Таким чином проблема полягає в пошуку перспективного наукового напрямку в технології машинобудування для підвищення якості технологічних процесів та систем, що є актуальним і має велике наукове і практичне значення.

Мета роботи і завдання дослідження. На основі розробкі методології, теорії і практики створення інтегрованих моделей технологічних систем та їх оптимізації методами ентропії забезпечить підвищення якості і ефективністі технологічних процесів та технологічних систем, що їх реалізують.

Для вирішення поставленої проблеми і досягнення, мети роботи повинні бути вирішені наступні завдання.

1. Пошук і обгрунтування комплексного показника здатного відбивати сутність процессу на підставі застосування принципів термодинаміки з урахуванням розділу енергетичних взаємодій за ступенем незворотності розсіювання механічної енергії в системі її перетворень.

2. Розробка термодинамічної моделі системи та дослідження виробництв ентропії в процесах обробки матеріалів та формування характеристик їх якості.

3. Розробка термодинамічної моделі та дослідження ентропії структури гнучких автоматизованих дільниць механоскладання з метою оптимізації.

4. Розробка і застосування символьного метода моделювання перетворень енергетичних, матеріальних та інформаційних потоків для опису структур технологічних систем і синтезу заходів для їх удосконалення на основі управління показниками ентропії системи.

5. Розробки термодинамічної моделі та дослідження ентропії показників завантаження основного устаткування технологічних систем з метою удосконалення технологічної підготовки виробництва та характеристик металорізальних верстатів.

6. Впровадження результатів розробок і досліджень в машинобудівне виробництво та навчальний процес підготовки інженерів за спеціальністю 12.01 "Технологія машинобудування".

Методи дослідження базуються на системному підході до створення ефективних технологічних систем і процесів, теорії термодінамики систем, теорії ймовірності, диференціальному і інтегральному численні, сістемному моделюванню, методах оптимізації.

Наукова новизна дисертації полягає в вирішенні наукової проблеми пошуку нового підходу до вдосконалення технологічних систем і процесів механообробки на основі оцінки їх упорядкованості з допомогою розроблених інтегрованих моделей технологічних систем і виявлених та обгрунтованих показників ентропії технологічних об'єктів.

Розроблені теоретичні положення включають в себе:

- методологію підходу до вдосконалення технологічних систем і процесів механообробки на основі оцінки їх упорядкованості з

допомогою розроблених інтегрованих моделей технологічних систем і виявлених та обгрунтованих показників ентропії технологічних об'єктів;

- закономірності виробництва ентропії в технологічних системах в умовах перетворення енергетичного потоку;
- комплексні показники ентропії технологічних систем на основі принципу термодінамики з урахуванням розділу енергетичних взаємодій за ступенем незворотності розсіву механічної енергії у системі її перетворення;
- математичні інтегровані моделі технологічних процесів, що описують виробництво ентропії в процесах обробки матеріалів та формування характеристик їх якості;
- методи символьного моделювання перетворень матеріального, енергетичного та інформаційного потоків для описання технологічних систем;
- методи синтезу заходів на основі мінімізації показників ентропії інтегрованих моделей технологічних процесів;
- математичні інтегровані моделі структури технологічного устаткування дільниць механообробки, в т.ч. гнучких автоматизованих дільниць і методи їх оптимізації;
- математичні моделі на основі ентропії показників завантаження технологічного устаткування технологічних систем з метою удосконалення технологічної підготовки виробництва та технічних характеристик металорізальних верстатів;
- методи підвищення достовірності показу результатів досліджень при статистичної обробці експерементальних данних на основі мінімізації зведеної ентропії гістограм статистичних росподілів показників досліджуваних об'єктів.

Автор захищає:

- теоретичні основи сінтезу інтегрованих моделей технологічних систем механообробки, що базуються на виявлених закономірностях виробництва ентропії і її твірних в технологічних системах в умовах перетворення матеріального, енергетичного та інформаційного потоків;
- інтегровані моделі процесів, систем устаткування і їх структур, удосконалення технологічної підготовки виробництва

та технічних характеристик металорізальних верстатів, їх завантаження і обслуги;
- методи дослідження умов оптімальністі технологічних систем і процесів на основі виявлених та обгрунтованих показників ентропії технологічних об'єктів.

Практична значимість роботи полягає в висновках і рекомендаціях, що випливають із результатів досліджень і розробок і дають можливість:
- виконувати діагностику технологічних процесів обробки різанням за комплексом запропонованих термодинамічних показників якості процесу;
- давати оцінку структур технологічних систем мехонообробки, в т.ч. автоматизованих, та їх оптимізацію при проектуванні за ступнем упорядкованості на основі мінімізації показника ентропії. У зв'язку з цим запропоновані варіанти моделей оптимальних структур гнучких виробничих модулів і дільниць механообробки деталей;
- здійснювати аналіз ефективності завантаження технологічного устаткування за показником ентропії розподілу трудомісткості обробки деталей і розробляти заходи спрямовані на поліпшення використання устаткування, в т.ч. на базі удосконалення його технічних характеристик і обслуговування;
- підвищіти вірогідність подачі результатів при статистичній обробці експериментальних даних на основі мінімізації ентропії статистичних розподілів показників досліджуваних об'єктів. З цією метою розроблена і запропонована відповідна програма для ПЕОМ;
- використовувати результати робіт у навчальному процесі підготовки інженерів спеціальності 12.01 "Технологія машинобудування" і підвищення кваліфікації інженерів-технологів.

Реалізація в промисловості. Результати роботи упроваджені в проектах дільниць механообробки для Нікопольского Південнотрубного і Першоуральського трубного заводів, виконаних НВО "Черметмеханізація" і галузевого проектного організаційного "УКРДІПРОМЕЗ" за участю автора: в рекомендаціях по роботизації технологічних процесів механообробки на Череповецькому, Магніто-

горському, Карагандінському, Комунарському комбінатах; в технологічних рекомендаціях і обладнаннях для управління обробкою деталей на ремонтних підприємствах чорної металургії (Лутугінський, Кушвинський і Дніпропетровський заводи прокатних валків, Магнітогорський завод по ремонту гірничого і металургійного устаткування, Дебальцевський завод по ремонту металургійного устаткування та ін.).

Практичні рекомендації і разробки покладені в основу програми підвищення кваліфікації інженерів-технологів на АО "Новокраматорський машинобудівний завод" розроблені автором і реалізованої в 1991-92 рр. спільно із співробітниками кафедри технології машинобудування Краматорського індустріального інституту.

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідалися на 18 міжреспубліканських, республіканських, галузевих та регіональних конференціях і семінарах у т.ч. на таких республіканських конференціях, організованих і проведених автором, як "Ресурсозаощаджуючі технології механоскладального віробництва" (1990 р., м. Дніпропетровськ), "Якість і надійність технологічних систем" (1991 та 1992 рр. м. Краматорськ), "Термодинаміка технологічних процесів" (1992 р. м. Київ), на науковотехнічних радах НВО "Черметмеханізація", на галузевих нарадах Міністерства чорної металургії в мм. Дніпропетровську, Москві, Електросталі. Також робота доповідалась на кафедрах "Технології напівпровідникового та вакумного машінобудування" Уральського політехнічного інституту, "Технології машинобудування" Куйбишевського політехнічного інституту, "Технології машинобудування" Краматорського індустріального інституту.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано одна монографія, 4 брошури, та 63 праці.

Структура та обсяг дісертації.

Дисертація викладена на 285 друкованих аркушах з малюнками і таблицями. Робота складається із вступу, 6 глав, списку літератури, що включає 370 праць та додатків. В додатках приведені акти впровадження наслідків роботи з економічним ефектом девятьсот тисяч карбованців (за курсом 1981 - 1989 рр).

Крім того частіна додатків, яка має програми для ПЕОМ і результати моделювання технологічних об'єктів у вигляді протоколів разрахунків, малюнків і таблиць приведена у другой книге.

У вступі обгрунтована актуальність теми досліджень та викладені основні положення, що винесені на захист.

В першій главі виконаний аналіз літературних джерел в галузі досліджень якісті технологічних процесів і технологічних систем, методів їх моделювання. Виконани постановка проблеми, мети і завдань досліджень.

