

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ

На правах рукопису

УДК-658.512.011.06

КОРОВЕЦЬКИЙ
ЮРІЙ ПЕТРОВИЧ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ
БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО
ВИРОБНИЦТВА

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 05.02.08
Технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

Київ - 1993

№ 27.14

Роботу виконано у Луганському машинобудівному інституті

Офіційні опоненти

- 1. МИХАЙЛЕНКО ВІКТОР МЕФОДІЄВИЧ - доктор технічних наук, професор
- 2. СПИНУ ГЛЕБ ОЛЕКСАНДРОВИЧ - доктор технічних наук, професор
- 3. ТИМОФЕЄВ ЮРІЙ ВІКТОРОВИЧ - доктор технічних наук, професор

Ведуче підприємство ВО "Луганськтепловоз" м. Луганськ

Захист відбудеться " 17.05 1993 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 068.14.10. Київського політехнічного інститута за адресою: 252056, м. Київ, проспекта Перемоги, 37, корп. 1, ауд. 214.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інститута.

Автореферат розіслано " 9 " 04 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради, доктор технічних наук, професор

Н. С. РАВСКАЯ

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00803002 (D)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АНОТАЦІЯ

МЕТОЮ цієї дисертаційної роботи є розробка методологічних положень і вирішення комплексу завдань, що забезпечують на цій основі підвищення ефективності автоматизації організаційно-технологічної підготовки багатомономенклатурного виробництва, зростання продуктивності праці при створенні нової техніки на різних етапах її розробки, модернізації та експлуатації виробничих підрозділів машинобудівних підприємств.

Відповідно щодо поставленої мети сформульовано та вирішуються наступні задачі:

- представлення проблеми автоматизації організаційно-технологічної підготовки виробництва як систему з виділенням ознак та зв'язків на різних рівнях;
- аналіз вимог до упорядкування, ранжирування та класифікації деталей з позицій системного підходу;
- дослідження та визначення взаємозв'язків між номенклатурою деталей та устаткуванням на галузевому рівні та рівні окремих підприємств;
- визначення умов і факторів, які впливають на структурування, розташування та взаємодії виробничих підрозділів на різних рівнях;
- розробка принципів моделювання технологічних процесів складних об'єктів, які забезпечують описання на функціональному та параметричному рівнях з заданою точністю при прийнятних затратах машинного часу.

Автор захищає наступні основні положення та результати:

1. Комплексний підхід до розробки проблеми організаційно-технологічної підготовки багатомономенклатурного виробництва на базі: класифікації деталей за функціонально-структурним принципом, ранжирування та упорядкування деталей, вузлів як на галузевому рівні, так і на рівні окремих підприємств; методів розробки типажів, параметричних рядів основного та допоміжного обладнання за допомогою стохастичної моделі описання номенклатури деталей та структурно-логічної схеми синтезу; методів структурування виробничих підрозділів, вибору раціональних типів структур, просторового розташування і

взаємодії підрозділів на різних рівнях; моделювання технологічних процесів складних об'єктів з ієрархічними структурами.

2. Методику описання роботи складних об'єктів на функціональному рівні за допомогою ротаційних сіток.

3. Принцип моделювання: з використанням положень теорії подібності технологічних процесів з врахуванням випадкових відмов; у встановленому режимі роботи обладнання замість з відомим підходом побудування моделей за технологічним циклом; складних об'єктів з використанням аналогічних методологічних підходів на різних ступенях ієрархії; з фіксацією проміжних результатів по кожному ступеню ієрархії у вигляді апроксимуючих функцій з використанням їх при переході від одного ступеня до іншого, та без апроксимуючих функцій, з безперервним процесом розрахунку.

4. Наближену та більш точну методику розрахунку параметрів верстатних комплексів з врахування накопичувачів.

5. Методологічні положення, що були застосовані при моделюванні виробничих підрозділів з дискретним характером технологічних процесів, для моделювання безперервних процесів у пристроях, механізмах верстатних комплексів.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ. Багато завдань доводиться вирішувати людині у своїй практичній діяльності. Однак найважливішим з них, за словами відомого математика П.Л.Чебишева, є таке: "Як розпорядитись засобами своїми для досягнення по можливості більшої вигоди?"

Завдяки швидкому прогресу науки та техніки за останнє десятиріччя різко підвищилась складність, розміри та вартість реалізуємих проектів, підвищились вимоги до строків їх розробки та реалізації. Все це висуває задачу удосконалення методів та засобів організаційно-технологічної підготовки виробництва (ОТПВ). Для того, щоб методи ОТПВ були ефективними, необхідно автоматизувати етапи її розробки.

Необхідність розвитку автоматизації гостро відчувається при вирішенні завдань організаційно-технологічної підготовки багатонаменклатурного виробництва. Складні автоматизовані

системи АСНІ, САПР, САПРТП, АСПВ, АСУТП та інші, які розроблені сьогодні, відбивають лише окремі сторони розробки нової техніки та експлуатації засобів виробництва; часто-густо вони розвиваються відокремлено, незалежно один від одного. Подібні об'єкти розробляються з метою удосконалення єдиного виробничого механізму, а технічну основу їх створення складає автоматизація у всіх її виявленнях стосовно видань, технологічних процесів, проектних робіт, управління.

