

*ЖДАНОВ БОРИС ІВАНОВИЧ*

КОНЦЕПЦІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА МЕТОДОЛОГІЯ  
ПРОЕКТУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ТЕХПРОЦЕСУ  
МЕХАНООБРОБКИ В МАШИНОБУДУВАННІ

---

СПЕЦІАЛЬНОСТІ *05.02.08 "Технологія машинобудування"*

*05.13.05 "Системи автоматизованого проектування".*

---

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Київ - 1997г.



Дисертація є рукописом

Роботу виконано на кафедрі прикладної будівельної механіки інституті перспективних технологій Національного Технічного Університету України "Київський політехнічний інститут"

Наукові керівники: доктор технічних наук,  
професор Румбешта В.А.

доктор технічних наук,  
Глоба Л.С.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,  
професор Зенкін А.С.

кандидат технічних наук  
Жовткевич Г.Н.

Провідна установа: АНПК ім. Антонова

Захист відбудеться \_\_\_\_\_ 1997 року о \_\_\_\_ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.02.09 в Національному Технічному Університеті України "Київський політехнічний інститут"

за адресою: 252056, Київ-56, проспект Перемоги 37, корп. 1, ауд. \_\_\_\_.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного Технічного Університету України "Київський політехнічний інститут"

Автореферат розіслано " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1997

Вчений секретар  
спеціалізованої ради Д 01.02.09.  
доктор технічних наук, професор

Н.С.Равська

Актуальність роботи. Розвиток техніки у Х сторіччі зіткнувся з низкою протиріч, деякі із них істотним чином впливають на розвиток технології машино- та приладобудування: (1) суперечність переваги темпу зростання складності технічних систем над розвитком методів їх проектування, (2) суперечність взаємодії таких чинників, як тривалість розробки і термін морального старіння технічних систем, (3) суперечність випередження автоматизації процесів виробництва над автоматизацією процесів проектування. Ці суперечності посилюються тим, що вони тягнуть за собою глибокий розподіл праці, що ще більше ускладнює узгодження дій на всіх етапах підготовки виробництва в машинобудуванні.

Також відчувається в цей час нестача на виробництві кваліфікованих фахівців по машинному проектуванню. Крім того, на розвиток промисловості в умовах ринкових відносин помітно впливає підвищення конкурентоздатності виробів, яку можливо досягти за рахунок досягнення поліпшеної якості та частою зміною номенклатури виробів у відповідність з ринковим попитом.

З метою подолання зазначених протиріч в промисловості все більш уваги приділяється розвитку автоматизації проектування технологічних процесів, зокрема, процесів механічної обробки деталей. Розроблено достатньо багато систем автоматизованого проектування технологічних процесів по механообробці. Але їх широке впровадження гальмується й об'єктивними причинами - це пов'язано з труднощами по узгодженню з умовами виробництва. Наприклад, вплив масштабу виробництва на алгоритми проектування має істотне значення; конкретна технологічна ситуація на рівні виробничої ділянки може значно змінюватись в частині перерозподілу вільних технологічних ресурсів: обладнання, інструменту, тощо для оптимальної їх завантаженості. Велика трудомісткість процесу проектування технології механічної обробки деталей не дозволяє гнучко адаптуватись до змін виробництва. До того ж виробництво - це безперервний процес внесення великого числа корегуючи поправок з метою постійного та швидкого адаптування до вимог умов виробництва. В цьому полягає одна з проблем автоматизованого проектування.

Разом з цим, труднощі впровадження існуючих методик автоматизованого проектування технологічних процесів механообробки, які розв'язують суперечності, що виникли перед промисловістю, в свою чергу виявили внутрішні суперечності самих методів автоматизованого проектування техпроцесів. Наприклад, вони накладають жорстке обмеження на об'єкт проектування, бо існуючі методи, що автоматизуються, та методи, що автоматизують, не враховують специфіку друг друга, внаслідок чого зростає складність програмного продукту, що гальмує широке розповсюдження автоматизації проектування технологічних процесів у механообробних переділах виробництва. Крім того, існуючі методики проектування техпроцесу та його оптимізації не знаходяться у системній єдності: по суті, на початку проектується техпроцес, а після цього він оптимізується традиційними методами науки дослідження операцій, що є взагалі не тривіальним завданням.

Суперечності систем автоматизованого проектування можна в чималій мірі подолати розробкою нових методологій проектування, які одночасно враховують як методи їх реалізації при автоматизації, так і методи оптимізації,

що знаходяться в єдності з методом проектування, для чого вимагається розробка нових концептуальних сутностей елементів технологічного процесу.

**Об'єкти дослідження.** Методи немашинного та автоматизованого проектування технологічних процесів механообробки, методи формалізації, структура та елементи процесу проектування механічної обробки деталей, методи оптимізації технологічного процесу, методи подання знань та методи їх реалізації у комп'ютерних науках, методологія програмування.

При проведенні дослідження були виявлені приховані взаємовідношення між названими об'єктами дослідження, їх елементами, залежність елементів від умов виробництва та їх вплив на гнучкість автоматизованого проектування технології механообробки.

Основна увага приділялась проблемі формалізації розкритих закономірностей, розроблено новий метод проектування техпроцесу механообробки деталей (ТП), що запроваджує нову ідеологію схеми (парадигму) технологічного програмування - "віртуальну технологію" (ВТ), яка в відомій мірі переборює деякі недоліки існуючих методів проектування ТП.

**Мета роботи** - розробити ефективну інженерну методологію проектування ТП механічної обробки деталей, яка базується на концепції віртуального техпроцесу, що забезпечує гнучкість та швидкість адаптування до умов виробництва за рахунок інтеграції однопрохідної оптимізації та неітераційного проектування техпроцесу з забезпеченням зниження трудомісткості та підвищення якості технологічного проектування механообробки, яка також має гнучкість до типу виробництва й деталі і що допускає не тільки спеціальну реалізацію, але й реалізацію на універсальних методах стандартного програмного забезпечення сучасних ПЕОМ, які зараз починають широко використовуватись у повсякденній інженерній практиці.

**Завдання дослідження** зумовлювалось поставленою метою і поділяється на такі напрямки:

1. Провести *аналіз* і дослідження процесів немашинного та автоматизованого проектування технології механічної обробки деталей для вияву причин, які є джерелом інформаційної ентропії (невизначеності) методу проектування, що знижує гнучкість та ефективність процесу проектування ТП при механічній обробці деталей.

2. Створити інженерну *методологію* проектування технологічних процесів механообробки, засновану на інтеграції найкращих сторін двох альтернативних концепцій - концепції віртуального та реального техпроцесів механообробки, у вигляді двонапрямового методу проектування ТП механічної обробки деталей, який може гнучко та швидко адаптуватись до умов виробництва.

3. Розробити *концепцію* віртуального техпроцесу, яка дозволить здійснити неітераційний метод проектування технології механообробки поєднаний з однопрохідною оптимізацією, що забезпечує скорочування термінів проектування ТП механообробки, поліпшення його якості та допускає ефективне проектування як ручним способом, так і автоматизованим.

4. Визначити *принципи* такого методу, які дозволяють суміщати проектування з оптимізацією ТП механічної обробки деталей, гнучко враховувати тип виробництва та бути незалежними від типу деталей.

5. Розробити математичний *апарат*, який формалізує метод проектування віртуального ТП, та дозволяє дати методи подання технологічних знань у формі, яка підтримується ефективною мовою програмування.

6. *Реалізувати* у виробничих умовах інженерну методику проектування техпроцесу механообробки, яка базується на концепції віртуального техпроцесу, провести порівняльний аналіз методик проектування, які ґрунтуються на концепції моделювання віртуального та реального техпроцесів механообробки.

**Методи дослідження** відповідають природі об'єкта дослідження з метою рішення поставленого завдання дослідження і забезпечення досягнення поставленої мети. Робота базується на логічному аналізі та узагальненні передового вітчизняного та зарубіжного досвіду технологічного проектування механообробки, а також вироблення на цій основі якісно нових методичних рішень, прийнятних для практичного використання при технологічній підготовці виробництва. Для формалізації системних характеристик об'єктів дослідження, а також технологічних закономірностей використовувались: математична логіка, теорія множин, реляційна алгебра, елементи теорії системного аналізу, теорія евристичного прогнозування, методологія системного проектування, методи подання знань у штучному інтелекті, елементи теорії дослідження операцій (математичне програмування), формалізми різних мов програмування.

Запропонована методика та програми, що її реалізують, досліджувались теоретично на інформаційних моделях за допомогою мови програмування SQL та експериментально при дослідній експлуатації в діючому виробництві.