В другій главі викладена методіка виконання роботи, що утримует методологію виконання її розділів і їх взаємозв'язок, подана характерістика об'єктів досліджень, а також запропонуван метод ентропії при обробкі експеріментальних данних.

В третій главі розроблена термодінамічна модель технологічної системи на основі понятть її базової моделі і показани результати досліджень оптимальності виробництва ентропії.

В четвертій главі показан метод сімвольного моделювання перетворень матеріальних, енергетічних і інформаційних потоків в технологічних системах, дани інтегровані моделі систем знаряддь праці і етапів технологічної підготовки виробництва;показана розробленна методіка сінтезу технологічних західів на основі мінімізації показників ентропії інтегрованних моделей.

В п'ятій главі на основі інтегрованих моделей розроблен метод структурного сінтезу комплексно-автоматізованних дільниць і подани результати досліджень показників структурної формули технологічной системи при її оптімізації, у тому чіслі результати досліджень характерістик устаткування системи.

В шостій главі подани інтегровані моделі завантаження металорізальних верстатів та їх обслуги.

В заключенні викладені головні результати роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Проблема удосконалення технологічних процессів та операцій, у т.ч. з метою підвищення їх якості та надійності, полягає в складності реалізуючіх їх систем, в складності і різномонітності внутрішніх зв'язків та зовнішніх впливів.

Великий внесок в дослідження якості і надійності технологічних процесів і систем, що реалізують їх,зробили: О.О.Маталін, О.С.Проніков, Е.В.Рижов, А.Г.Суслов, В.П.Федоров, О.О.Резніков, П.Р.Родін, А.Д.Макаров, В.С.Мухін, Л.Ш.Шустер, І.В.Крагельський, І.Б.Костецький, П.І.Ящерицин, В.К.Старков, О.І.Смирнов, Ф.Я.Якубов, В.В.Тауріт, В.Ц.Зорикуєв, О.В.Якімов, Ю.К.Новоселов, Ю.Г.Кабалдін та багато інших.

Практично у всіх працях наявне твердження про те, що проблема оптимізації технологічних процесів і операцій, в т.ч. з метою підвищення їх якості та надійності, полягає у складності систем, що реалізують їх, і різноманітності внутрішніх зв'язків і зовнішніх впливів. Необхідний перехід від традиційно вирішуваних задач аналізу і описів об'єктів на підставі емпіричних даних до синтезу технологічних процесів, що вимагають сістемного підходу, основаного на використанні найбільш загальних закономірностей формування технологічних факторів і показників процесів і якшо є основою практично всіх найбільш фундаментальних розробок в удосконалені та оптимізації технологічних процесів і систем. Ряд авторів указують на перспективність застосування математичної символіки для опису об'єктів дослідження таким чином, щоб логічні дії практично були зведені до перетворення символів, що описують цей об'єкт або їх сукупність. При цьому можна відволіктись від його конкретної фізичної природи. Проблема вибору показника ефективності і якості технологічного процесу полягає в пошуку і обгрунтуванні комплексного показника, здатного відбивати сутність процесу в найбільш загальному смислі й найбільш повно. Процеси, які супроводжують виникнення прихованої енергії деформації, повинні розглядатися на основі принципів термодинаміки взаємодії контактних поверхностей. Таким чином проблеми

енергетичні і технологічні стають предметом тріботехнології. Зміна якостей інструментального і оброблюваного матеріалів у зоні різання є наслідком перетворення зовнішньої енергії в енергію внутрішніх процесів, коли робота різання A_p перетворюється в теплову енергію Q та пріховану (внутрішню) енергію деформації U. Самоорганізаулія і пристосовуваність трибосистеми базуються на одночасно діючих явищах активування (збільшення) вільної енергії технологічної системи та пасивування (її зменшення). Це дає змогу на підставі узагальнюючих залежностей забезпечити регуляцію якості технологічних систем з допомогою конструкторських, технологічних та експлуатаційних засобів. Проводяться розробки методів кількісної оцінки структурної оптимізації форм організації технологічних процесів при дослідженні системи виробничих дільниць за параметрами ентропії. І всеж ці роботи не використали досить потужні принципи сучасної термодинаміки, а саме: принцип найменшої дисипації ентропії Онзагера Л: та принцип найменшого виробництва ентропії Пригожіна І.П. Упорядкованість структури є якістю стійких структур будь- яких систем, в т.ч.- технологічних. Структурна характеристика системи є змінною і такою, що розвивається. Неявність структури подається як умова накопичення кількісних змін всередині об'єкта які є необхідною передумовою для його якісних перестворень.

Методично робота виконана на основі: аналізу вітчізняної та зарубіжної літератури і формулювання основних задач для вирішення поставленної проблеми: теоретичного та експериментального дослідження областей, можливостей і методів оцінки ентропії технологічних систем шляхом введення та обгрунтування відповідних показників (з цього методу розроблялись інтегровані моделі технологічних процесів і засобів їх реалізації); створення методів оптимізації систем і процессів за показниками їх ентропії.

В основу праці покладені:

- гіпотеза про упорядкування системи;
- аксіома про ентропійні оцінки упорядкованності об'єктів.

Задачі дослідження визначені в праці таким чином:

1). Пошук і обгрунтування показників ентропії технологічних процесів і систем.

На цьому етапі здійснювались теоретичні дослідження елементів технологічних систем, які являють собою підсистеми:

- "технологічний процес";
- "технологічне устаткування і його комплекси - верстатні модулі, дільниці механообробки (в т.ч. штучні автоматизовані виробництва)";
- "технологічне оснащення";
- "різальний інструмент";
- "технологічна підготовка виробництва".

Дослідження базується на розробці таких методів модулювання систем та підсистем, як графоаналітичне і символьне при підтримці матиматичними методами. Вказані моделі є основою для дослідження умов оптимальності технологічних систем. Результатом таких досліджень стали показники ентропії, в т.ч. комплексні:

2). Виявлення областей застосування показників ентропії:

- ентропії об'єкта;
- зведеної ентропії характеристик якості;
- виробництва ентропії;
- комплексних показників ентропії.

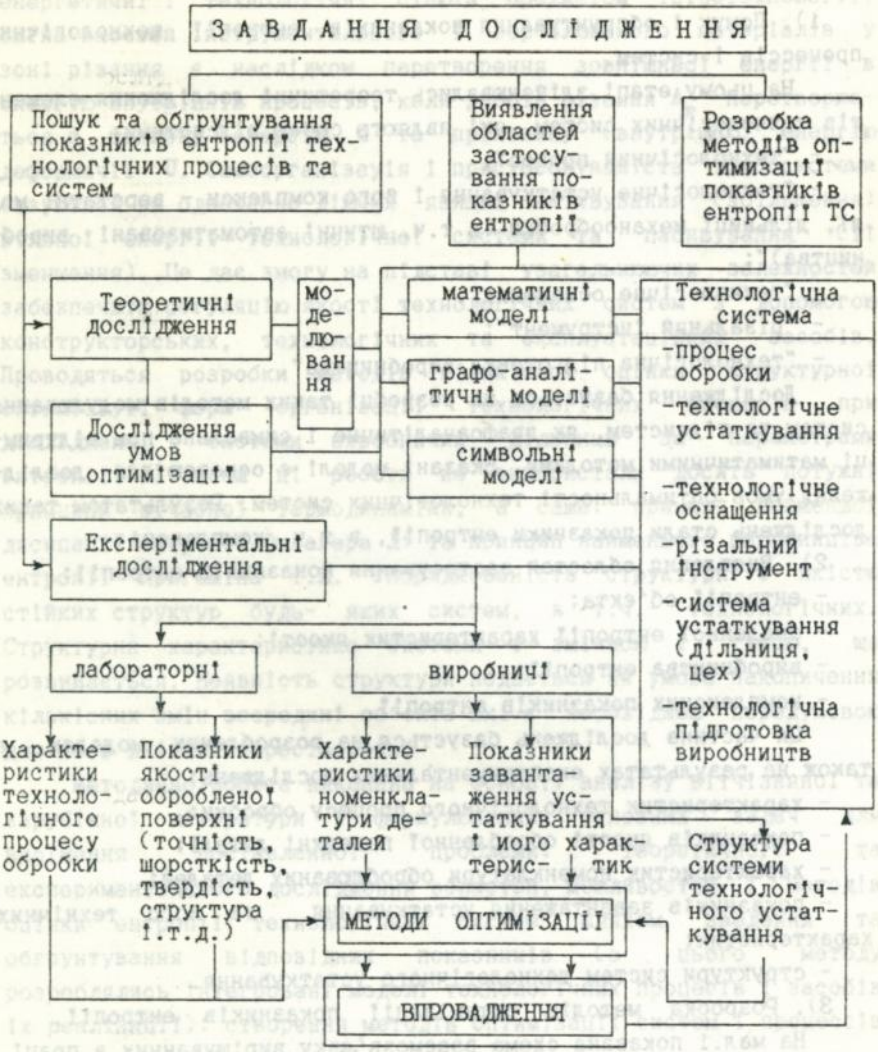
Ця частина досліджень базується на розроблених моделях, а також на результатах експериментальних досліджень:

- характеристик технологічного процесу обробки;
- показників якості обробленної поверхні деталі;
- характеристик номенклатури оброблюваних деталей;
- показників завантаження устаткування та його технічних характеристик;
- структури систем технологічного устаткування.