Важливим завданням розвитку організаційно-технологічної підготовки багатонаменклатурного виробництва є необхідність на ранніх стадіях розробки виробів проводити оцінку техніко-економічних показників різних варіантів їх виготовлення, вибрати з них раціональні, добиваючись гармонійної єдності між процесами створення виробів, машин, обладнання та технології їх виготовлення.

Це у свою чергу зумовлює ряд проблем, які виникають при автоматизації ОТПВ:

- методи розробки оперативного-календарних планів запуску деталей, виробів у виробництво та математичне забезпечення оперативного управління технологічними процесами;

- оптимізація обсягів незавершеного виробництва на між-дільничому, міжцеховому рівнях та місткість складських приміщень;

- оптимізація технологічних циклів виконання планових завдань підрозділами підприємств і в цілому підприємствами;

- створення інтегрованої автоматизованої системи проектування та розробки технології виготовлення деталей та складних виробів.

Слід відзначити, що недостатньо високий рівень розвитку технології моделювання приводить до високих затрат інтелектуальної праці і машинного часу при розробці моделей, хоча якісно виконані моделі практично завжди дуже швидко себе виправдовують, приносять значний економічний ефект.

Одним із завдань є подальший розвиток технології моделювання технологічних процесів, досягнення тісного взаємозв'язку між концептуальним підходом до процесу розробки моделей і технологією моделювання.

Одже, практична потреба цих задач зумовлює актуальність дисертаційної роботи.

НАУКОВА НОВИЗНА полягає в розробці комплексного підходу у вирішенні проблеми автоматизації організаційно-технологічної підготовки багатонomenclатурного виробництва, яка має важливе народно-господарське значення, і вирішенні комплексу завдань, що забезпечують на цій підставі підвищення ефективності, зростання продуктивності праці при створенні нової техніки на різних етапах її розробки, модернізації та експлуатації виробничих підрозділів машинобудівних підприємств. Це знайшло відбиття у створенні сукупності методів упорядкування, ранжирування, широкої номенклатури деталей та їх класифікаторів, структурування виробничих підрозділів, синтезу верстатних комплексів на підставі встановлення відповідності між предметами та засобами праці, моделювання складних об'єктів з ієрархічними структурами з метою прогнозування техніко-економічних показників.

Для вирішення цієї проблеми виконано:

- на підставі аналізу сучасного стану проблеми класифікації деталей, методів їх створення розроблені методологічні предбачення класифікації деталей за функціонально-структурним принципом, в основу якого покладено подання деталей у вигляді множини елементарних поверхней, їх наборів, які виконують конкретні функції, а не абстрактних геометричних поверхней, які не несуть ніякого функціонального навантаження;

- для розробки типажів, параметричних рядів основного та допоміжного обладнання запропонована стохастична модель описання номенклатури деталей (на галузевому рівні), яка базується на їх поданні у вигляді генерованої множини гіпотетичних деталей, що складаються з деякого набору їх ознак;

- запропонована структурно-логічна схема синтезу основного та допоміжного обладнання, верстатних комплексів, механізмів і машин з поданням об'єктів у вигляді систем з ієрархічними структурами, що мають певні цілі і виконують відповідні функції на кожному ступені ієрархії, реалізація яких може здійснюватися за допомогою відповідних класифікаторів способів та засобів;

- розроблена методика структурування виробничих підрозділів, у відповідності з якою визначені типи структур (з незалежно працюючими позиціями, сітковий, - лінійні структури як приватний випадок сіткового типу структур, - просто-

ровий). Запропоновано метод оцінки зв'язків між елементами сіткових структур, межі переходу від одного типу структур до іншого;

- на підставі аналізу існуючих методів описання процесів в системах на функціональному рівні (сітки Петрі та їх розширення, ЕД-діаграми, Комбі-сітки та інші) запропонована методика описання роботи складних об'єктів за допомогою ротаційних сіток, які поліпшують наочність картини подій, що відбуваються в системах, підвищують можливості формалізації вибору зв'язків між взаємодіючими блоками і тим самим полегшують розробку алгоритмічного та програмного забезпечення;

- проведено певну роботу в напрямку розвитку технології моделювання складних об'єктів з дискретним характером технологічних процесів, розроблено єдині методологічні принципи моделювання складних об'єктів на різних ступенях ієрархії. Поряд з відомим підходом побудови моделей за технологічним циклом запропонована методика побудови моделей в режимі об'їзду, що встановився, а це значно знизило трудомісткість розробки моделей, підвищило ефективність процесу моделювання для прогнозування техніко-економічних показників різних об'єктів.

З метою підвищення точності розрахунків при моделюванні запропоновано використовувати принцип подібності технологічних процесів з урахуванням випадкових відмов. Знайдені закономірності зміни дисперсії вихідних параметрів від масштабного фактору дають можливість керувати ступенем точності без використання додаткових методів статистичної обробки результатів. Розроблено методику моделювання з фіксацією проміжних результатів за кожним ступенем ієрархії у вигляді апроксимуючих функцій та з безперервним процесом розрахунку без апроксимуючих функцій. В останньому випадку підвищується точність вирішення завдання.