**Наукова новизна** роботи, що пропонується, полягає в тому, що

• розроблено метод **неітераційного проектування віртуального техпроцесу**, що складається із п'яти основних принципів: (1) інверсного (зворотного) напрямку обробки (проектування) деталі, (2) ізоморфізму станів поверхонь у реальному та віртуальному ТП, (3) самооптимізуючого проектування станів поверхонь по стратегії "пошук у ширину" з можливістю застосування A\*-алгоритму, (4) поліформалізму опису ТП та (5) інкапсуляції системних якостей ТП у вузлах алгоритму;

• запропоновано нову наукову **концепцію - віртуальний техпроцес** як метод машинного проектування технології виготовлення деталей механічною обробкою;

• розроблено ефективну реалізацію концепції та методики віртуального техпроцесу у формі, що підтримується ефективною мовою програмування SQL, та у вигляді **інженерної методології двонапрямового проектування ТП** на основі запровадження для цілей взаємораховування конструкторсько-технологічних пріоритетів нових понять: (1) морфології деталі, (2) поверхневого віртуального техпроцесу, (3) стадійного (методного) віртуального техпроцесу та (4) маршрутного віртуального техпроцесу, які дозволяють використати системну єдність (емерджентність) техпроцесу як новий метод оптимізації - *однопрохідну системну оптимізацію*, що допускає використання як ручного методу проектування, так і автоматизованого.

**Практична цінність** роботи полягає в удосконаленні методів проектування ТП механообробки для реального виробництва, що знайшло своє практичне втілення у інженерній методології двонапрямового проектування

ТП, яка базується на концепції віртуального техпроцесу, що забезпечує інтеграцію однопрохідної оптимізації з неітераційним проектуванням, і яка підтримується мовою програмування SQL, що дозволяє технологю:

- досить просто проектувати ТП,
- гнучко враховувати специфіку виробництва,
- покращити якість проектування та
- зменшити у 2-3 рази термін проектування техпроцесів при механообробці

деталей

•при використанні як (1) ручного проектування, так і (2) універсальної QBE-маніпуляції технологічними даними на ПЕОМ без програмування, (3) SQL-програмування та (4) інтеграція в САПР.

Запропонована інженерна методика використовувалась при розробці і впровадженні САПР ТП "Славутич".

Реалізація роботи в промисловості. Результати дисертаційної роботи використовувались при підготовці виробництва на таких заводах: Київський мотоциклетний завод, Київський завод "Веста", Харківський дослідний завод ХНДІ ТМ. В останній час робота виконувалась у рамках Національної програми України "Критичні технології", розділ "Перспективні технології машинобудування".

Результати дослідження одержали позитивну оцінку фахівців.

На захист виноситься: 1. Концепція віртуального техпроцесу у вигляді нової парадигми (схеми) проектування техпроцесу механічної обробки деталей.

2. Основні принципи методу проектування технології механообробки, що ґрунтується на концепції віртуального техпроцесу, який дозволяє інверсний напрямок проектування і властивість системної єдності техпроцесу (емерджентність) використати як неітераційне проектування поєднане з однопрохідною системною оптимізацією під час процесу проектування ТП механообробки.

3. Математичний апарат віртуального техпроцесу, який допускає інтерпретацію технологічних знань у реляційному поданні, що підтримується ефективною мовою програмування SQL та дозволяє перевести проектування ТП в технологічне програмування.

4. Інженерна методологія двонапрямового проектування техпроцесу механообробки деталей, яка базується на концепції віртуального техпроцесу, що дозволяє у 3-4 рази скоротити термін проектування техпроцесів по механообробці.

Апробація роботи. По основним питанням виконаних досліджень зроблено три доповіді на міжнародних та республіканських конференціях, у тому числі: 1. Міжнародна конференція "Оснастка-96", 2. Республіканська конференція "Автоматизація конструкторсько-технологічної підготовки виробництва у машинобудуванні та судноремонті на базі ПЕОМ"

Публікації. По темі дисертації опубліковано 5 друкованих робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 глав та висновку, зміст яких викладено на 203 сторінках машинописного тексту, 63 малюнках, 21 таблицях, 5 листінгах програм, додатках на 18 сторінках, списку літератури (142 найменувань).

## Основний зміст роботи.

В роботі обґрунтована її актуальність та сформульовані основні положення, що виносяться на захист, приведена наукова новизна та практична цінність роботи.

Наведено аналіз існуючих методів немашинного та автоматизованого проектування технологічних процесів при механічній обробці деталей, методи формалізації процесу такого проектування для цілей автоматизації, проаналізовано структури процесу проектування та методи оптимізації технологічних процесів механообробки.

На підставі аналізу розвитку методів проектування було встановлено, що в кінцевому рахунку, різноманітність методів проектування є спробою покращити попередній метод в частині зменшення інформаційної ентропії (невизначеності) самого методу, причому зменшити одним методом - ітераційним, і при цьому всі методи, незважаючи на їх різну форму подання, мають загальний зміст, бо всі вони призначені для проектування реального техпроцесу механічної обробки деталей і в цьому розумінні всі методи ізоморфні із перспективи моделювання реального техпроцесу. Встановлено також, що у межах одного автоматизованого методу проектування, як правило, використовується один формалізм, що не може достатньо адекватно покрити всю гаму елементів знань, необхідних для опису техпроцесу механообробки. Все це свідчить про наявність суперечності між формою подання методу та його змістом. При аналізі також виявлено, що методи проектування техпроцесу механічної обробки деталей та методи його оптимізації не знаходяться у системній єдності друг із другом і розробляються незалежно. Ідеологія програмної схеми (парадигма), як метод опису концептуальних сутностей в науці програмування, для методів реалізації методу технологічного проектування спеціально не стикується з концепцією проектування реального техпроцесу механообробки. Всі методики слабо підтримують системоутворюючі якості техпроцесу механічної обробки, є по суті синтезуючими "знизу вгору" (в термінах методології програмування) та призначені для потужних "переборних" традиційних варіантів оптимізації, що не враховують сильного оптимізуючого початку в самому системному підході у концепції проектування.

Внаслідок складності математичного апарату, мови опису деталі, алгоритмів, програм і ітераційна природа самих методик проектування ТП, все це істотно знижує практичну ефективність автоматизованого проектування.

До теоретичної частини роботи належить спроба на підставі критичного аналізу проблем автоматизованого проектування розробити таку концепцію проектування, яка б наскільки це можливо комплексно вирішувала всі виявлені проблеми.

З цієї метою були проведені дослідження по вияву причин невизначеності проектування та негнучкості систем автоматизованого проектування.

Так, наприклад, аналізувалися як класифікатори ЄСКД, так і вплив виробничо-економічних умов на спроможність гнучкого адаптування автоматизованого проектування до їх вимог. Виявилось, що незважаючи на детальну класифікацію (тільки в одному класі 74 понад 1200 видів деталей), деталі в межах групи рядом розміщені деталі можуть мати різноманітні техпроцеси по їх механічній обробці. Крім того, технологічна невизначеність

збільшується за рахунок того, що класифікатор не враховує масштабний чинник виробництва, точність деталей та матеріал, із якого вони виготовлені. Невизначеність ще більше посилюється за рахунок того, що конструктивні деталі, який обробляється у різних технологічних традиціях, що притаманні різноманітним видам виробництв, наприклад, літако- та суднобудуванню, також буде мати різноманітний техпроцес механообробки при інших рівних умовах.

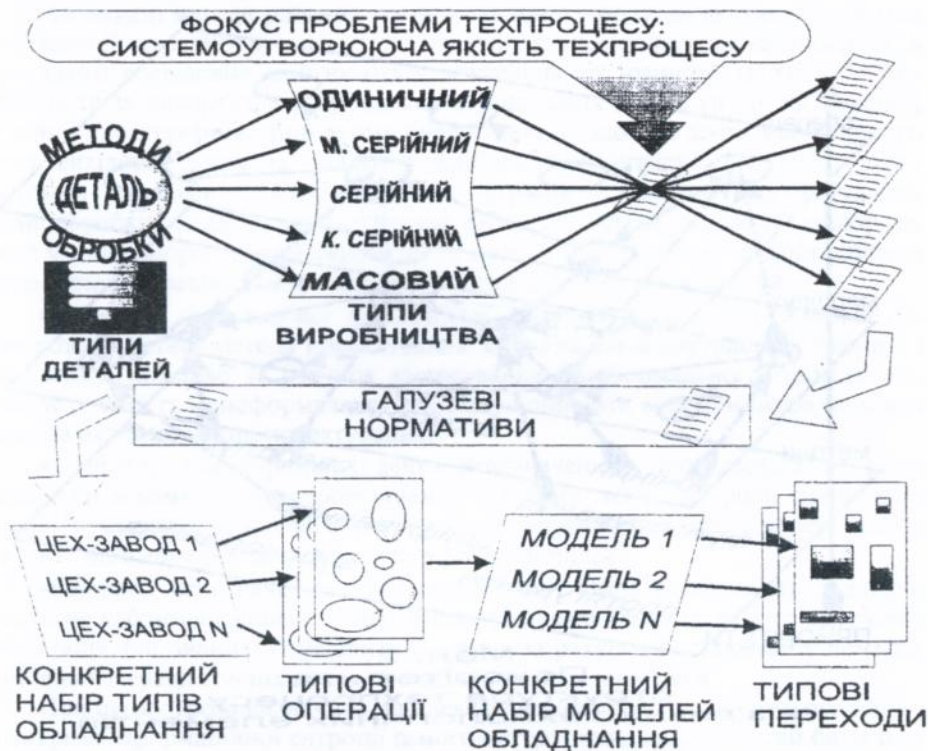
З другого боку було виявлено, що незважаючи на великі потенційні відмінності в реалізації техпроцесу по механічній обробці одних й тих ж деталей, деякі з них у межах виду, підгрупи, навіть групи а інколи і підкласу мають деяку технологічну спільність. Ця технологічна спільність може проявитися не на рівні техпроцесів механообробки, які надто контекстно залежні, а на рівні спільності методів обробки. Наприклад, в класі 73 підкласи корпусних деталей 731000 і 732000 по більшій частині технологічно прагнуть до фрезерно-розточувальних методів, підклас опорних деталей - або до фрезерно-свердильних (підклас 734000 кронштейни), або до фрезерно-шліфувальних методів (підклас 733000 станини); в класі 710000 підкласи 711000, 712000, 71300 і 714000 (кільця, фланці, шківни, барабани) прагнуть переважно до методів обробки токарно-розточувальних, а 715000 та 716000 (вали, штоки) до токарно-шліфувальних. Це дало підставу із технологічної точки зору прийняти пріоритетність методів обробки у рамках класифікації деталей.