3). Розробка методів оптимізації показників ентропії.

На мал.1 показана схема взаємозв'язку вирішуванних в праці завдань.

З метою планування і організації експериментальних досліджень таким чином, щоб достовірність отриманих результатів дала можливість обгрунтувати теоретичні розробки і висновки і таким чіном підтвердити як актуальність і наукову новизну, так і плід-



Мал.1. Структурна схема взаємоз"язку завдань дослідження

ність подальшого розвитку робіт данного напрямку, в цьому розділі подані методичні рекомендації розроблені і використані авто-

ром у світі "ентропійного" підходу.

Перш за все, методикою виконання праці передбачене виявлення можливості максимального використання обмеженої інформації про об'єкт дослідження - показники якості обробки поверхні деталей із поданих в розділі матеріалів зроблено висновок про те, що маніпулювання данними вибірки дозволяє "розкрити" інформаую про генеральну сукупність, що міститься в її вибірці. Таке тлумачення методів обробки вибіркових данних відкриває можливість для припущення, що доцільно продовжити пошук таких методів перетворення данних вибірки, які були б найбільш тісно пов'язані з характеристиками генеральної сукупності. В ролі такого показника методикою пропонується показник зведеної ентропії S_n гістограми, отриманої на основі малих вибірок.

$$S_n = \sum_{i=1}^{n} P_i h_i \log_2 (P_i h_i)$$

де n - кількість інтервалів гістограми:

h_i - ширина інтервалу нормованого розподілу:

P_i - ймовірність, відповідно i-му ступеню гістограми.

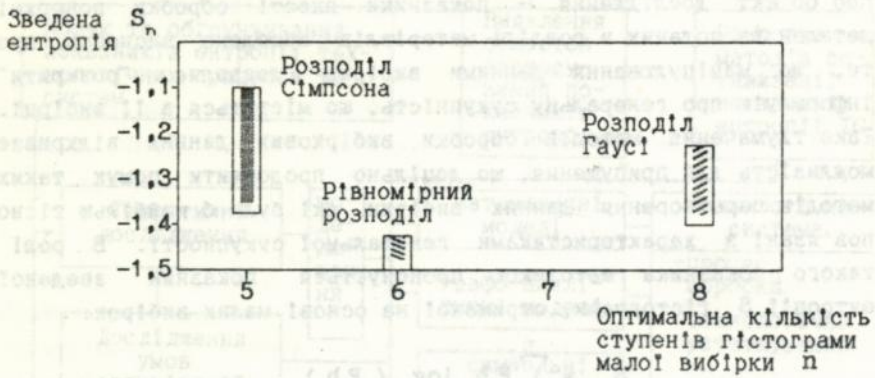
Для дослідження закономірності зміни величини зведеної ентропії гістограми за допомогою машинного експерименту розроблена програма в інтегрованому пакеті **MatCAD**,а також створені масиви генеральних сукупностей чисел нормованих і центрованих розподілів Гауса, Сімпсона та рівномірного.

Здійснена реалізація машінного експерименту по організації малих вибірок із створених масивів, які суворо підкоряються вищеназваним видам розподілів.

Установлено, що показник зведеної ентропії має яскраво виражений мінімум, відповідний оптимальній кількості інтервалів гістограми виборки, а значення цього мінімуму і сукупності із оптимальним значенням n дає можлівість індентіфікувати вид разподілу за незначною кільлістю віпробувань, що показано на мал. 2

Методикою проведення досліджень передбачено також створення базової моделі перетворення енергетичних потоків у технологічних процесах механообробки, дослідження умов її оптимальності: дослідження виробництва ентропії в технологічній системі

механообробки, а також визначення комплексного показника виробництва ентропії.

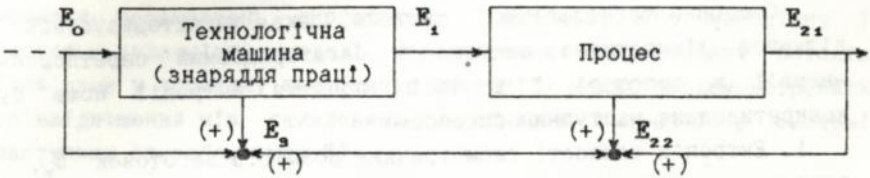


Мал.2. Області ідентифікації генеральних сукупностей за мінімумом зведеної ентропії S та оптимальної кількості інтервалів гістограми

Особливе місце в дослідженні займає створення символьних інтегрованних моделей технологічних систем, основаних на формалізованому уявленні матеріального, енергетичного та інформаційного потоків, які складають сутність будь-якого технологічного процесу і реалізують його технологічну систему. На ряді прикладів показані можливості зменшення показника ентропії системи.

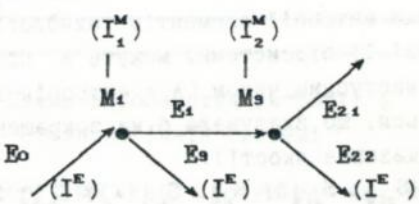
Процеси перетворення матеріалу (M), енергії(E) та інформації (I) складають сутність технологічних процесів.Філософська концепція єдності світу та закономірностей еволюційних процесів припускає її актуальність і для області матеріального віробництва. Особливості протікання процесів обробки диктують вимоги до кількості енергетичного потоку, що "вводиться" в технологічну систему і формують характер зміни енергетичного потоку в області варіювання технологічних режимів.

На мал.3 показана структурна схема технологічної системи з внутрішрім зворотним зв'язком за енергетичним потоком.



Мал.3. Структурна схема технологічного процесу с ЗЗ за енергетичним потоком

У відповідності до прийнятого означення елементів і запропонованій в праці класифікації сполучень потоків M, E та I, а також враховуючи показ потоків як суми "корисного" та "затрат", взаємодії потоків у будь-якому технологічному процесі прийнято у вигляді графа (мал.4):



Мал.4.Стрктурна схема базової моделі

Базова модель відображає мінімально можливі перетворення матеріального потоку M_1, що характеризується інформацією I_1, під дією енергетичного потоку E_o з інформаційним змістом I_o. В результаті перетворень формується матеріальний потік з характеристикою M_2 I_2, а також "втрати" технологічного процесу у вигляді потоків енергетичних затрат E_9 і E_{22} з інформаційним змістом I_9 та I_{22} відповідно. "Втрати" E_9 можуть залежати, наприклад, від якості технологічної машини (від її коефіцієнта корисної дії, залежного в свою чергу, і від величини E_o), а не продуктивні затрати E_{22} -від якості технологічного процесу (наприклад, від затрат енергії на беспосередній знос металорізального ін-

струменту або ж від інтенсивності відведення тепла засобами охолодження зони різання при токарній обробці).

Стосовно технологічної системи, яка характеризується як відкрита дісипативна система з багаторядовими перетвореннями енергії в просторі і в часі, поняття ентропії може бути конкретизоване наступним способом:

1. Ентропія точності геометричних розмірів заготовок S_z, що включає ентропію форми заготовки (S_{zf}) та ентропію її розмірів (S_{zr})

2. Ентропія якості поверхневого шару заготовки чи деталі: ентропія шершавості (S_r), ентропія залишкових напружень поверхневого шару (S_n), ентропія дефектного шару (S_D). Перелік показників ентропії якості поверхневого шару може бути розширений стосовно всіх інших відомих показників якості.