Показано вплив зворотнього параметричного зв'язку на чутливість моделі до зовнішніх дій, дано рекомендації до вибору величини тимчасових інтервалів, що забезпечують більш високий ступінь адекватності моделі технологічним процесам, які відбуваються в системі. Визначено взаємозв'язок між величиною тимчасового інтервалу при моделюванні технологічних процесів та інерційністю розрахунку.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Для вирішення поставлених завдань на підставі системного підходу використано методи теорії імовірності, теорії марковських випадкових процесів, теорії масового обслуговування, визначення надійності і продуктивності, математичної статистики; лінійного програмування, системного аналізу та синтезу, операційного обчислення, чисельного аналізу, апроксимації функцій, імітаційного моделювання, аналітичної механіки та ін.

Експериментальні дослідження проводилися у виробничих умовах на обладнанні, що випускається серійно, з наступною статистичною обробкою результатів.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.

Результати виконаної роботи знайшли практичне застосування на різних етапах проектно-конструкторських робіт при розробці нових виробів, а також при експлуатації існуючих виробничих підрозділів:

- методика розрахунку параметрів пневмоприводу для гірничих машин на базі принципів подібності застосована для розробки параметричного ряду і разом з винаходами [24, 25] впроваджені в типаж пневмодвигунів на заводі ім. Петровського, м. Дзержинськ;

- методика формування компоновочних рішень переналаджуваних ліній, гнучких верстатних комплексів; побудована на базі стохастичної моделі описання номенклатури деталей на галузевому рівні, а також структурно-логічної схеми синтезу верстатних комплексів, була впроваджена проектно-технологічним бюро (МКТБ, м. Москва, Мінрадіопром) на підприємствах м. Ульяновська, м. Загорська;

- роботи по удосконаленню підсистеми проектування технологічних процесів обробки корпусних деталей і типу "тіло обертання" проводились і впроваджені на заводах електронного машинобудування (м. Луганськ), Ленінградському заводі технологічного обладнання (ЛЗРТО, м. Санкт-Петербург); машинобудівному заводі м. Йошкар-Ола;

- методи описання номенклатури деталей та їх ранжирування, підсистема автоматизованого проектування технологічних процесів обробки деталей використані конструкторсько-технологічним бюро "Традієнт" (м. Донецьк) при розробці

інтегрованої системи автоматизованого проектування виробів;

- пакет програм моделювання гнучких виробничих систем розроблено на замовлення проектно-технологічного інституту (ПТІМАШ, м. Луганськ) і використано для прогнозування техніко-економічних показників ряду машинобудівних підприємств;

- пакет програм математичної моделі оперативного управління гнучкою виробничою системи було розроблено на замовлення верстатобудівного заводу (м. Луганськ) і використано при розробці математичного забезпечення гнучкої виробничої системи.

Результати дослідження захищені п'ятьма авторськими свідоцтвами.

Загальний економічний ефект від впровадження розробок становить 450940 карб.

Результати досліджень, виконані в дисертаційній роботі, використані в учбовому процесі при навчанні студентів за спеціальностями 21.03 та 12.01 (ЛМБІ, м. Луганськ).

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ. Основні положення та результати дисертації докладалися понад 20 разів на міжнародних, всесоюзних та республіканських конференціях та семінарах, в т.ч. міжнародна конференція "Infert-82. Industrielle Fertigung auf dem Wege zur Automatisierung" (м. Дрезден, ДДР, 1982); всесоюзна науково-технічна конференція "Проблеми створення гнучких виробничих систем при впровадженні безлюдної технології в промисловості" (м. Москва, 1983); всесоюзна науково-технічна конференція "Проблеми обробки деталей машинобудування на верстатах з ЧПУ" (м. Свердловськ, 1983); всесоюзна науково-технічна конференція "Технологічні шляхи економії трудових і матеріальних ресурсів та інтенсифікація виробництва у приладобудуванні" (м. Суздаль, 1983); республіканська науково-технічна конференція "Роботехнічні системи для промислових технологічних процесів" (м. Луганськ, 1985); республіканська науково-технічна конференція "Проблеми автоматизації переналагоджувальних виробництв в машинобудуванні" (м. Волгоград, 1988); республіканська науково-технічна конференція "Удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей машин" (м. Курган, 1991); науково-технічні конференції Луганського машинобудівного інституту (1980 ... 1992).

Дисертаційна робота в цілому розглянута і схвалена на засіданні кафедри "Автоматизація виробничих процесів" Луганського машинобудівного інституту (1993).

ПУБЛІКАЦІЇ. За результатами досліджень опубліковано 27 наукових робіт, в т.ч.: одна монографія, дві книги (на депонуванні) п'ять авторських свідоцтв.

СТРУКТУРА І ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертація складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури з 171 найменувань та додатку.