Наряду з впливом конструктивних особливостей деталі на невизначеність процесу проектування технології механообробки, досліджувався вплив виробничо-економічних умов виробництва у одиничному, серійному та масовому виробництвах. Було виявлено, що прагнення проектувальників максимально підвищити продуктивність праці за рахунок застосування багатоінструментальних наладок, багатомістних пристроїв, спеціалізованих інструментів та верстатів, поєднаних схем завантаження заготовок, роздрібнення операцій приводить в першу чергу до істотної зміни техпроцесу у частині зміни методів механічної обробки поверхонь і лише у другу чергу у маршруті обробки.

Разом із цим було знайдено, що незважаючи на можливість галузевих технологічних нормативів істотно знизити для підприємства технологічну невизначеність проектування, зміст операцій залежить від конкретного набору типів та моделей устаткування на підприємстві. Ці відмінності техпроцесів механообробки не виводить останні за рамки того загального, що робить їх власне техпроцесами, при цьому було прийнято допущення, що загальним у них є системоутворююча якість. Узагальнено ситуацію можна представити на мал.1.

Виявлені особливості методу обробки, маршруту та операції обробки деталі досліджувались при різноманітних технологічних умовах. Зокрема, розглядалися приклади використання однієї схеми базування при різному устаткуванні; різних схем базування при одному методі обробки; послідовність обробки у середині операцій в залежності від типу устаткування. Виходячи з цього стало можливим зв'язки технологічних елементів роздивлятися із точок зору: 1) властивостей техпроцесу механообробки інваріантних до окремої реалізації; 2) проміжних властивостей та 3) властивостей істотно залежних від конкретної форми реалізації техпроцесу механообробки.

Першу властивість було названо пріоритетом методу обробки, що є узагальненням усіх можливих технологічних елементів техпроцесу механічної обробки деталей; проміжну властивість техпроцесу названо пріоритетом маршруту (забезпечує принципову можливість обробки за допомогою обраних методів обробки) та третю властивість техпроцесу названо пріоритетом операції - вона забезпечує конкретну реалізацію техпроцесу механообробки.

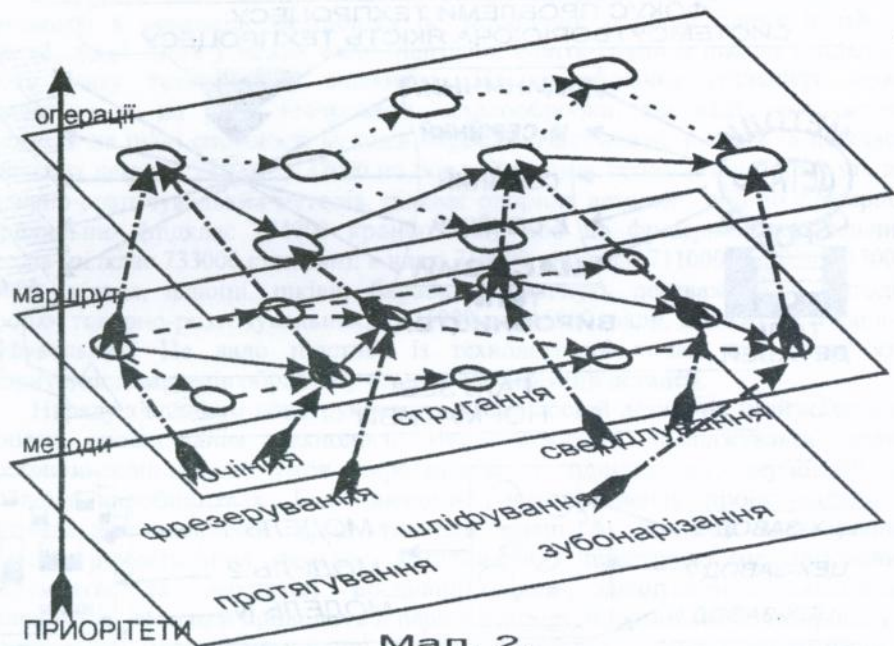


Мал.1. НЕ ГНУЧКІСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХПРОЦЕСУ (ЗА РАХУНОК РІЗНОМАНІТНОСТІ ФОРМ ПРІОРИТЕТІВ ТЕХПРОЦЕСУ)

Таким чином, синтез виявлених при аналізі трьох загальних закономірностей дозволив представити трьохрівневу модель техпроцесу при механічній обробці деталей, мал. 2, а у вигляді цілі дослідження - однопрохідну модель проектування техпроцесу: методи-маршрут-операції.

Невизначеність методів проектування також розглядалось з перспективи верифікації (перевірка достовірності) результатів проектування. При цьому було виявлено, що тільки на чотирьох етапах проектування - вибір заготовки, вибір баз, вибір поверхневого маршруту та формування маршруту обробки - при розгляданні деталі середньої складності (з 30-ю технологічними параметрами на кожний етап) з урахуванням ітерацій-повертань з кожного етапу на любий попередній етап загальний час перевірки достовірності правил проектування на можливому стані цих параметрів дорівнює 176 (!) людино-років, якщо час для верифікації одного стану параметру на повній множині

можливих станів прийняти за 1-у хвилину. Але ж це стосується й зворотної задачі - повного опису для цілей програмування технологічних правил проектування техпроцесу. На практиці це приводить до значного звуження множини станів технологічних параметрів до прийнятних з точки зору строку розробки та верифікації технологічних правил, але це досягається за рахунок втрачання гнучкості при автоматизованому проектуванні, бо алгоритм проектування розробляється на різко звуженому полі можливих станів.



Мал. 2.  
 Приоритети та  
 структура техпроцесу  
 в зв'язках технологічних елементів

Зменшення невизначеностей проектування також розглядалось у зв'язку з надійністю власне технологічного процесу механообробки, при цьому було прийнято допущення, що чим більше невизначеностей у процесі проектування техпроцесів, тим більш ненадійний техпроцес, а надійність техпроцесу можна розглядати у інформаційному аспекті як деякий аналог величини зворотної невизначеності при проектуванні. Тоді надійніша модель техпроцесу при механообробці дає способи зменшення невизначеностей процесу проектування технології. Проте аналіз формул надійності процесу проектування дає підставу вважати, що із точки зору методу проектування, що базується на концепції реального техпроцесу механообробки, має місце достатньо висока інформаційна ентропія (невизначеність) у процесі проектування.

Для зняття суперечності і зменшення інформаційної ентропії методу проектування було поставлено завдання розробити концепцію віртуального техпроцесу механообробки, як альтернативу концепції реального техпроцесу механічної обробки деталей. Для вияву причини виникнення невизначеностей

було розроблено спеціальну методику аналізу невизначеностей при проектуванні техпроцесу механообробки. З цією метою етапи процесу проектування техпроцесу подавалися як процедури, які вирішують конкретні окремі підзадачі. Якщо кожний етап-процедуру подавати рівнянням  $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ , весь процес проектування механообробки можна показати як систему рівнянь такого виду, що, як відомо, не мають загального точного рішення у аналітичному вигляді.

Наближені методи рішення системи подібного роду, як відомо, будуються по класичній ітераційній схемі: спочатку знаходиться початкове наближення, а після цього послідовно здійснюються внутрішня та зовнішня ітерації. Із цих підходів та за допомогою розроблених вирішальних процедур досліджувались всі етапи проектування і при цьому було виявлено, що для достатньо великого числа вихідних даних їх значення приймаються апіорі. Це дало змогу збудувати модель інформаційних струмів процесу проектування механообробки, аналіз яких встановив можливі шляхи переводу апіорних даних у апостеріорні. Таким чином, вже у самому наближеному способі рішення системи рівнянь закладено по крайній мірі три виду невизначеностей:

- по-перше, із-за слабкої формалізації етапу невизначеність виникає на рівні кожного етапу методу проектування, тобто на рівні внутрішньої ітерації, і зменшити її можливо за рахунок застосування поліформального підходу, що дозволить замість моноформального підходу поширити спектр методів подання знань на окремому етапі проектування;

- по-друге, із-за апіорних даних невизначеність проявляється на рівні ітерації по всьому методу проектування в цілому, тобто на рівні зовнішньої ітерації, і зменшити її можна за рахунок переупорядочення етапів проектування для того, щоб апіорні дані перевести у апостеріорні;

- по-третє, невизначеність має місце тому, що є необхідність задавати початкове наближене рішення, прийнявши у вигляді вхідного даного заготовку деталі (апіорне знання) і зменшити її можна за рахунок постановки у початок зовнішньої ітерації точних даних про деталь замість заготовки.