3. Ентропія стану оброблюваного матеріалу S_M.

4. Ентропія стану ріжучого інструмента S_t.

5. Ентропія розмірних зв'язків технологічної системи S_l.

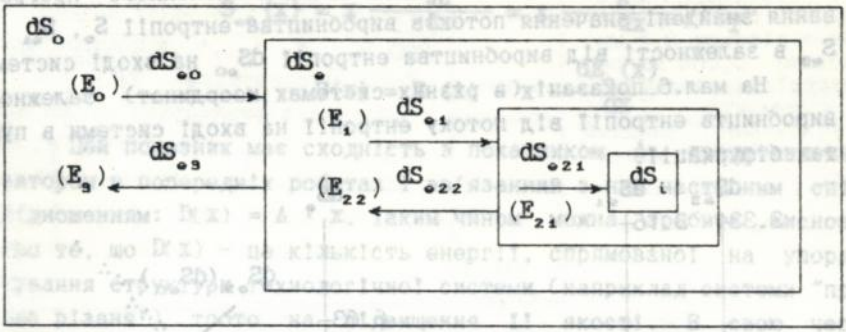
Показники ентропії елементів технологічної системи (тут мається на увазі її підсистеми) можуть в процесі обробки деталі змінюватись наступним чином (▲ - ентропія зростає, ↓ - ентропія зменшується, що вказувало б на покращення чи погіршення відповідного показника якості):

$$S_z\downarrow\ (S_{zf}\downarrow;\ S_{zr}\downarrow);\ S_R\downarrow;\ S_N\downarrow(\blacktriangle);\ S_D\downarrow;\ S_t\blacktriangle;\ S_l\blacktriangle\ .$$

Поняття про пункти біфуркації, що вказують на переход структури системи від колишньої до нової, є одним із основних в пропонованій праці. Далі подаються роздуми, які, ми сподіваємося, хоча й можуть бути підданими критиці,але рівень їх узагальнення та експериментальні результати дозволяють стверджувати, що для практичних цілей цілком важливо знати, в якому саме структурному стані перебуває дана система,чи відбувається зміна структури системи в області варіювання параметрів останньої. Це відкриває перспективи оцінювання можливого рівня та ефективності оптимізації системи (структурна оптимізація або параметрична, як відомо, мають різні можливості в досягненні найкращих результатів).

На основі запропонованного Пригожиним І. та Ніколісом Е.

поняття виробництва ентропії, а також враховуючи висновок автора, що базується на вивченні показників ентропії різних моделей перетворень енергетичних потоків, про необхідну і достатня складність моделі перетворення енергетичних потоків (теж саме у стосунку виробництв ентропії) можна продемонструвати співвідношення між складовими виробництв ентропії в системі наступним способом (мал.5):



Мал.5. Схема виробництва ентропії в технологічній системі

Виробництво ентропії dS_e слід розуміти як характеристику перетворення енергетичного потоку величини і співвідношення dS_{e1} та dS_{e22}, які, в свою чергу, визначаються перетворенням потоків E_o, E_1 (E_{21} та E_{22}), E_3 згідно до позначень базової моделі.

Показ схеми виробництва ентропії у вигляді граф-моделей дало можливість сформулювати і вирішити завдання: визначення при заданих обмеження оптимальні співвідношення складових S_1; dS_{eo}; dS_{e1}; dS_{e3}; dS_e. Така задача належить до завдань дослідження операцій та вирішувалась з застосуванням ЕОМ. математичне описання має в собі цільову функцію і систему обмежень.

Цільова функція являє собою умову $dS_1 = 0$:

$$F = (dS_1)^2 \longrightarrow \min$$

Система обмежень:

$$dS_{e} = dS_{eo} + dS_{e3}$$

$$dS_{1} = dS_{e1} + dS_{e22}$$

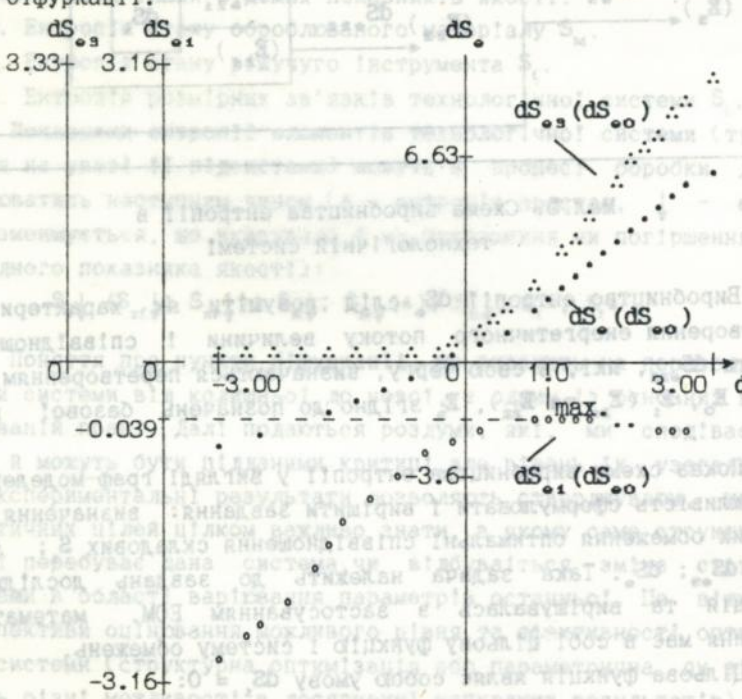
$$dS_{eo} = dS_{e1} + dS_{e3}$$

$$dS_{e1} = dS_{e21} + dS_{e22}$$

$$dS_{e3} > 0 \; ; \quad dS_{e1} < 0$$

В результаті вирішення задачи методом лінійного програмування знайдені значення потоків виробництва ентропії S_{e}, S_{e1} та S_{e3} в залежності від виробництва ентропії dS_{eo} на вході системи.

На мал.6 показані (в різних системах координат) залежності виробництв ентропії від потоку ентропії на вході системи в пунктах біфуркації.



Мал.6. Оптимальне співвідношення виробництв ентропії в системі

Фізичний смисл оптимізації зводиться до оцінки співвідношення енергії E_o, затраченої на здійснення процесу та створеному за варіативним параметром технологічного режіму етропії, яка визначається так:

$$D(x) = E_o(x) - E_{os}(x)$$

$$E_{os}(x) = T \circ S_{eo}(x)$$

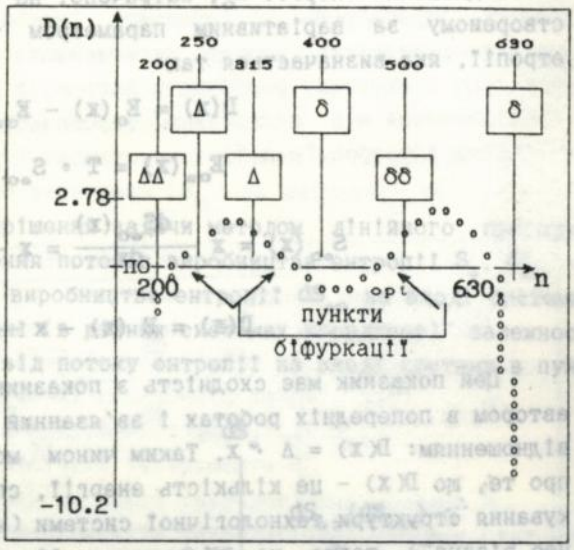
$$S_{eo}(x) = x \frac{dS_{eo}(x)}{dx} = x \frac{dE_o(x)}{dx} \circ \frac{1}{T}$$

$$D(x) = E(x) - x \frac{dE_o(x)}{dx}$$

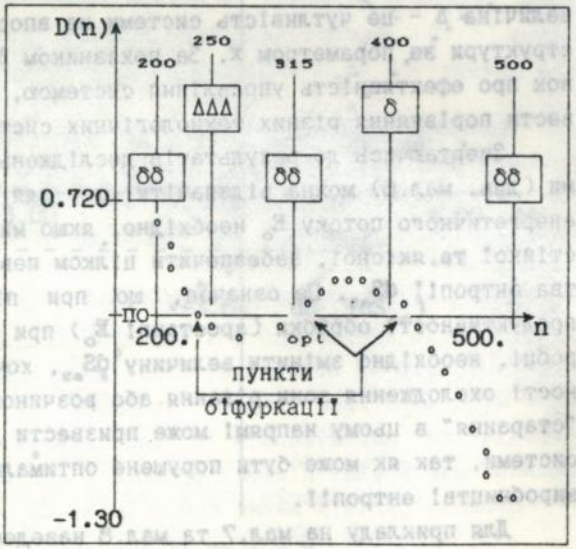
Цей показник має сходність з показником Δ, представленним автором в попередніх роботах і зв'язанний з ним наступним співвідношенням: $D(x) = \Delta \cdot x$. Таким чином можна зробити висновок про те, що $D(x)$ - це кількість енергії, спрямованої на упорядкування структури технологічної системи (наприклад системи "процес різаня") тобто на підвищення її якості. В свою чергу величіна Δ - це чутливість системи на впорядкування енергетичної структури за пораметром x. За показником Δ можна зробити висновок про ефективність управління системою, а за показником $D(x)$ вести порівняння різних технологічних систем (процесів).