Робота має 289 сторінок машинописного тексту, 62 малюнки, 1 таблицю. Загальний обсяг роботи становить 355 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ. Для сучасного машинобудівного виробництва одною з головних проблем стала проблема підвищення гнучкості, тобто здатність до зміни продукції, що випускається, без зупинки самого виробництва, швидкому та беззбитковому переходу на випуск нових виробів.

Ця глобальна проблема породжує цілий комплекс завдань, вирішення яких повинно здійснюватися в межах єдиного системного підходу. У вступі обгрунтована актуальність розглядуваної проблеми, нерозривно зв'язаної з подальшим прогресом виробництва.

З одного боку, її рішення базується на фундаментальних дослідженнях, великий внесок в розвиток яких зробили роботи відомих вчених Глушкова В.М., Гнеденка А.С., Мура Ф.А., Пітерсона Дж., Форрестера Дж., Шеннона Р. та ін.

З іншого боку подальше вирішення проблеми з прикладною спрямованістю можна знайти у працях Вусленка Н.П., Горанського Г.К., Гавриша А.П., Калашникова В.В., Макарова І.М., Ямпольського Л.С., Мітрофанова С.П., Волчкевича Л.І., Шаумяна Г.А., Кусова І.А., Султан-Заде Н.М., Хартлі Дж. та ін.

Значна увага в роботі приділяється загальній характеристиці структури автоматизованої системи організаційно-технологічної підготовки виробництва (АСОПВ), її особливостям, взаємозв'язкам між різними етапами робіт, визначається можливість одержання комплексної оцінки нової техніки на стадії

II проектування, раціоналізації функціонування виробничих підрозділів при її експлуатації.

Комплекс завдань АСОПІВ розглянуто на двох рівнях: галузевому та рівні окремих підприємств. На галузевому рівні розв'язані завдання упорядкування, класифікації, раціоналізації деталей, формування типових компоновочних рішень модулів технологічних операцій, розробка типажу (параметричного ряду) основного та допоміжного обладнання.

На рівень окремих підприємств винесено питання структуризації виробничих підрозділів, технологічної підготовки виробництва, раціоналізації та оптимізації пошуку типів структур і конкретних структур виробничих підрозділів, оптимізації просторового розташування обладнання, формування компоновочних рішень, розробка математичних методів та програмного забезпечення календарного планування та ін. Для прогнозування техніко-економічних показників виробничих підрозділів на різних етапах їх створення та впровадження передбачена розробка моделей функціонування як окремих підрозділів, так і підприємства в цілому. Ці моделі можуть бути використані для підвищення ефективності проектних робіт, оперативного управління, прийняття рішень в різних виробничих ситуаціях та ін.

Визначаючими факторами при виборі ступеню гнучкості обладнання є номенклатура та програма випуску деталей. Чим різноманітніші властивості деталей, тим більшу гнучкість повинно мати обладнання, що обробляє ці деталі. Гнучкість верстатних комплексів характеризується адаптаційними властивостями елементів та систем в цілому, ефективно виконувати технологічні функції при зміні зовнішнього впливу.

Кількісна оцінка ступеню гнучкості обладнання дана за допомогою параметру C_g :

$$C_g = \frac{n}{i-1} \sum_{i=1}^n (P_i/P_{\max})$$

де: n - множина параметрів, що забезпечують відповідність номенклатури деталей та обладнання; P_i - фактичне значення i -го параметра; P_{\max} - максимальне значення i -го параметра, одержане при оцінці номенклатури деталей.

Можна визначити середнє значення C_{cp}

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\text{в}}/n = \sum_{i=1}^n (P_i/P_{\text{max}})/n$$

Ця величина змінюється від значень, близьких до 0 до 1. Чим ближче до 1 значення $C_{\text{ср}}$, тим більше можливостей у даного обладнання обробляти розглядуваний діапазон номенклатури деталей.

Для характеристики основного та допоміжного обладнання, верстатних комплексів введено визначення потрібної, очікуваної та фактичної гнучкості. Потрібна гнучкість характеризується множиною діапазонів параметрів, одержаних при аналізі існуючої номенклатури деталей. Очікувана гнучкість відповідає розрахунковому значенню на стадії проектування верстатних комплексів для обробки заданої номенклатури деталей. Фактична гнучкість визначається в умовах експлуатації при обробці реальної номенклатури деталей. Можна визначити ступінь недостатньої або надлишкової гнучкості. Для умов галузі необхідно сформулювати економічно обґрунтований типаж обладнання на всю номенклатуру деталей в галузі, а для конкретних підприємств - обирати обладнання з типажу з достатньою гнучкістю та ефективністю.

Виникає завдання пошуку оптимального ступеню гнучкості обладнання (наприклад, за економічними критеріями). Доцільно встановити закономірності зміни ступеню гнучкості обладнання в залежності від прогнозованої номенклатури та визначити межі раціонального ступеню гнучкості.

Проблема управління процесом автоматизації організаційно-технологічної підготовки віднесена до проблем аналізу та вирішення управлінських ситуацій.