При цьому треба визначити, що невизначеність другого та третього виду - це джерело інформаційної ентропії самого методу проектування, який базується на концепції реального техпроцесу механічної обробки деталі, органічно методу властива суперечність між цілпо проектування та методом проектування. Значить рішенням поставленої задачі буде альтернативна реальному техпроцесу механообробки концепція віртуального техпроцесу механообробки, в якому процес обробки базується на принципі альтернативного, *інверсного* напрямку обробки. Разом із цим, щоб відповідно до першого принципу "дзеркально" не перенести всі проблеми реального техпроцесу у віртуальний, зв'язок між ними обмежено другим принципом - декларується тільки взаємоднозначна відповідність станів поверхонь деталі, що обробляються, між реальним та віртуальним техпроцесом і ніщо понад, що називається як *ізоморфізм* станів поверхонь реального та віртуального техпроцесів.

Виявилось, що такий підхід цілком має місце, бо відповідає логічному способу виведення знань - висновок від даних, тобто від відомих даних - креслення деталі, результатом (віртуальної обробки) якої може бути знання про заготовку деталі, що є не самоціллю, а служать для розробки віртуального техпроцесу механообробки, основне призначення якого, якщо він буде

прочитано у зворотному напрямку, відповідати реальному техпроцесу механообробки. При такому підході це означає, що віртуальна обробка - це процедура, що проектує.

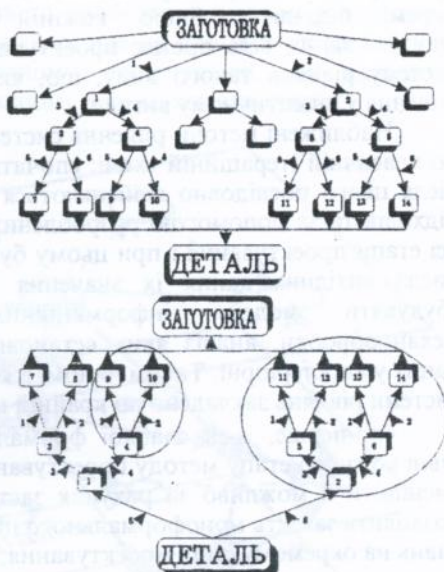
Після визначення напрямку обробки (проектування) стало можливим обрати стратегію проектування, причому ця стратегія повинна бути одночасно такою, що оптимізує. З цією метою досліджувався простір станів поверхонь деталі, що потрібно оброблювати, і було встановлено, що можливо в силу зворотного напрямку проектування на просторі станів поверхонь деталі при проектуванні віртуального техпроцесу, на відміну від проектування реального техпроцесу, здійснювати оптимізуюче проектування по стратегії "пошук в ширину", при цьому можливо у вигляді алгоритму використати евристичний А\*-алгоритм, см. мал. 3.

Як було встановлено при аналізі літературних джерел, математична формалізація процесу проектування механообробки зустрічається з труднощами в силу чималих відмінностей між етапами проектування. Тому був запропонований підхід при якому саме технологічне проектування здійснювалося на принципах методології програмування. По-перше, це дозволило пом'якшити проблему математичних формалізмів використанням інформаційних моделей; по-друге, стало можливим у вузлах алгоритму проектування застосовувати різноманітні формалізми, а, по-третє, дозволило саме проектування вести традиційним для програмування та незвичайним для технологічного проектування способом "згори-вниз". Останнє припускає системного бачення проблеми, тому були запроваджені поняття системних якостей техпроцесу механічної обробки: (1) конкретного, (2) видового (групового) та (3) системоутворюючого.

Для формування змісту у вузлах алгоритму розроблено принцип інкапсуляції у них системних якостей ТП, які визначились при розробці інформаційної моделі технологічного процесу механообробки.

Таким чином, були розроблені основні принципи методу віртуального техпроцесу як процедури, що проектує на ґрунті:

- інверсного (зворотного) напрямку проектування механообробки;
- ізоморфізму станів поверхонь в реальному та віртуальному ТП як зв'язок між ними;
- проектування, що самооптимізується по стратегії "пошук у ширину" із можливістю застосування А\*-алгоритму;
- поліформалізму опису ТП;
- інкапсуляції системних якостей ТП у вузлах алгоритму.



**Мал. 3. СХЕМА НАПРЯМКУ ОБРОБКИ ТА СТРАТЕГІЇ ВИБОРУ НА ПОЛІ СТАНІВ ПОВЕРХНІ ПРИ РЕАЛЬНОМ ТА ВІРТУАЛЬНОМ ТЕХПРОЦЕСАХ**

Розроблені принципи віртуального техпроцесу поставили завдання їх формалізації, що вирішувалась методами які застосовуються в науці програмування. В рамках такого підходу розроблено угоди про зіставлення елементів технологічного процесу при механічній обробці деталей та визначено математичний апарат опису моделі віртуального техпроцесу. Дано визначення віртуального техпроцесу:

**Віртуальна технологія** - ❶ це фізично не існуюча абстрактна механічна обробка деталі "навпаки" для одержання заготовки, що відрізняється від реальної технології механообробки тим, ❷ що становить абстрактну обробку кожної поверхні деталі у вигляді окремої абстрактної операції, ❸ що складається із абстрактних технологічних переходів, напрям обробки яких протилежний напрям обробки реальних переходів, ❹ що базуються на реальних методах обробки, ❺ необхідних для забезпечення в дослідно-статистичному розумінні якості поверхні деталі при обробці заготовки.

В цьому визначенні має місце п'ять аспектів, що повинні формалізуватись, і ❶-ому зіставимо вислів :

$$VT : D \rightarrow Z, \quad (1-1)$$

де  $VT = \langle vt_1, vt_2, \dots, vt_n \rangle$  - упорядкована множина *віртуальна технологія*; така, що будь-який віртуальний технологічний процес  $vt_i \in VT \ \& \ i \in N$ ;  $D = \{d\}$  - множина *деталь*, що складається із одного елементу - деталі  $d$ , яку необхідно "обробити" по віртуальній технології  $VT$ .  $Z = \langle z_1, z_2, \dots, z_n \rangle$  - упорядкована множина *заготовка*, що виникає внаслідок застосування до деталі  $D$  віртуального техпроцесу  $VT$ .

Віртуальний техпроцес (VT) можна розгорнути по схемі 1:М :

$$\begin{aligned} vt_1 : d &\rightarrow z_1 \\ vt_2 : d &\rightarrow z_2 \\ \dots & \\ vt_n : d &\rightarrow z_n \end{aligned} \quad (1-2)$$

Відповідно до визначення VT має зворотну функцію:

$$VT = T^{-1} \quad (1-3)$$

де  $T$  - реальний техпроцес механообробки.

Якщо зіставимо віртуальному техпроцесу функцію зворотну реальному техпроцесу, ми цим формально зафіксували концепцію віртуального проектування: по-перше, віртуальний техпроцес знаходиться у функціональній залежності із реальним (взаємно-однозначна відповідність поверхонь), а по-друге, вони пов'язані зворотною функцією (зворотний напрям проектування).

Деталь можна представити у вигляді множини конструкторських поверхонь деталі, а заготовку як множину поверхонь заготовки таких, що кожній із них можна зіставити конструкторську поверхню:

$$d = \{PD\} = \{pk_1, pk_2, \dots, pk_n\} \quad (1-4)$$

$$z_i = \{PZ_i\} = \{pz_{i1}, pz_{i2}, \dots, pz_{im}\} \quad (1-5)$$

Прийmemo, що VT складається із віртуальних операцій (Bo),

$$vt_i = \langle op_{i1}, op_{i2}, \dots, op_{in} \rangle,$$

і тоді можна визначити j-ю Bo i-го VT таким чином:

$$op_{ij} : pk_j \rightarrow pz_{ij} \quad (1-6)$$

Цей вислів формалізує **Во** згідно з ②-м аспектом визначення як "...абстрактну обробку кожної поверхні деталі у вигляді окремої абстрактної операції..."