Звертаючись до результатів досліджень умов стійкості системи (див. мал.6) можна відзначіти, що для конкретного значення енергетичного потоку E_o необхідно, якщо ми прагнемо до системи стійкої та якісної, забезпечити цілком певну величіну виробництва ентропії dS_{es}. Це означає, що при підвищенні, наприклад, продуктивності обробки (зростанні E_o) при одночасно якісній обробці, необхідно змінити величину dS_{es}, хоча б зміною інтенсивності охолодження зони різання або розчином МОР. Однак збиткове "старання" в цьому напрямі може призвести до погіршення якості системи, так як може бути порушене оптимальне співвідношення у виробництві ентропії.

Для прикладу на мал.7 та мал.8 наведені окремі результати експериментальних досліджень комплексного показника виробництва ентропії $D(x)$.



Мал.7. Структурні зміни в системі "процес обробки різанием" при точінні ст.40Х на верстаті мод.16К20 заготовки d=40 мм, глибине різання 0,5 мм, подача 0,084 мм/об, матеріал різального інструмента - Т15К6 (условними знаками показані види стружки)



Мал.8. Структурні зміни в системі "процес обробки різанием" при точінні ст.45Х на верстаті мод.16К20 заготовки d=40 мм, глибине різання 0,5 мм, подача 0,084 мм/об, матеріал різального інструмента - Т15К6

Умовними позначеннями показані зміни виду стружки, які свідчать про структурні зміни в системі "технологічний процес".

Показані в цьому розділі результати досліджень дають можливість зробити наступні висновки:

1. Технологічні системи мають структуру, що являє собою визначений порядок перетворення енергетичного, матеріального та інформаційного потоків. Очевидно є необхідність виділення понять енергетична структура, матеріальна структура інформаційна структура технологічної системи. Всі вони взаємозв'язані і взаємозумовлені.

2. Зміни енергетичного потоку в технологічній системі здатні змінювати відповідну структуру і впливати на показники її якості та стійкості.

3. Одним із критеріїв оптимізації технологічних систем і процесів може бути прийнятий показник мінімуму веробництва ентропії, якому відповідає:

$$D(x) = E_o(x) - x \frac{dE_o(x)}{dx} \longrightarrow \min.$$

4. Для технологічних систем, що являють собою нелінійну дисипативну відкриту термодинамічну систему, мають місце поняття про пункти біфуркації - тобто про технологічні умови, викликані технологічними режимами, особливостями конструкції та експлуатації технологічного устаткування і технологічного оснащення, при яких відбувається зміна структури технологічної системи. Діагностика таких пунктів біфуркації може здійснюватися за ознакою: $D(x)=0$.

5. Оптимізація технологічних систем та технологічних процесів за ознаками виробництва ентропії дає можливість розділити поняття про структуру і параметричну оптимізацію, в т.ч. технологічних режимів різання і здійснювати їх у послідовності, яка забезпечує:

а) структурну оптимізацію за ознакою $D(x)=0$;

в) параметричну оптимізацію за ознакою $D(x) \longrightarrow \min$ (при обмеженнях економічних факторів).

На основі базової моделі технологічної системи, яка подана у третьому розділі дисертації, автором розроблений метод символьного опису технологічних об'єктів, який дає можливість створити їх інтегровані (такі, що об'єднують всю різноманітність перетворень матеріальних енергетичних та інформаційних потоків) моделі.

З цією метою розроблений ряд визначень і правил, що дають можливість забезпечіти формалізоване описування технологічного об'єкта.

Визначення 1.Виробничо - технологічна система (ВТС) є сукупність функціональних елементів, які забезпечують технологічне перетворення матеріальних, енергетичних та інформаційних потоківякі взаємозв'язані і знаходяться у взаємодії в процесі фукціонування ВТС.

Визначення 2. Функціональні елементи (ФЕ) - первинні перетворювачі матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків у процесі функціонування ВТС.

Визначення 3. Зв'язки ФЕ або ВТС - матеріальні, енергетичні або інформаційні потоки, що забиспечують взаємодію ФЕ і ВТС.

Правило 1. Перетворення потоків у процесі функціонування ВТС повинні розглядатися за ступенем активності.

Визначення 4. Перетворення, спрямоване на зміну стану потоку, є пасивним.

Визначення 5. Перетворення, спрямоване на зміну змісту потоку, є активним.

Правило 2. Будь-який вид перетворення може здійснюватися людиною або машіною (прістроєм, вузлом, але без втручання людини).

Далі пропонується формалізований запис ФЕ та ВТС:

M_j; m_j - матеріальний потік з активним чи пасивним перетворенням відповідно;

E_j; e_j - енергетичний потік з активним чи пасивним перетворенням відповідно;

I_j; i_j - інформаційний потік з активним чи пасивним перетворенням відповідно;

j - умова перетворення потоку: r - якщо це перетворення виконується людиною, a - якщо перетворення виконується без участі людини.

Правило 3. Частка участі людини чі механізму (автомата) у перетворенні потоку ФЕ за час обслуговування цього потоку функціональним елементом позначається символом $P_j^{M(m)}$; $P_j^{E(e)}$; $P_j^{I(i)}$.

Правило 4. Частка обслуговування потоку функціональним елементом за час функціонування ВТС позначається символом P_n, де n - порядковий номер ФЕ на шляху проходження матеріального потоку.

Правило 5. Порядок послідовності позначень потоків формалізованого описання ФЕ визначається причінно-наслідковими зв'язками. Так, якщо енергетичний потік спрямований на перетворення матеріального, то спочатку записується $P_j^{E(e)}$ (первинний потік), а потім йде $P_j^{M(m)}$ (вторинний потік). Аналогічно може бути показане будь-яке інше сполучення потоків. Наприклад, $P_1[P_{1r}^I P_{1a}^e P_{1a}^m]$ - описання Ф, в якому матеріальний потік без змін переноситься з допомогою керованого людиною перетворювача енергії (адресна транспортна система, керована оператором).

Правило 6. Кількість функціональних елементів у ВТС повинна бути не меншою, ніж кількість однорідних потоків, які відрізняються лише видом і активностю перетворення.