Розробку технологічних модулів розкрито як двоетапний процес. Аналізуючи особливості системного підходу стосовно розглядуваних машинобудівних об'єктів, виробничий комплекс підприємства подано у вигляді ієрархічної структури. Важливим питанням є вибір кількості ступенів ієрархії. Перехід від одного ступеня до іншого при проектуванні системи повинен здійснюватися в процесі виникнення якісних змін, які викликають появу функціональних особливостей, обумовлюючи потрібні властивості системи. Взаємояки на кожному ступені повинні описуватись однотипно, щоб зберігти модульний

принцип побудови математичної моделі. Оскільки кількість ступенів - визначаючий фактор ускладнення вирішення завдання, цю кількість необхідно вибирати мінімальною, але такою, що забезпечує задану точність вирішення. Мінімальна кількість ступенів при оцінці властивостей моделі на одному рівні - три.

Для вибору раціональних варіантів компоновочних рішень як окремих видів обладнання, так і верстатних комплексів, широкого застосування модульного принципу формування конструкції машин, пристроїв запропоновано методику розробки моделі з використанням структурно-логічної схеми (СЛС). СЛС можна уявити у вигляді ієрархічної структури з зв'язками як всередині кожного ступеню, так і між ступенями. Кожний спосіб являє собою взаємопов'язані набори класифікаторів способів та засобів їх взаємодії, які відповідають ознакам вихідних даних та інших елементів системи, що мають зв'язки з елементами даного ступеню.

В СЛС відбито такі рівні переходів на кожному ступені: ціль → функція → способи та засоби, що реалізують дану функцію → параметри та зв'язки. Кожна ціль може бути досягнена за допомогою різної кількості функцій, а кожна функція - шляхом використання множини способів та засобів. Оскільки є можливість одержання більшої кількості варіантів способів та засобів, за допомогою яких може бути здійснена деяка функція, необхідні класифікатори способів та засобів. Розробка класифікаторів - етап творчої праці конструктора та технолога. Завдання полягає в обґрунтуванні мінімальної кількості характеристик, параметрів елементів об'єкту, достатніх для вирішення завдання. Кількість характеристик елементів багато в чому визначає в подальшому розмірність завдання.

Кожний ступінь ієрархії СЛС реалізує свою ціль, яка забезпечує потрібну спрямованість дій для одержання кінцевого результату, а також визначає склад способів та засобів здійснення взаємозв'язків елементів даного ступеню. Цілі ступенів ієрархії взаємопов'язані (має місце визначена система цілей), однак поєднання критеріїв, що характеризують оптимальний варіант рішення для ступенів, може розрізнятися. В дисертації наведені приклади реалізації деяких класифікаторів: класифікатору сторонності обробки деталей, класифіка-

тору відносних рухів в системі "інструмент-заготовка" при фрезеруванні, класифікатору затискових пристроїв для токарних операцій та ін.

При аналізі систем ступені ієрархії розглядаються в послідовності: від складного до простого, при синтезі - від простого до складного. Кількість ступенів в схемі визначається числом рівней якісних змін при переході від одного ступеню до іншого та залежить багато в чому від постановки завдання. В деяких випадках можливе об'єднання двох та більше ступенів в один, якщо елементи цих рівней визначені за кількісним та якісним складом і при вирішенні завдання вводяться як вихідні дані.

В результаті роботи з СЛС утворюється множина варіантів рішення завдання. Необхідно вибрати критерії оцінки варіантів і визначити з них оптимальні для конкретних умов.

Завдання формування варіантів модулів технологічних операцій для машинобудівних підприємств запропоновано в два етапи: на галузевому рівні та рівні окремих підприємств. В першому випадку деталі формуються з використанням стохастичної моделі генеруванням у вигляді наборів ознак, представлених відповідними розподіленнями.

Кожна генерована деталь являє собою множину функціональних блоків елементарних поверхней (ЕП). Для кожного блоку ЕП формуються варіанти модулів технологічних операцій у відповідності з СЛС. Таких варіантів може бути кілька, тому для обробки кожної деталі можуть бути використані різні набори технологічних модулів в залежності від складу функціональних блоків ЕП. Частота зустрічностей модулів технологічних операцій для упорядкованої множини блоків ЕП характеризує доцільність багатократного використання того чи іншого рішення. Для переваги одних варіантів та відмови від інших треба ввести критеріальні оцінки. При застосуванні даної методики було використано метод оцінки переваг.

Як ступінь корисності оцінки роботи модулів було прийнято відносну кількість корисної продукції, одержаної за деякий період його роботи. "Вага" кожного варіанту - відносна величина, зворотня частці витрат на виконання роботи протягом прийнятого періоду. Відібрані переважні варіанти модулів для кожної деталі піддавались статистичній обробці. Резуль-

тати відбиралися у вигляді відповідних гістограм. Проводилося ранжирування різних видів обладнання за частотою зустрічності та формувалися пропозиції стосовно розробці типу обладнання, необхідного для обробки широкої номенклатури деталей.

Для умов підприємств замість стохастичної моделі достатньо використовувати детерміновану модель номенклатури деталей. При вирішенні одного з конкретних завдань пошуку типових компоновочних рішень верстатних ліній достатньо було генерувати близько 500 деталей, щоб врахувати властивості номенклатури деталей з кількох тисяч найменувань.