Розкриємо поверхні заготовки як упорядковану множину технологічних станів поверхонь, що можливі під час **Во**, яка "перетворює" конструкторську поверхню у поверхню заготовки

$$пз_{ij} = \{C_{ij}\} = \langle c_{ij}, c_{ij2}, \dots, c_{ijn} \rangle \quad (1-7)$$

По *принципу інверсності* конструкторська поверхня - перший технологічний стан поверхні при переході до заготовки, а останній технологічний стан поверхні заготовки і є шукасний технологічний стан поверхні власне заготовки, що позначається як поверхня заготовки креслення *пзч*, що, як і поверхня деталі, є елементами одного й того ж відношення - область відправлення та область прибуття співпадає:

$$c_{ij1} = пк_j, пзч_{ij} = c_{ijn} \quad (1-8)$$

Тоді **Во** можна подати у вигляді:

$$оп_{ij} : пк_j \rightarrow \langle пк_j, c_{ij2}, \dots, c_{ijq}, \dots, пзч_{ij} \rangle \quad (1-9)$$

Розглянемо об'єкт  $x_0$  і процес  $p$ , що породжує множину і визначає послідовність  $x_1, x_2, \dots, x_n$  таку, що :

$$\begin{aligned} x_1 &\rightarrow p(x_0) \\ x_2 &\rightarrow p(x_1) \\ &\dots \\ x_n &\rightarrow p(x_{n-1}) \end{aligned} \quad (1-10)$$

"Відповідь" буде міститися в  $p^n(x_0)$  (де  $p^n$  -  $p$  в степені  $n$ ) при деякому  $n$ . Саме таким чином вибираються технологічні переходи ( $Tn$ ) - з урахуванням результатів обробки на попередніх  $Tn$ . На цій підставі приймемо :

$$\begin{aligned} c_{ij2} &\in оп_{ij}(пк_j) \\ c_{ij3} &\in оп_{ij}(c_{ij2}) \\ &\dots \\ пзч_{ij} &\in оп_{ij}(c_{ijn-1}) \end{aligned} \quad (1-11)$$

Таким чином,  $q$ -ий віртуальний технологічний перехід (**Втп**)  $j$ -ої **Во**  $i$ -го **ВТ** є  $q$ -ої степеню процесу  $j$ -ої **Во**  $i$ -го **ВТ** визначеного з точки зору рекурентного співвідношення (1-11):

$$пр_{ijq} = оп_{ij}^q(пк_j) \quad (1-12)$$

**Во** представимо як упорядковану множину переходів, що складається із **Втп**,

$$оп_{ij} = \{ПР_{ij}\} = \langle пр_{ij1}, пр_{ij2}, \dots, пр_{ijn-1} \rangle \quad (1-13)$$

Номер останнього **Втп** на одиницю менш від номера останнього стану поверхні ( $c_{ijn} = пзч_{ij}$ ), бо в розумінні (1-11) *один Втп* зв'язує *два* стану поверхонь, тоді множина **Втп** буде виглядати:

$$\langle пр_{ij1}, пр_{ij2}, \dots, пр_{ijn-1} \rangle : пк_j \rightarrow \langle пк_j, c_{ij2}, \dots, c_{ijq}, \dots, пзч_{ij} \rangle \quad (1-14)$$

Таке співвідношення і визначення **Втп** в розумінні (1-11) дає підставу визначити **Втп** по індукції як рекурентне співвідношення:

$$\begin{aligned} пр_{ij1} &: пк_j \rightarrow c_{ij2} \\ пр_{ij2} &: c_{ij2} \rightarrow c_{ij3} \\ &\dots \\ пр_{ijq} &: c_{ijq} \rightarrow c_{ijq+1} \\ &\dots \\ пр_{ijn-1} &: c_{ijn-1} \rightarrow пзч_{ij} \end{aligned} \quad (1-15)$$

це ж відношення можна подати у вигляді математичної моделі техпроцесу механічної обробки деталі в матричній формі:

$$PP_{ij} = \begin{bmatrix} PK_j & C_{ij2} \\ C_{ij2} & C_{ij3} \\ \dots & \dots \\ C_{ijq} & C_{ijq+1} \\ \dots & \dots \\ C_{ijn-1} & PK_{ij} \end{bmatrix} \quad (1-16)$$

що є підмножиною на декартовом добутку можливих технологічних станів поверхонь  $C_{ij} \times C_{ij}$ .

Вислови (1-15) та (1-16) формалізують 3-ій аспект визначення ВТ, що стосується віртуальних переходів, "... напрям обробки яких протилежний напрямку обробки реальних переходів..."

Згідно з 4-м аспектом визначення ВТ відомо лише, що  $V_{тп}$  повинні бути на основі  $T_{п}$ , "що базуються на реальних методах обробки". Для спеціалізованих предметних областей (вагонобудування, автомобілебудування, приладобудування та ін.) ці інтерпретації будуть різними. Тут знаходиться один із "вузлів" алгоритму проектування ВТ, і можливо прояв поліформалізму - в кожній вищезначеній предметній області може бути знайдено специфічний метод подання  $V_{тп}$  і його формалізм.

Результатом дослідно-статистичної природи ВТ є заготовка, що має мінімальні припуски, які при обробці забезпечать якість деталі. Ця обставина відображена у 5-му аспекті визначення ВТ, де віртуальні переходи подаються як зворотні реальним, але не всяким, а "... необхідних для забезпечення в дослідно-статистичному розумінні якості поверхонь деталі при обробці заготовки". Таким чином, статистичні закономірності виявляють щось загальне у групі переходів, а саме те, що вони забезпечують необхідну якість поверхні. Цим загальним, що об'єднує переходи, є вид (метод) обробки, на якому група переходів застосована і в цьому лежить (1-ша) видова (групова) якість техпроцесу механічної обробки. Наші міркування були інваріантні до властивостей стану поверхонь та обмежувалися угодою, що  $V_{тп}$  повинен упорядковувати стани поверхонь. Упорядкування поверхні можливо на підставі якогось критерію. Існує багато евристичних правил розробки техпроцесу при механічній обробці деталей, але необхідно виявити серед множини чинників головний принцип, системоутворюючий початок.

Будемо шукати головний принцип в постановці самого завдання розробки техпроцесу механообробки: одержати якісну деталь із заготовки. За етап обробки будемо брати  $V_{тп}$ , що є по визначенню ВТ термінальним елементом в ієрархії системних якостей. Тоді головний принцип ТП можна сформулювати так:

*"Кожний перехід механічної обробки покращує якість поверхні"*

Для кількісної оцінки якості поверхні стандартно нормуються показники: 1. точність розміру поверхні, 2. шорсткість поверхні, 3. точність форми поверхні, 4. точність розміщення поверхні. Останні три показники мають залежність від першого, а відносно формою першого є квалітет, тоді головну аксіому техпроцесу механообробки можна висловити так:

*"Перехід зменшує квалітет на розмір поверхні"*

Цей принцип приймемо за визначення (3-ї) системоутворюючої якості техпроцесу механообробки, тепер стан якості поверхні можна характеризувати атрибутом - квалітетом  $kв$  і тоді стан поверхні це:  $c=(kв)$

Згадаємо, що **ВТ** - це технологія "навпаки". Тому для **ВТ** аксіома виглядає так:

"Віртуальний перехід збільшує квалітет на розмір поверхні"

В атрибутивній формі технологічний стан поверхні  $c_{ijq}$  визначається на декартовому добутку множин:

$$c_{ijq} = \{ \langle r_z, d_n, u, f, p \rangle \in P_3 \times ДП \times Ш \times \Phi \times P \mid r_z \in P_3 \ \& \ d_n \in ДП \ \& \ u \in Ш \ \& \ f \in \Phi \ \& \ p \in P \}, \quad (1-17)$$

де  $P_3$  - множина розмірів,  $ДП$  - множина допусків,  $Ш$  - множина шорсткостей,  $\Phi$  - множина допусків форми,  $P$  - множина допусків розміщення поверхні.

**ВТп** визначимо не тільки технологічним станом поверхонь, але й типом поверхонь ( $тп$ ), а також матеріалом ( $м$ ) із якого виготовлена деталь. Виходячи з цього уточнимо систему (1-16):

$$PP_q = \left[ \begin{array}{ll} pk_j \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle, & c_{ij_2} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle \\ c_{ij_2} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle, & c_{ij_3} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \\ c_{ij_q} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle, & c_{ij_{q+1}} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle \\ \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \\ c_{ij_{n-1}} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle, & пзч_q \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle \end{array} \right] \quad (1-18)$$

В предикативній формі цей же вислів запишемо у вигляді:

$$c_{ijq} \langle r_z, d_n, u, f, p, тп, м \rangle \quad (1-19)$$

Тоді матрицю (1-18) подамо у більш компактному вигляді, як співвідношення (1-20), див. мал. 4. За умови, що **Втп** інтерпретується як в колонці II, таке подання є не що іншим, як таблицею, де колонка I становить предикати (відносини), що складаються із атрибутів (елементів), а кожний **Втп** ініціює новий технологічний стан поверхонь у рядок, що лежить нижче. Таке подання аналогічно рекурсивному поданню (1-11) і є одночасно формалізуванням принципу ізоморфізму стану поверхонь реального та віртуального техпроцесів.



Мал. 4.

Напрямок обробки у віртуальному та реальному техпроцесах та ізоморфізм станів їх поверхонь

Таблиці (1-20) відповідає сукупність доменів ( $P3, DP, Ш, Ф, P, TP, M$ ). Цю відповідність зафіксуємо висловом  $S_{ij}(P3, DP, Ш, Ф, P, TP, M)$ . Окремий представник класу  $S_{ij}$  опишемо кортежем  $\langle p3, dp, ш, ф, p, tp, m \rangle$ . Якщо домени, як область визначення атрибутів, для стислості прийемо одноіменні із атрибутами, що визначаються ними, то кожному відношенню реляційної моделі зі схемою:

$$S_{ij}(P3, DP, Ш, Ф, P, TP, M) \quad (1-21)$$

відповідає відношення, тобто підмножина декартового добутку доменів  $P3 \times DP \times Ш \times Ф \times P \times TP \times M$ .