Прикладом символьного описання технологічного об'єкта може служити інтегрована модель верстата з ЧПУ.

$$\{P_1[P_{1r}^i P_{1r}^e P_{1a}^m]\} \longrightarrow \{P_2[P_{2r}^i P_{2r}^e P_{2r}^m]\} \longrightarrow \{P_3[P_{3r}^i P_{3a}^E]\} \longrightarrow$$

$$\{P_4[P_{4a}^I P_{4a}^E P_{4a}^M]\} \longrightarrow \{P_5[P_{5r}^I P_{5r}^m]\} \longrightarrow \{P_6[P_{6r}^i P_{6r}^e P_{6r}^m]\} \longrightarrow$$

$$\{P_7[P_{7r}^i P_{7r}^e P_{7a}^m]\}.$$

Як це видно із класіфікації, моделі знарядь праці можуть складатися з одного чи кількох ФЕ. Їх кількість і складність, в кінцевому результаті визначають ефективність перетворення потоків. Удосконалення виробничо-технологічної системи на

основі таких моделей повинно проводитись з урахуванням показників ентропії dS_e, dS_i та dS_M - ці показники повинні бути зменшені до можливого мінімуму, що рівнозначно перетворенню з метою підвищення якості системи: (dS_e, dS_i та dS_M) $\longrightarrow$ min. Дійсно, структурні схеми моделей виробничо-технологічних систем мають функціональні елементи з ідентичними потоками на вході і виході відповідно для попереднього і наступного ФЕ:

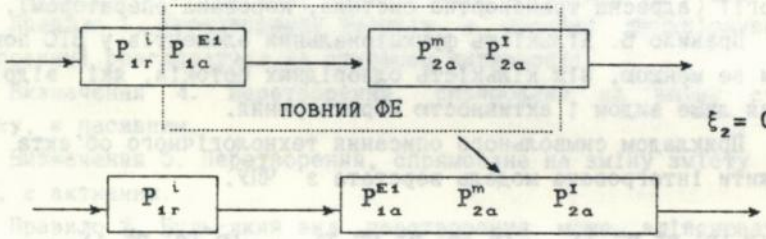
ф)висхідна модель ВТС

$\xi_1 = 0,2$

б)перетворення 1 - об'єднення ідентичних потоків

$$P^{E}_{1a} \rightleftarrows P^{e}_{2a} = P^{E1}_{1a}$$

перетворення 2а - доповження ФЕ для отримання "повних" моделей ФЕ з перенесенням потоку в наступний ФЕ:



$\xi_2 = 0,25$

перетворення 2б - доповнення ФЕ для отримання "повних" моделей ФЕ з перенесенням потоку в попередній ФЕ:

$\xi_2 = 0,25$

Висхідна структурна схема системи може бути перетворена в іншу, яка має меньше число потоків, в т.ч. за участю людини, і тому більш довершену (для висхідної моделі $\xi = \xi_1 = 0{,}20$, а для перетвореної моделі $\xi = \xi_1 = 0{,}25$). Це відповідно зниженню показника ентропії до рівня показника ентропії базової моделі (з трьома виходами).

Інтегрована модель виробничого процесу, збудована на основі розробленої класифікації потокових моделей знарядь праці, наприклад, має такий вигляд:

$$\{P^{I}_{1r}\} \to \{P^{I}_{2r}\} \to \{P^{I}_{3r}\} \to \{P^{i}_{4r} P^{e(E)}_{4r(a)} P^{m}_{4r(a)}\} \to \{P^{i}_{5r} P^{e(E)}_{5r(a)} P^{m(M)}_{5r(a)}\} \to$$

$$\to \{P^{i}_{6r}\} \to \{P^{i}_{7r} P^{e}_{7r(a)} P^{m}_{7r(a)}\} \to \{P^{I}_{8r}\} \to \{P^{I}_{9r}\} \to \{P^{I}_{10a} P^{E}_{10a} P^{M}_{10a}\} \to$$

$$\to \{P^{e}_{11r} P^{m}_{11r} P^{I}_{11r}\} \to \{P^{I}_{12r} P^{E}_{12r}\} \to \{P^{I}_{13a} P^{E}_{13a} P^{M}_{13a}\} \to$$

$$\to \{P^{i}_{14r} P^{e(E)}_{14r(a)} P^{m}_{14r(a)}\} \to \{P^{e}_{15r} P^{m}_{15r} P^{I}_{15r}\} \to \{P^{i}_{14r} P^{e(E)}_{14r(a)} P^{m}_{14r(a)}\} \to$$

$$\to \{P^{I}_{17r} P^{E}_{17a} P^{M}_{17a}\} \to \{P^{i}_{18r} P^{e(E)}_{18r} P^{m}_{18r(a)}\} \to \{P^{m}_{19a} P^{i}_{19r(a)}\}$$

В складі цієї моделі є 43 потоки, з них 34 потоки реалізуються функціями людини. Таким чином індекс ξ дорівнює 0,21. Якщо перетворення деяких потоків (ці потоки позначені індексом (а) поруч з (г)) будуть відбуватися без участі людини, то ξ виросте до 0,52. Послідовність перетворення матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків характеризує структуру діючої технології.

Як було відзначено вище, якщо в двох послідовних ФЕ один завершується, а інший починається однаковими видами потоків, то їх доцільно без порушення логічної єдності елементів технологічного процесу об'єднувати. В цьому полягає основний принцип перетворення інтегрованної моделі і він, цей принцип, реалізує ідею про необхідність зниження показника ентропії системи: чим менше потоків відображено в інтегрованной моделі, тим система удосконаленіша. Таким чином пропонується на етапі роботи з інтегрованою моделлю поєднувати кілько функції в одну,

більш високого порядку. При цьому,бесперечно може виникати питання про те, до якого ФЕ слід віднести і заховати інтегрований потік. Ймовірно відповіді на це питання немає і тому тут розглянуті обидва варіанти.

У випадку, коли інгегрований потік переноситься в наступні ФЕ, то модель системи після перетворень (поєднання потоків) буде мати наступний вигляд:

$$\{P^{I}_{(1-4)r}\, P^{e(E)}_{4r(a)}\, P^{m}_{4r(a)}\} \rightarrow \{P^{i}_{5r}\, P^{e(E)}_{5r(a)}\, P^{m(M)}_{5r(a)}\} \rightarrow$$

$$\rightarrow \{P^{I}_{(6-7)r}\, P^{e}_{7r(a)}\, P^{m}_{7r(a)}\} \rightarrow \{P^{I}_{(8-10)a}\, P^{E}_{10a}\, P^{M}_{10a}\} \rightarrow$$

$$\rightarrow \{P^{e}_{11r}\, P^{m}_{11r}\} \rightarrow \{P^{I}_{11,12r}\, P^{E}_{12r}\} \rightarrow \{P^{I}_{13a}\, P^{E}_{13a}\, P^{M}_{13a}\} \rightarrow$$

$$\rightarrow \{P^{i}_{14r}\, P^{e(E)}_{14r(a)}\, P^{m}_{14r(a)}\} \rightarrow \{P^{e}_{16r}\, P^{m}_{16r}\} \rightarrow \{P^{I}_{14,16r}\, P^{e(E)}_{14r(a)}\, P^{m}_{14r(a)}\} \rightarrow$$

$$\rightarrow \{P^{I}_{17r}\, P^{E}_{17a}\, P^{M}_{17a}\} \rightarrow \{P^{i}_{18r}\} \rightarrow \{P^{i}_{18r(a)}\, P^{m}_{18,19a}\, P^{i}_{19r(a)}\}.$$

Враховуючи схему перетворення потоків у інтегрованій моделі, розроблений комплекс заходів, які дають можливість реалізувати принцип поєднання потоків. Для вироблення цих заходів використаний морхвологічний аналіз змісту ФЕ та функції потоків, що об'єднуються.

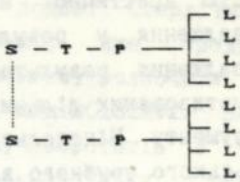
Для дослідження можливостей оптимізації структурної формули технологічної системи і, відповідно, власне технологічного об'єкта, за який може бути прийнята дільниця механообробки, система інструментозабезпечення або система технологічного забезпечення виробництва (в залежності від постановки задачі технологічний об'єкт може бути будь-який) поставлена задача дослідити характеристики структурної формули. Для спрощення обчислерь, враховуючи високу тривалість обчислювальних процедур при вирішенні оптимізаційного завдання на персональній ЕОМ, для дослідження прийнята стуктурна формула вигляду:

$$(S)_{xs}\ (T)_{xt}\ (P)_{xp}\ (L)_{xL}\ ,$$

Наприклад, для технологічної симтеми, що складається з 8 верстатів, схема одного з варіантів структури, що має мінімальний показник ентропії, буде мати вигляд:

Схема структури : Показник ентропії $S_s = -1,88$

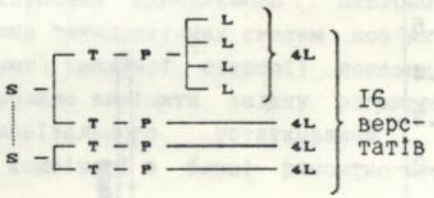
$(S)_2\ (T)_1\ (P)_1\ (L)_4$



Для технологічної системи, яка складається з 16 верстатів, схема оптимального за $S \longrightarrow \min$ варіанту структури показана нижче:

Схема структури : Показник ентропії $S_s = -1,75$

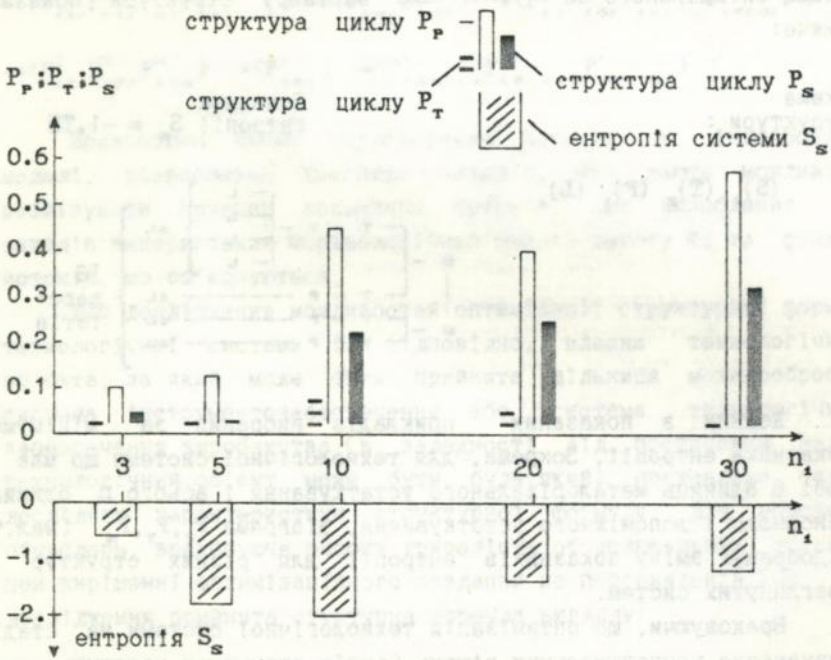
$(S)_2\ (T)_2\ (P)_1\ (L)_4$



Кожний з показаних прикладів вибраний за мінімумом показника ентропії. Зокрема, для технологічної системи що має в собі 8 одиниць металорізального устаткування і всього n_1 одиниць основного і допоміжного устаткування, діаграма P_p, P_T, P_S (мал.9) відображує зміну показників ентропії для різних структур розглянутих систем.

Враховуючи, що оптимізація технологічної системи на стадії визначення концептуальних рішень (вибір структури належить саме до нього), здатна принести значний єфект уже за рахунок самої

ідеології їх створення, розглянутий підхід був реалізований у створені ряду комплексно-автоматизованих дільниць верстатів з ЧПУ. Широкі можливості реалізації пропонованого підходу визначились особливостями номенклатури оброблюваних деталей: запасні частини і деталі змінного устаткування підприємств чорної металургії. Вибір об'єкта реалізації розробки визначався включно областю практичної виробничої діяльності автора у період впровадження у результаті досліджень. Зокрема, здійснено впровадження результатів оптимізації структури комплексно-автоматизованих дільниць в проект модернізації цеху трубного інструменту Нікопольського Південнотрубного заводу, Першоуральського трубного заводу, Магнітогорського заводу по ремонту металургійного устаткування, в рекомендації для проєктної організації УКРДНІПРОМЕЗ та інші.



Мал.9. Діаграма змін показників ентропії S_S

З метою підвищення коефіцієнта завантаження верстатів основного технологічного устаткування дільниці механообробки виконано дослідження можливості оцінки зведеної ентропії розподілу трудомісткості обробки деталей на металорізальних верстатах з ЧПУ для ремонтно-механічних робіт, на основі чого запропонована методика удосконалення технічних характеристик цього устаткування. Для прикладу розглянуті верстати сверлильної групи. Результати досліджень,які були подані Стерлітамакському верстатобудівному виробничому об'єднанню, яке продукувало верстатами мод.2Р135Ф2, дозволили підприємству розпочати випуск координатно-сверлильного верстата з ЧПУ мод.2С132МФ2. Виконано дослідження можливості формування парку верстатів з ЧПУ на основі оцінки і оптимізації взаємозв'язку технічних характеристик устаткування і показників зведенної ентропії статистичних розподілів показників оброблюваних деталей. Це дало можливість визначати раціональні об'йоми верстатів з ЧПУ у виробництві ремонтно-експлуатаційних виробів. Застосування базової моделі перетворення потоків в технологічній системі дозволили виявити комплексні оцінки для прискоренного визначення областей економічної ефективності застосування верстатів з ЧПУ.

Виявлено, також, що існування глобального екстремуму функції затрат на обслуговування технологічних систем пов'язано з наявністю екстремуму (мінімуму) зведеної ентропії показників простоїв устаткування. Це дозволило вирішити задачу розширення зон обслуговування металорізального устаткування на Череповецькому металургійному комбінаті в блоці ремонтно-механічних цехів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ЗАКІНЧЕННЯ

1.Вперше розроблені методологія, теорія і практіка створення інтегрованих моделей технологічних систем та їх оптимізації з метою забеспечення підвищення якості і ефективністі технологічних процесів та технологічних систем, що їх реалізують.

2.Вирішена наукова проблема пошуку нового підходу до вдосконалення технологічних систем і процесів механообробки на основі оцінки їх упорядкованості з допомогою виявлених закономірностей виробництва ентропії і її твірних в технологічних системах в умовах перетворення матеріального, енергетичного та інформаційного потоків.

3.Виявлені та обгрунтовані комплексні показники на основі принципу термодінамики з урахуванням розділу енергетичних взаємодій за ступенем незворотності розсіву механічної енергії у системі її перетворення. Встановлено, що оптимізація перетворення матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків методами ентропії може створюватися із застосуванням показників:

- ентропії (S) для матеріального потоку (M);
- виробництва ентропії (dS) або комплексного показника якості технологічної системи (D(x)) для енергетичного потоку;
- приведеної ентропії (S_q) для інформаційного потоку (I).

4.Науково обгрунтовані і практично використовувані вперше розроблені класифікація і методи оптимізації інтегрованих моделей технологічних об'єктів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень створені:

-математичні інтегровані моделі технологічних процесів, що описують виробництво ентропії в процесах обробки матеріалів та формування характеристик їх якості;

-математичні інтегровані моделі структури технологічного устаткування дільниць механообробки, в т.ч. гнучких автоматизованих дільниць і методи їх оптимізації;

-математичні моделі завантаження технологічного устаткування технологічних систем з метою удосконалення технологічної підготовки виробництва та технічних характеристик металорізальних верстатів;

-методи символьного моделювання перетворень матеріального, енергетичного та інформаційного потоків для описання технологічних систем;

-методи синтезу заходів на основі мінімізації показників ентропії інтегрованих моделей технологічних процесів.

5.Виявлені закономірності змін показників ентропії: процесів різання і показників якості обробки; структури технологічних систем і показників їх використовування; систем технологічної підготовки виробництва і їх ефективності.

6.Використання нових моделей і методів надало можливість розробити комплекс інженерних методик,технологічних рекомендацій і способів, що дозволяють підвищити стійкість металлорізальних інструментів і продуктивність обробки на 20 - 25 відсотків, виконувати діагностику технологічних процесів обробки різанням за комплексом запропонованих термодинамічних показників якості процесу, установляти раціональні співвідношення показників технологічних характеристик і компоновки основного і допоміжного автоматизованих дільниць механообробки, установляти раціональну послідовність заходів технологічної підготовки виробництва і характеристик організаційно-технічної системи обслуговування технологічних систем.

7.Доведена можливість підвищення достовірності показу результатів досліджень при статистичної обробкі експерементальних данних на основі мінімізації зведеної ентропії гістограм статистичних росподілів малих вибірок показників досліджуваних об'єктів. Установлено, що використання ентропійних оцінок доцільно при порівняльному аналізу і вибору варіанта показників технолонічних процесів і систем.

8.Результати виконаних досліджень упроваджени в метдичні розробки для проектних організацій і промислових підприємств, в проекти гнучких автоматизованих дільниць, в технологічні рекомендації по впровадженню роботизованих комплексів механообробки, в технічні пропозиції по створюванню металлорізального верстата, в технологічні інструкції по оптімізації режимів обробки різанням, с загальним економічним ефектом понад 900,0 тис.руб. Також результати роботи викоростовувани у навчальному процесі підготовки інженерів спеціальності 12.01 і підвищення кваліфікації інженерів-технологів.