Значна увага приділяється змісту взаємодії підсистем номенклатури деталей та верстатних комплексів як єдиної системи. Показано, що існуючі класифікатори деталей, розроблені за структурними ознаками, мають ряд недоліків. В основу класифікаційного словника первинних структурних елементів деталей машин покладені геометричні параметри, що визначають закони формування поверхней. Іноді деталі розглядаються як геометричні тіла, які можуть бути описані математичними методами. Однак при обох підходах випускається з виду призначення деталей та їх елементів, функціональні особливості.

Запропоновано розглядати кожен деталь як підсистему системи машин, механізмів та інші, застосовуючи до описання системні поняття: цілі, функції, способи та засоби реалізації функцій, параметри взаємозв'язків на відповідних ступенях ієрархії. Кожна деталь складається з множини елементарних поверхней (ЕП), наборів ЕП, блоків наборів ЕП і інші - в залежності від ступеню їх складності.

Елементарні функціональні поверхні утворюються з однієї або кількох геометричних поверхней, за допомогою яких реалізується простіша функція, що відповідає досягненню деякої цілі. Для взаємозв'язку функціональних поверхней можуть використовуватися допоміжні поверхні, які безпосередньо не беруть участі у виконанні функції. Як приклад, можна навести набір ЕП, що визначає положення підшипникового вузла або фіксує положення сполученої деталі та ін.

Функціонально-структурний принцип класифікації деталей дає можливість:

- уявляти деталі як взаємопов'язані множини ЕП та їх

блоків, що виконують певні функції;

- розробити класифікатори наборів ЕП та їх блоки, мати можливість синтезувати деталі на функціональному рівні з наборів ЕП та їх блоків;

- використовувати єдиний принцип описання деталей при проектуванні машин, пристроїв та при створенні гнучких виробничих систем, РТК, ліній;

- ранжувати номенклатуру деталей різної розмірності для пошуку раціональних меж їх обробки на верстатних комплексах;

- розробляти типові схеми верстатних комплексів для обробки деталей широкої номенклатури;

- прогнозувати подальше удосконалення конструкторсько-технологічних особливостей номенклатури деталей;

- раціонально розподіляти функції між окремими деталями у вузлах, блоках, механізмах, оптимізувати ступінь складності деталей за деякими ознаками.

Функціонально-структурний аналіз деталей дозволяє виділяти еквівалентні класи деталей та їх окремі елементи. З'являється можливість упорядкування деталей та їх елементів на різних ступенях ієрархії та подальшого використання передічених переваг для проектування технологічного обладнання, верстатних комплексів.

Для формування компоновочних рішень верстатних комплексів, виконання проектно-конструкторських робіт по створенню типажів основного та допоміжного обладнання необхідно враховувати властивості номенклатури деталей великої розмірності.

Використання детермінованої моделі номенклатури деталей в цьому випадку практично неможливе - модель виходить занадто складною. Більш придатною є стохастична модель, яка утворюється на визначенні імовірностних оцінок характеристик деталей, поданих у вигляді гістограм розподілення. Кількість таких характеристик велика, і чим більше їх враховується в розрахунках, тим точніше результати. Однак програючи у часі і витратах на виконання цієї роботи, необхідно одержати достатньо високу точність вирішення завдання, яка б відповідала вимогам до якісних показників системи. Тому слід прагнути до вибору мінімальної кількості характеристик, параметрів, які б забезпечили достатньо високий ступінь точності.

З урахуванням одержаних статистичним шляхом гістограм генеруються деталі у вигляді наборів ознак, які хоча і видаються по ЕОМ як випадкові числа, однак у відповідності з частотою зустрічності тієї чи іншої ознаки. Таким чином, замість характеристик конкретних деталей використовуються набори характеристик "нереальних", гіпотетичних деталей, що мають ознаки реальних деталей у відповідності з гістограмами розподілень.

Запропоновано методику ранжирування деталей за кількістю функцій, що реалізуються в них, та їх частоти зустрічності, яка може бути застосована на галузевому рівні. Однак на рівні окремих підприємств необхідно вводити деякі кількісні оцінки різних деталей. Запропонован критерій, що враховує відносну трудомісткість обробки ЕП деталей та частоту їх зустрічності.

Використання запропонованих критеріїв в ранжируванні деталей дає можливість розробити галузеві каталоги деталей з рекомендаціями вибору методів обробки при рівних умовах. Оцінюючи статистичні дані і тенденції розвитку верстатного обладнання та конструкції виробів, машин, можна прогнозувати функціональні зміни номенклатури деталей, визначати доцільну ступінь складності деталей, раціональні сполучення наборів та блоків ЕП.

Розроблено методику структурування верстатних комплексів. Введено параметр - коефіцієнт зв'язності C_2 , який визначається як середня кількість зв'язків, що припадають на одне робоче місце (дільницю). Визначено типи структур: з незалежно працюючими позиціями, сітковий (лінійні структури входять до сіткового типу структур) та просторовий тип структур. Для сіткового типу структур визначено типові модульні схеми розташування об'єктів з різним ступенем щільності. Побудовані криві, що характеризують мінімальні значення C_2 в залежності від кількості робочих місць, та частку зайнятості зв'язків, вони вибору різних типів структур. Запропоновано методику вибору типу структури, оптимізації просторового розташування обладнання за критерієм транспортних витрат.