Для чіткої ідентифікації переходів уводимо атрибути "ім'я переходу"  $ИП$ , "номер переходу"  $J$ , "технологічний пріоритет переходу"  $ПП$ , тоді на декартовом добутку  $P3 \times DP \times Ш \times Ф \times P \times TP \times M \times ИП \times ПП \times J$  узагальнений вислів прийме вид:

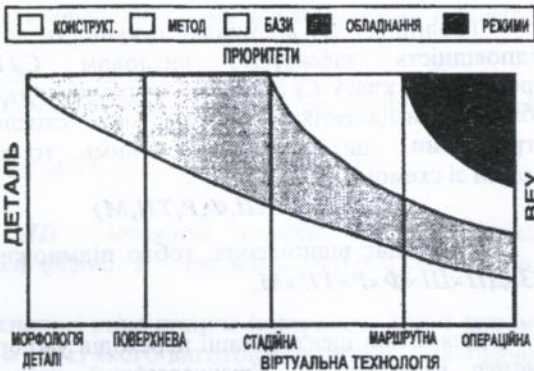
$$S(P3, DP, Ш, Ф, P, TP, M, ИП, ПП, J) \quad (1-22)$$

Наповнення цієї формули конкретними даними дає нам можливість подати конкретну якість  $ТП$ . Прийти до такої простої форми вдалося завдяки поданню процесу механообробки в реляційному вигляді і зв'язку конструкторсько-технологічних ознак у запропоновану інтерпретацію *поверхня-метод обробки*, а також за рахунок того, що розроблені форми подання технологічних знань, які застосовуються при механічній обробці деталей, дозволяли застосовувати еквівалентні перетворення в такі форми, що краще відбивали сутність об'єкту дослідження на кожній стадії його дослідження. При цьому перетворення направлялись на таке подання, що має ефективну мову реалізації, зокрема, перехід до реляційного подання дає нам "безкоштовно" SQL-мову програмування. Таким чином, за рахунок розробки віртуального підходу стало можливим єдина форма подання знань як з перспективи технології механообробки, так і з перспективи реалізації її машинного проєктування.

Таким чином, формалізовано всі п'ять аспектів визначення віртуального техпроцесу і встановлено формальні підстави для інкапсуляції системних якостей: (1) конкретної якості шляхом еквівалентних перетворень кількісного визначення якості поверхні, атрибутивна форма якого дозволила запроваджувати реляційне подання  $BT$ ; (2) видової якості на основі дослідно-статистичного підходу, (3) а системоутворюючої якості на основі розробленої головної аксіоми техпроцесу механообробки. Формалізація  $BT$  представила метод зняття невизначеностей 2-го і 3-го видів, а для невизначеностей 1-го виду залишена можливість їх інтерпретації з урахуванням специфіки виробництва і були розроблені різноманітні методи подання технологічних знань.

При цьому було виявлено, що слабоформалізуєме знання зручно подавати у логічному виді з таких міркувань. Логічне подання має багато спільних законів із теоретико-множинним поданням технологічних знань, що лежать в основі реляційного подання, яке має вихід на практичну мову програмування SQL. Таким чином, крізь цей зв'язок можливо, об'єднати всі три способи зменшення невизначеностей в одному методологічному підході, перейти до практичного, інженерного застосування методу віртуального техпроцесу.

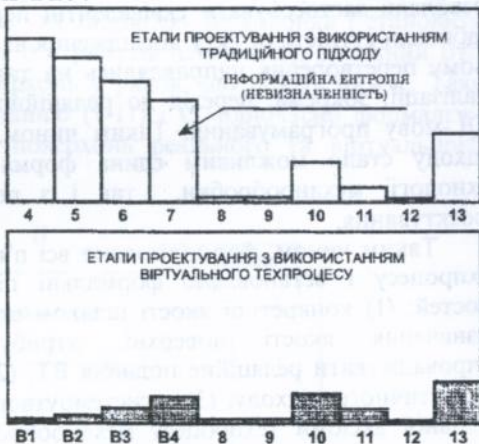
Аналіз літературних джерел та проведені дослідження свідчать, що надія "побачити" в кресленні деталі весь техпроцес її механічної обробки не виправдана та дозволяють зробити висновок, що проектування технології механічної обробки, як процес, має напрям від обмежень, що накладають конструкторські особливості деталі, до врахування обмежень виробничо-економічних умов (ВЕУ), що виражається у само-



Мал. 5 ЛОГСТИЧНИЙ ГРАФІК ГРАДІЕНТА ПРІОРИТЕТІВ ВІРТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ОБМЕЖЕННЯХ ДЕТАЛЬ-ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНІ УМОВИ (ВЕУ)

му змісту етапів проектування, що становлять собою врахування пріоритетів: конструкторських, методів обробки, базування і т.і. аж до конкретних пріоритетів, що вибираються при розрахунку режимів різання. Так як формалізовано віртуальний техпроцес як систему (на підставі системоутворюючої якості), то необхідно розробити, такі форми віртуального техпроцесу, які по мірі його "розвитку" під час проектування спробагалися формалізувати пріоритети відповідно до їх послідовності в рамках обмежень деталь-ВЕУ.

З цією метою запроваджені нові поняття: 1. морфологія деталі, 2. поверхнева віртуальна технологія, 3. стадійна (методна) віртуальна технологія, 4. маршрутна (базова) віртуальна технологія; які дозволяють розпочати формування етапів проектування віртуального техпроцесу з урахуванням пріоритетів (див. мал. 5). Розробивши етапи проектування, можна на ґрунті дослідження невизначеностей порівняти на логістичному графіку ентропії методи проектування, див. мал. 6, (на якому прийнято таке позначення: 4-вибір зготовки, 5-вибір бази, 6-вибір поверхневого маршруту, 7-вибір маршруту, 8-розрахунок припусків, 9-розрахунок проміжних розмірів, 10-будування операції, 11-режими різання, 12- норми часу, 13- оцінка ТП, В1-морфологія деталі, В2-віртуальна поверхнева технологія, В3- віртуальна стадійна технологія, В4-віртуальна маршрутна технологія). На підставі запроваджених понять розроблена схема проектування віртуального техпроцесу.



Мал. 6 ЛОГСТИЧНИЙ ГРАФІК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ (НЕВИЗНАЧЕННІСТІ) МЕТОДУ ПРОЕКТУВАННЯ

Морфологія деталі

**Етап 1.** Вияв морфології деталі. Ідентифікуються поверхні, їх тип і кількісні характеристики, встановлюється конструкторський пріоритет для кожної поверхні у системі всіх поверхонь деталі (по умовчання - по квалітету, шорсткості поверхні, точності її форми та розміщення, розмірам та ін. прийнятним конструкторським пріоритетам), наприклад, деяку деталь можна подати у зручній табличній формі, як в таблиці 1.

**Етап 2.** Інтерпретація морфології деталі у поверхневу технологію. Для кожної поверхні у порядку її конструкторського пріоритету, встановленого на етапі 1, вибираються на множині можливих технологічних станів поверхонь набір віртуальних ("зворотних") технологічних переходів для обробки цієї поверхні.

**Етап 3.** Перехід від конструкторських пріоритетів поверхневої технології до технологічних пріоритетів у стадійну (методну) технологію. В системі віртуального техпроцесу на перше місце висувається пріоритет методів механічної обробки (ПП), що характеризують технологічні переходи, обрані на етапі 2.

**Етап 4.** Перетворення стадійної (методної) технології у маршрутну. По ходу стадійного маршруту, починаючи із верху ієрархії технологічних переходів, заданою пріоритетами системи віртуального техпроцесу на етапі 3, (по умовчання - із самого точного методу обробки самого точного стану поверхонь самого малого розміру, що має найбільший пріоритет по іншим заданим ознакам) визначаються для кожного переходу технологічні бази, див. колонку Б1 в таблиці 2. Приймемо, наприклад, для масового виробництва, що в межах методу обробки встановлюється пріоритет схем базування. Припустимо, наведено певний набір технологічних переходів з етапу 2, який відповідає деталі і якщо технологічні переходи розташуються згідно принципів 3-го та 4-го етапів, тоді віртуальну маршрутну технологію можна побачити у вигляді як в таблиці 2. Для одиничного типу виробництва пріоритети можуть бути іншими, зокрема, схеми базування можна встановити першими.

**Етап 5.** Перехід від віртуального техпроцесу до реального. Всі переходи у віртуальній маршрутній технології нумеруються по порядку, а після цього по цим номерам ранжуються у зворотному порядку, внаслідок чого ми одержимо реальний маршрутний техпроцес механообробки.

Суть методу віртуального техпроцесу механообробки можна подати мнемонічною схемою через пріоритети техпроцесу, як на мал. 7.