По темі дисертації опубліковані
слідуючі основні роботи:

1.Куликов С.И.,Ковалевский С.В. Модели и системы оптимального управления процессами механической обработки в авиастроении.- Уфа: Уфимс.авиац.ин-т, 1979. - 45 с.

2.Ковалевский С.В.,Куликов С.И. Экономические вопросы управления качеством отделочной обработки деталей машин // Опыт создания и применения высокоэффективных машин-автоматов в серийном и массовом производстве. М.: НТО Машпром, 1979. С.82-86.

3.Ковалевский С.В. О структурном моделировании управляемых технологических процессов// Прогрессивная технология механосборочного производства в машиностроении. - Уфа, 1979 - С.116-119.

4.Куликов С.И.,Ковалевский С.В. Адаптивное управление металлорежущими станками. - Уфа: Уфимс.авиац.ин.т, 1979. -78 с.

5.Ковалевский С.В.,Губернаторов М.П. Управление шаговыми приводами станков с ЧПУ в условиях применения переменных режимов резания. - Уфа, 1979.- С.18.

6.Ковалевский С.В.,Кузнецова Т.Н. О выборе рационального состава роботизированных комплексов станков с ЧПУ для ремонтно-механичского производства // Опыт разработки и внедрения автоматических манипуляторов и технологичских комплексов с их использованием.-М:1982.-С.34.

7.Ковалевский С.В.,Кузнецова Т.Н. Особенности применения станков с ЧПУ в ремонтно-механическом производстве черной металлургии//Опыт и перспектива эффективности использования технологического оборудования с программным управлением.- Л.: 1982.-С.78-80.

8.Куликов С.И.,Ризванов Ф.Ф.,Романчук В.А.,Ковалевский С.В. Прогрессивные методы хонингования.-М.:Машиностроение, 1983. -135 с.

9.Куликов С.И.,Ковалевский С.В., Огородов В.А., Электромеханическая правка алмазных брусков //Машиностроение.-1979,№9.-с.31.

10.Ковалевский С.В.,Идрисов Р.Т. Определение параметров рабочих циклов хонингования с переменным давлением брусков //

Актуальные проблемы финишной обработки деталей машин абразивными и алмазными брусками.-Уфа,1981. -с.46-49.

11.Ковалевский С.В.,Кузнецова Т.Н. Разработка методов комплексного анализа и преобразования технологии механообработки - основа эффективной роботизации станков с ЧПУ //Тез.докл. Всесоюзного науч.-техн. семинара "Опыт разработки внедрения автоматических манипуляторов и технологических комплексов с их использованием.-Москва, 1985. - с.22-23.

12.Сидорин Г.Н.,Ковалевский С.В.,Казаков В.Е. Разработка и применение комплексного критерия количественной оценки целесообразности внедрения промышленных роботов // Там же.-с.54-55.

13.Сидорин Г.Н.,Ковалевский С.В.,Гриневич В.А. Опыт и проблемы применения средств робототехники в основном и вспомогательном производстве черной металлургии//Там же.-с.55-56

14.Ковалевский С.В.,Дурко Е.М. Проблемы и пути освоения гибкой технологии в ремонтно-механическом производстве// Пути и меры реализации программы внедрения промышленных роботов, разработка робототехнических комплексов и участков на предприятиях машиностроения. Уфа:НТО Машпром. -1984. - с.59-60.

15.Стальский А.И.,Ковалевский С.В.,Токарев Г.А. Совершенствование производства запасных частей в черной металлургии//Черная металлургия. - 1985. -№ 3. с.8-19.

16.Ковалевский С.В.,Коровченко В.Е.,Бортник Н.М.Устройство для полуавтоматического шлифования чугунных центробежных валков // Информационный листок о научно-техническом достижении № 89-049/Р. Волгоград: НИИВШ.-1989.-4с.

17.Ковалевский С.В.,Чайка В.Г.Базовая модель экономического развития производственных предприятий и объединений //Противозатратный механизм и экономические проблемы повышения качества продукции. -Уфа: Башоблсовпроф.-1989.- с.97-99.

18.Ковалевский С.В.,Чайка В.Г. Прогнозирование экономической деятельности предприятий //Там же. с.65-67.

19.Ковалевский С.В. Комплексный анализ и синтез технических и организационных мероприятий по повышению эффективности участков станков с ЧПУ // Тез. докл. к зональной конференции "Рациональная эксплуатация и инструментообслуживание станков с ЧПУ и

ГПС. - Пенза, 1989. -с. 18-19.

20.Ковалевский С.В. Управление эффективностью интегрированных производств с помощью ресурсосберегающих упрочнения и восстановления изделий // Тез. докл. межреспубл. науч.-техн.конф. Прогрессивные методы получения конструкционных материалов и покрытий, повышающих долговечность деталей машин.- Волгоград, 1989. - с. 163-165.

21.Ковалевский С.В.,Федющенко Н.Н.,Белоброва В.А. Оценка обрабатываемости режущим инструментом с упрочняющим покрытием // Там же. - с. 171-173.

22.Ковалевский С.В. Применение станков с ЧПУ для производства ремонтно-эксплуатационных изделий на предприятиях Минчермета СССР // Черная металлургия.-1985.- №3.-с.8-13.

23.Ковалевский С.В. Обобщенная модель экономической эффективности применения станков с ЧПУ // Тез.докл. научн.техн.конф. Пути повышения эффектифности использования станков с ЧПУ. - Оренбург, 1989. - с.18.

24.Ковалевский С.В.,Кузнецова Т.Н. Роботизированный технологический комплекс // Там же. - с. 22-23.

25.Ковалевский С.В. Базовая модель технологической системы в автоматизации проектирования // Тез.докл. зональной науч.техн.конф. Применение автоматизированного проектирования режущих инструментов, технологических процессов, организационно-технической подготовки производства.-Свердловск, 1989.-С.34-35.

26.Ковалевский С.В. Оптимизация процессов ресурсосберегающей технологии в механосборочном производстве.-Киев: РДЭНТП, 1990.- 23 с.

27.Идрисов Р.Т.,Ковалевский С.В.,Зиновьев Н.И.,Мирошниченко Ю.В. Оценка ресурса изделия на основе прогнозирования повреждаемости//Технологическое повышение надежности и долговечности деталей машин и инструментов.- Брянск, БИТМ, 1990.-С.71-73.

28.Федющенко Н.Н.,Ковалевский С.В.,Подковырин Е.М.,Доценко Г.С.,Шевченко Б.Т. Резервы использования металлорежущего оборудования//Металлургическое машиноведение.- М.: Металлургия,

I99I.-С.27-29.

29.Ковалевский С.В. Качество и надежность технологических систем механообработки.-К.: РДЭНТП, I99I.- 24 С.

30.АС I2I7582 СССР, МКИ В 23 в I/00 Способ обработки резанием /Федющенко Н.Н.,Ковалевский С.В.,Козлов Н.И.,Лушпа А.А./СССР/.-№ 3672852/25-08; Заявлено I4.I2.83; Опубл.I5.03.86; Бюл.№ I0.

3I.АС I2946OI СССР, МКИ В 25 j II/00 Роботизированный технологический комплекс /Кузнецова Т.Н.,Ковалевский С.В.,Игнатьев В.В./СССР.-№ 3925368/22-08; Заявлено 09.07.85; Опубл. 07.03.87; Бюл.№ 9.

32.АС. I572752 СССР, МКИ В 23 В I/00 Способ обработки резанием материалов с коркой /Федющенко Н.Н., Ковалевский С.В., Подковырин Е.М., Кошевой Е.М., Лушпа А.А./ СССР.-№ 4486587/22-08; Заявлено 26.09.88; Опубл. 23.06.90. Бюл. № 23.

33.АС I682I33 , МКИ В 24 В 27/033 Способ шлифования изделий/ Ковалевский С.В., Федющенко Н.Н., Подковырин Е.М., Коровченко В.Е., Кошевой Н.А., Чужинов О.В./ СССР.- № 4647338/08; Заявлено I9.I2.88; Опубл. 07.I0.9I. Бюл.№ I0.