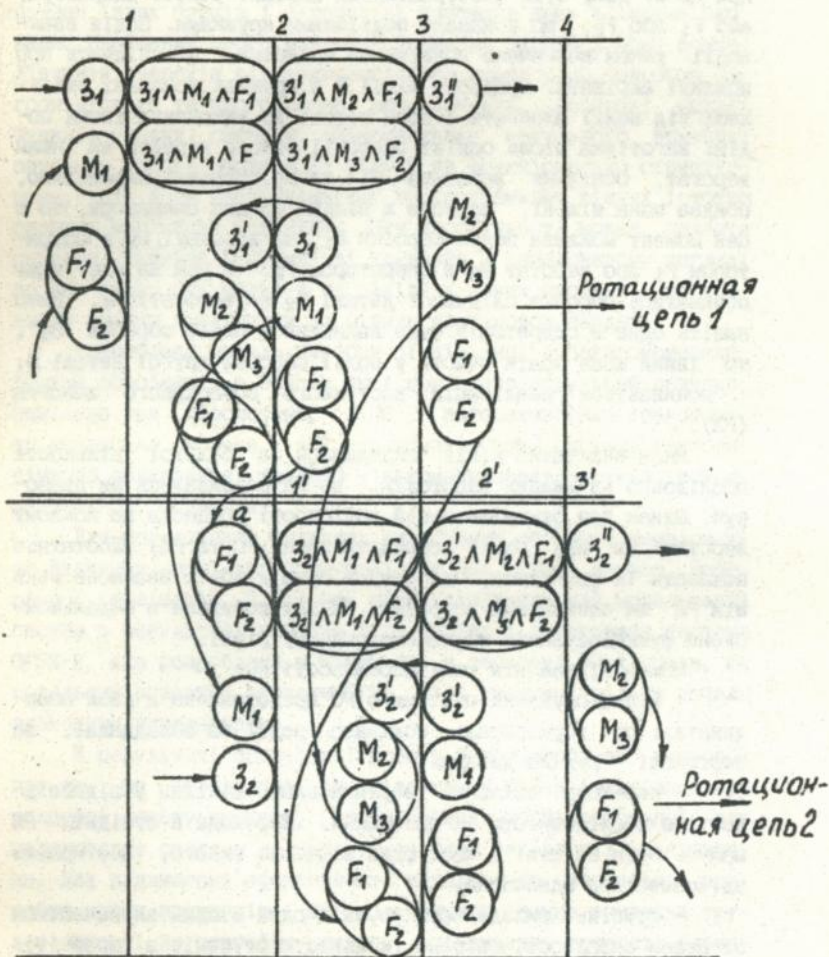
В роботі запропонован метод описання функціонування верстатних комплексів за допомогою ротаційних сіток. Подані

моделі системи на ранньому етапі розробки у вигляді функціонально-структурної схеми дають великі можливості для формалізації описання процесів. Важливим завданням є відшукання зв'язків між функціонально-структурним та параметричним моделями, що забезпечують швидкий та найбільш простий перехід до розробки програм на ЕОМ.

Більшість існуючих функціональних моделей об'єктів не зовсім відповідають вирішенню даного завдання. В дисертації проведено аналіз особливостей агрегативних моделей, сіток Петрі та їх розширень, Е-сіток, Комбі-сіток. В одних випадках розглянуті моделі розроблялися для описання паралельних процесів, що протікають в системі незалежно один від одного, але не відбирають ходу часу. В більшості випадків при побудові сіток втрачається наочність уявлення взаємозв'язків у складних ієрархічних структурах, утруднюється процес формалізації вибору типових блоків для подальшої їх реалізації на алгоритмічному та програмному рівнях.

Для усунення цих недоліків застосовані ротаційні сітки. Ротаційні сітки (РС) мають той же набір мовних засобів, що і сітки Петрі: поділ, умови переходу, переходи. Однак є і різниця: РС складається з ротаційних ланцюгів (РЛ). Кожен ротаційний ланцюг описує поділ, пов'язаний з обробкою окремих деталей (груп деталей), і відокремлюється один від одного за рівнями. Переходи з одного стану до іншого відокремлюються вертикальними лініями. Кружки з позначенням структурних елементів відбивають стан цих елементів або їх взаємодію (поділ). Якщо кружки з позначеннями елементів дотикаються вертикальних ліній зліва, вони являють собою умови, необхідні для здійснення переходу до нового стану. Якщо такі кружки стосуються вертикальної лінії праворуч, в них відбито результат чергового переходу. Альтернативні стани або поділи відбиваються у вигляді кружків в загальному крузі.