Мета віртуального техпроцесу, як процедури, що проектує, зменшити невизначеність при проектуванні ТП. Проведені дослідження показали, що найбільша невизначеність виникає на перших етапах проектування техпроцесу аж до етапу складання маршруту. Формування операції вже в великій мірі залежить від конкретних виробничо-економічних умов, що не є предметом віртуальної технології по визначенню, крім того на наступних етапах, де розраховуються розмірні ланцюги, припуски, режими різання і т.і. мають місце

J	ТП	КВ	Ш	РЗ
13	ВЦ		2	8,00
6	НТ		20	26,00
8	НК		40	3,00
15	ВР		40	3,00
16	ВР		40	4,00
12	НФ		40	5,00
14	ВР		40	6,00
11	НФ		40	7,00
2	НЦ		40	30,00
5	НТ		40	30,00
7	НТ		40	30,00
9	ВК		40	32,00
1	НТ		40	35,00
3	НТ		40	35,00
10	НТ		40	40,00
4	НТ		40	138,00
17	НЦ		40	14,00

аналітичні залежності і невизначеність невелика. Тому застосування віртуального техпроцесу для проектування має смисл при розробці маршрутного техпроцесу, а при розробці операційної технології доречно скористуватися традиційним методом проектування, взявши за вихідні дані розроблений віртуальний техпроцес.

Таблиця 2

Такий *двонапрямковий* процес проектування дозволяє гнучко використати переваги обох методів проектування.

Проте, часто потреби виробництва в одиничному та мелкосерійному виробництві обмежуються саме розробкою техпроцесу механообробки у маршрутному виді, що слушно повністю розробляти по методиці віртуального техпроцесу. Логістичний графік розподілу невизначеностей при двонапрямковому методі проектування техпроцесу механообробки можна побачити на мал. 5.

Аналіз методики, що базується на концепції **ВТ** виявив декілька особливостей. Вона має додаткову гнучкість при проектуванні за рахунок можливості диференціації, як по стадіям, так і по методам обробки, враховувати тип виробництва, а також інтеграцію і диференціацію переходів в операції. Перехід від віртуального техпроцесу до реального може здійснюватися на будь-якій стадії віртуального техпроцесу.

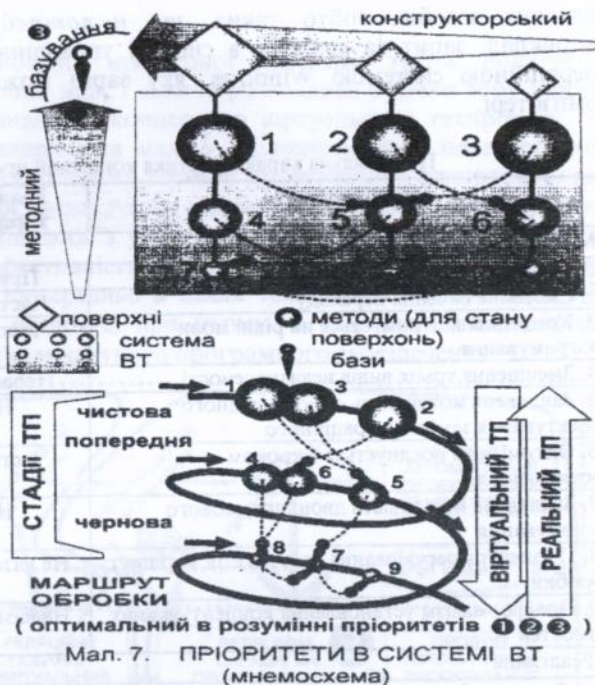
Крім того, системний аспект віртуальної технології при проектуванні проявляється у *системній оптимізації*, яка полягає в тому, що залежно від видової якості розглядаючи чи поверхневу технологію, чи стадійну або маршрутну технологію - ми *завжди* при проектуванні будь-який конкретний перехід розглядаємо у системі *всіх* переходів з врахуванням "вкладу" (пріоритету) конкретного технологічного переходу для *всього* техпроцесу механообробки. Така системна поява техпроцесу через призму системоутворюючих якостей, є оптимізуюча, бо "автоматично" формує маршрут обробки найкращий не для якогось окремого переходу, а із перспективи сукупності всіх переходів, тобто техпроцесу механообробки в цілому. Це означає, що оптимізація поєднана з власне проектуванням і виконується за один прохід з ним, а це значно прискорює проектування.

Віртуальна маршрутна технологія

ПП	НП	ВТ	П	КВ	Ш	Р	
10	РОЗВ_ТОЧН	5	ВЦ	13	7	2	8,00
11	РОЗВ_НОРМ	5	ВЦ	13	10	2	8,00
20	ЗЕНКЕР	5	ВЦ	13	12	20	8,00
20	ФРЕЗ_ЧИСТ	5	НТ	6	14	20	7,00
22	СВЕР	4	ВР	16	14	40	4,00
22	СВЕР	5	ВР	15	14	40	3,00
22	СВЕР	5	ВР	14	14	40	6,00
22	СВЕР	5	ВЦ	13	14	40	8,00
25	РІЗЬБ	4	ВР	16	14	40	4,00
25	РІЗЬБ	5	ВР	15	14	40	3,00
25	РІЗЬБ	5	ВР	14	14	40	6,00
30	ФРЕЗ	1	НТ	3	14	40	35,00
30	ФРЕЗ	3	НТ	1	14	40	35,00
30	ФРЕЗ	5	ВК	9	14	40	32,00
30	ФРЕЗ	5	НК	8	14	40	6,00
30	ФРЕЗ	5	НТ	6	14	40	7,00
30	ФРЕЗ	5	НТ	7	14	40	30,00
30	ФРЕЗ	5	НТ	10	14	40	40,00
30	ФРЕЗ	5	НТ	4	14	40	138,00
30	ФРЕЗ	5	НЦ	17	14	40	15,00
30	ФРЕЗ	5	НЦ	2	14	40	30,00
30	ФРЕЗ	10	НТ	5	14	40	30,00
30	ФРЕЗ	10	НФ	12	14	40	5,00
30	ФРЕЗ	10	НФ	11	14	40	7,00

Таким чином, згідно з метою роботи, а саме, розроблення ефективної інженерної методики проектування техпроцесу механічної обробки деталей, створена концепція ВТ, завдяки якій досягнуто поєднання неітераційного проектування з однопрохідною системною оптимізацією, яка допускає інтерпретацію у просту табличну форму, що дає технологам-практикам *формалізований* засіб *ефективної* розробки якісних техпроцесів. Разом з цим, ВТ на 1-му етапі не обмежує технолога типом деталі, на 2-у етапі дозволяє застосування знань по методах обробці притаманним конкретним умовам, на 3-у етапі дозволяє оцінити технологічні потреби і в разі необхідності скорегувати їх, на 4-у етапі дає змогу переоцінити пріоритети згідно вибраного типу виробництва, що робить ВТ достатньо *гнучким* до конкретних умов виробництва.

Все це разом дозволяє швидко, гнучко та якісно розробляти складні техпроцеси. Але є можливість ще значно покращити ці показники завдяки тому, що технологи-практики мають змогу *самостійно автоматизувати* проектування техпроцесу, бо у ВТ спеціально закладено єдину форму подання знань як з перспективи технології механообробки, так і з перспективи мови програмування SQL. Цілеспрямовано закладено таку форму подання знань, яка широко застосовується за допомогою декла-



Мал. 8. Графік відносної ефективності (реальної/виртуальної) концепції проектування на стани поверхонь

ративних засобів, тобто таких, що *не потребують програмування* (!), наприклад, запит за зразком в системі управління базами даних Access під операційною системою Windows, яку зараз можна зустріти на будь-якому комп'ютері.

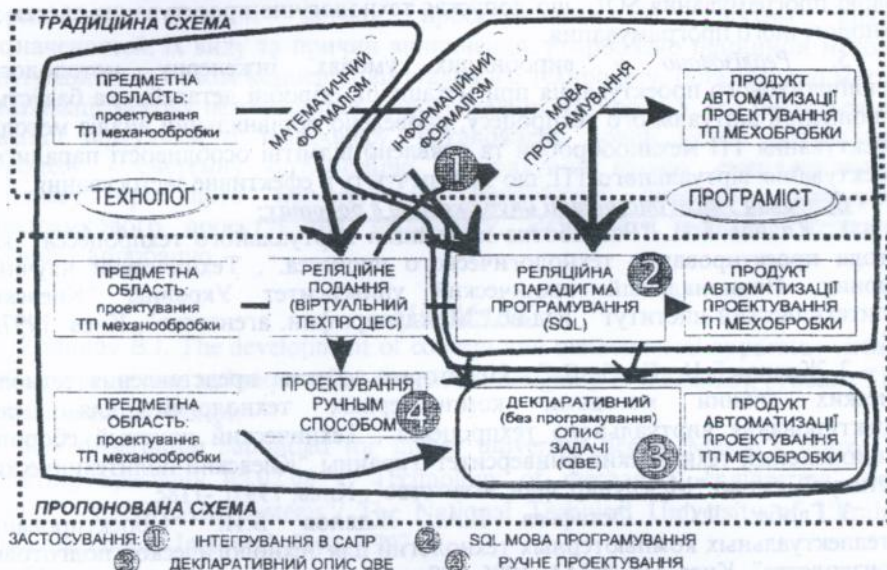
Таблиця 3

Порівняльна характеристика концепцій проектування

Характеристика	Реальний техпроцес	Віртуальний техпроцес
1.Методна		
1.2. Напрямок проектування	Прямий	Зворотній
1.2. Системне бачення переходу	Частково	Завжди
1.3. Концепція підтримується на рівні мови програмування	Частково	Завжди (SQL)
1.4. Зменшення трьох видів невизначеності	Ітераційно	Безпосередньо
1.5. Закладена можливість однопрохідного проектування замість ітераційного	Ні	Так
1.6. Оптимізація поєднується з кроком проектування	Частково	Спеціально урахована
1.7. Закладена можливість двонапрямового проектування	Ні	Так
1.8. Процедура регулювання пріоритетів маршруту обробки	Не визначено	Передбачено
1.9. Поліформалізм устанавлення концептуальних сутностей	Не визначено	Передбачено
2. Реалізація		
2.1. Формат області інтерпретації даних	Не обмовлено	Реляційне
2.2. Незалежність даних та програми	Частково	Так
2.3. Інструментальні засоби автоматизації проектування	Спеціальні	Спеціальні та стандартні SQL
2.4. Складність програмного коду	Велика	Мала
2.5. Переносимість даних	Частково	Стандартна реляційна
2.6. Формат даних встановлюється користувачем	Частково	Так
2.7. Склад атрибутів встановлюється користувачем	Частково	Так
2.8. Можливість ручного проектування формалізована	Частково	Так
2.9. Час проектування при аналізі варіантів станів поверхонь (див. Мал. 8)	Значно	Не значно
2.10. Навчання при автоматизації: необхідно знати спеціальну мову опису деталі	Так	Ні
2.11. Підтримка QBE-технології обробки даних	Частково	Так
2.12. Прискорення терміну проектування		в 2-3 рази

Для зрівняння методів проектування, можна привести графік на мал. 8 відносної ефективності віртуального техпроцесу механообробки по відношенню до реального техпроцесу механообробки при проектуванні станів поверхонь деталі залежно від числа накопичених альтернатив методів механічної обробки деталей на кожній стадії обробки та числа стадій (рівнів) обробки. Як можна побачити із графіку навіть при поєднанні щодо невеликого числа альтернатив і рівнів механічної обробки поверхні деталі помітна ефективність методу, що базується на ВТ. Загальну порівняльну характеристику методів можна привести у таблиці 3.

Ефективність запропонованої інженерної методики також полягає в єдності її змісту та форми. Якщо мал. 7 можна розглядати з точки зору змісту перетворень технологічних знань за концепцією віртуального техпроцесу, то форму перетворень можна навести на мал. 9. Цілеспрямоване перетворення, щодо поліпшення якості та скорочення терміну проектування техпроцесу, яке втілилось у неітераційну самооптимізуючу інженерну методичку проектування техпроцесу, одночасно проводилось з урахуванням такої реалізації методики, яка додатково посилює її ефективність завдяки можливості застосування на комп'ютерах, по-перше, безпосередньо в цехах технологами самостійно, без допомоги програмістів, та, по-друге, при цьому, з використанням широко доступного в цехових умовах стандартного програмного забезпечення



МАЛ. 9. СПОСОБИ ПРОЄКТУВАННЯ ТП ПРИ ТРАДИЦІЙНІЙ СХЕМІ ТА ПРОПОНОВАНОЇ СХЕМІ З ЗАСТОСУВАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛЬНОГО ТЕХПРОЦЕСУ

Втілення концепції віртуального техпроцесу у доступній формі практичної реалізації дає перспективи широкого впровадження у повсякденну технологічну практику двонапрямкової інженерної методики проектування техпроцесів.

### Загальні висновки

1. Розроблено нову інженерну методологію віртуального двонапрямового проектування техпроцесу механічної обробки деталі, яка ґрунтується на концепції віртуального техпроцесу, що забезпечує інтеграцію найкращих сторін двох альтернативних концепцій проектування техпроцесу (ТП), і може швидко та гнучко адаптуватися до виробничих змін, враховувати тип виробництва та спадкоємність технологічної практики, а також бути інваріантною до типу деталі.

2. Розроблено нову концепцію віртуального техпроцесу, як парадигму (схему) технологічного проектування механічної обробки деталей, яка дозволяє реалізувати неітераційне проектування інтегроване з однопрохідною системною оптимізацією, що забезпечує скорочування термінів проектування

ТП, поліпшення його якості і що допускає ефективне проектування як ручним способом, так і автоматизованим.

3. Визначено основні *принципи* методу проектування техпроцесу механооброки за допомогою віртуального техпроцесу, які дозволяють поєднати неітеративне проектування з однопрохідною оптимізацією ТП механооброки, використовуючи властивість емерджентності техпроцесу (його систему єдність) і інверсний напрям проектування, що істотно знижує інформаційну ентропію (невизначеність) методу проектування технології механооброки, і які дають змогу гнучко враховувати тип виробництва та бути незалежними від типу деталей.

4. Розроблено математичний *апарат*, що враховує системні властивості техпроцесу механооброки та формалізує метод проектування віртуального ТП таким способом подання технологічних знань, який підтримується ефективною мовою програмування SQL, що допускає технологічне проектування звести до технологічного програмування.

5. *Реалізовано* у виробничих умовах інженерну методологію двонапрямового проектування при механічній обробці деталей, яка базується на концепції віртуального техпроцесу, проведено порівняльний аналіз методик проектування ТП механооброки та виявлено відмітні особливості парадигми проектування віртуального ТП, що забезпечують її ефективне застосування.

**Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:**

1. Жданов Б.И. "Разработка концепции виртуального техпроцесса, как метода проектирования технологического процесса.", Технический научный сборник, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", изд-во "Международ. фин. агентство", Киев, 1997г.-118с

2. Жданов Б.И., Глоба Л.С. "Некоторые аспекты представления технологических знаний методами компьютерных технологий для целей проектирования виртуального техпроцесса", Технический научный сборник, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", изд-во "Международ. фин. агентство", Киев, 1997г.-118с

3. Глоба Л.С., Остафьев В.А., Жданов Б.И. "Проектирование интеллектуальных компьютерных технологий для технологической подготовки производства", Киев, НАУКМА, 1996, 198с.

4. Жданов Б.И., Глоба Л.С. "Опыт разработки и использования САПР ТП "Славутич" - Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства в машиностроении и судоремонте на базе ПЭВМ, Материалы конференции, Одесса, 1996г.

5. Звіт про науково-дослідні роботи "Розробка та впровадження програм проектування технологічних процесів виготовлення деталей складних геометричних форм". Держ. реєстрація за номером РК-0195U007114 від 12.06.96.

В роботах здобувачеві належить постановка задачі про віртуальний техпроцес; створення концепції, принципів, математичного апарату віртуального техпроцесу та інженерної двонапрямової методології проектування техпроцесів механооброки; розробка неітеративного способу проектування та однопрохідної системної оптимізації техпроцесу механооброки; проведення досліджень, експериментальної розробки програмного забезпечення та наведення їх результатів.

## АНОТАЦІЯ

Жданов Б. І. Розробка концепції, математичного апарату віртуального техпроцесу та заснованої на них методики двонапрямового проектування техпроцесів. Дисертація є рукописом.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.02.08 "Технологія машинобудування" та 05.13.05 "Системи автоматизованого проектування". Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ, 1997р.

Захищається концепція віртуального техпроцесу як метод проектування реального техпроцесу. Запропоновано методику вирішальних процедур для дослідження процесу проектування техпроцесу на предмет зменшення інформаційної ентропії методу проектування ТП шляхом вияву невизначеностей, їх виду та причин виникнення. Розроблено принципи методу проектування, на основі концепції віртуального техпроцесу. Встановлено метод формалізації методу неітераційного проектування техпроцесу, що базується на концепції віртуального техпроцесу. Встановлено новий метод оптимізації техпроцесу - системну оптимізацію, за рахунок прояву емерджентності техпроцесу при його проектуванні. Розроблено інженерну методику двонапрямового проектування техпроцесу. Результати роботи одержали виробничу апробацію.

## SUMMARY

Zhdanov B.I. The development of concept and mathematical apparatus virtual machining process as technique of bi-directional designing of machining process. The dissertation is manuscript.

The dissertation submitted for higher university degree Master's degree in engineering Speciality 05.02.08 - "Technology of mechanical engineering" and 05.13.05 - "CAD/CAM Systems"/ The National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnical Institute", Kyiv, 1997

The concept virtual machining process as the way of designing real machining process is protected. The technique of decisive procedures for researches of process of designing machining process for reduction entropy of method of designing machining process by means of revealing indefinites, their kinds and reasons of occurrence is offered. The principles of method of designing, based on concept virtual machining process are developed. The way formalisation of method of designing machining process without iteration, based on concept virtual machining process is established. The new way of optimisation machining process - system optimisation, for account emergence manifestation of machining process is established when its designing. The engineering technique of bi-directional designing machining process, based on concept virtual machining process is developed. The results of work have received the industrial approbation.

**Ключові слова:** проектування технології, проектування автоматизоване, технологія механобробки, технологія віртуальна, методика віртуального техпроцесу.



Підписано до друку 21.07.97р. Формат 60x84/16.  
Ум. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0.  
Наклад 100. Зам. 233.

Відділ оперативної поліграфії  
Центру Міжнародної освіти  
227-12-75, 227-37-86

433784

AB 38.289