На мал. 1 представлена ротаційна сітка, що відбиває функціонування верстатного комплексу, який складається з трьох верстатів: M_1 , M_2 , M_3 . Верстати M_2 та M_3 працюють в паралельному режимі, верстат M_1 пов'язан послідовно з верстатами M_2 та M_3 . Комплекс обслуговують два оператори F_1 та F_2 , причому оператор F_1 може обслуговувати верстати M_1 та M_3 , а оператор F_2 - верстати M_1 та M_2 . Кружки з Z_1 , M_1 та F_1



Мал. 1. Ротаційна сітка для верстатного комплексу.

або F_2 , що дотикаються вертикальної лінії 1, говорять про те, що для події, при якій відбулася б взаємодія заготовки з верстатом за участю оператора, необхідні ці три елементи. При цьому могут бути альтернативний варіант участі оператора: або F_1 або F_2 , що показано подвійними кружками. Подія взаємодії також позначена подвійними кружками, що свідчить про можливі варіанти. Праворуч лінії 2 в кружках показані звільнені від події елементи і вони готові до виконання інших подій: заготовка після однієї операції готова перейти на інший верстат. Оскільки верстати M_2 та M_3 працюють паралельно, обидва вони вільні, до того ж вільні обидва оператори, то в цей момент можлива подія обробки Z_1' на верстаті M_2 з оператором F_1 або верстат M_3 з оператором F_2 . В цей же час може починатись обробка наступної деталі Z_2 на верстаті M_1 . Якщо навіть один з операторів буде зайнятий у події обробки Z_1' , то інший може брати участь у події обробки другої деталі Z_1 - починається реалізація наступного ротаційного ланцюга (РЛ).

Якби верстатна лінія складалася з більшої кількості послідовно зв'язаних верстатів, то РЛ розвивались би праворуч. Однак при функціональній подібності процесів на кожному верстаті не має рації зображати повні РС та РЛ. Достатньо показати їх фрагменти, де можуть бути відбиті взаємозв'язки між РЛ та елементами всередині РЛ для побудови в подальшому схеми функціонування на параметричному рівні.

Можна відзначити такі особливості РС:

- функціонування системи в РС представлено в двох координатах: по горизонталі показано події на обладнанні, по вертикалі - рух по деталях;

- переходи показані вертикальними лініями у відповідності з послідовністю їх виконання. Переходи в сусідніх РЛ можуть бути зміщені в часі один відносно одного, або можуть здійснюватись одночасно;

- ступінь вкладеності кружків один в один визначаються ступенем складності системи, кількістю ступенів в ієрархії;

- події, що відбуваються в більш низьких ступенях ієрархії, при переході до більш високих ступенів можуть бути представлені окремими РЛ або РС з відповідною вкладеністю кружків.

В роботі дані різні приклади описання функціонування верстатних комплексів за допомогою РС. Важливим питанням при побудові РС є виділення типових блоків РЛ (РС), які б мали ознаки інших блоків і відповідні взаємозв'язки з іншими блоками. Вирішення цього завдання дозволяє багато в чому формалізувати перехід від технологічного процесу до розробки алгоритмічного та програмного забезпечення, побудові моделі функціонування системи. Використання модульного принципу описання роботи системи не тільки на функціонально-структурному, але й на параметричному та програмному рівнях істотно спрощує вирішення завдання. При необхідності можна скласти каталог типових модулів для введення у закодованому вигляді до ЕОМ ознак цих модулів та вихідних даних системи, що дозволяє швидко переходити до різних постановок завдань.

Розроблено модель виробничої дільниці з багатонаменклатурною обробкою, в основу якої покладено модульний принцип. Виділено три підсистеми: АТСС - автоматизована транспортно-складська система, АСТ - автоматизована система технологічного обладнання та АСІО - автоматизована система інструментального оснащення.

Для моделювання складних виробничих об'єктів немало важне значення мають застосовувані для цих цілей засоби програмної реалізації. З відомих спеціалізованих для моделювання систем в результаті аналізу була обрана і адаптована система GPSS-F, яка розроблена в Німеччині в середині 80-х років, як подальший розвиток системи GPSS, і в практиці тільки почала знаходити впровадження.

В результаті проведеної роботи було зроблено висновок про те, що незважаючи на підвищення рівня інтеграції при розробці пакету програм, використання спеціалізованої для моделювання системи не вирішує проблем технології моделювання. Для підвищення ефективності моделювання необхідна розробка нових принципів, що забезпечують значне зниження трудомісткості на розробку моделей, підвищення точності розрахунку.

Ці завдання знайшли рішення при моделюванні технологічних процесів у виробничих підрозділах, дослідженні питань технології моделювання.

Аналізуючи відомі принципи моделювання - в постійним

тимчасовим кроком, за "особливими станами", позаявочний варіант, відзначено недоліки, притаманні багатьом моделям: висока трудомісткість розробок, недостатньо висока точність, необхідність переміщення додаткових статистичних методів розрахунку та ін.

Для підвищення ефективності моделювання запропоновані і апробовані різаноманітні методологічні підходи. Поряд з відомим підходом до побудови моделі за технологічним циклом запропонована методика побудови моделі у режимі роботи обладнання, що встановився. Згідно цій методиці за кожний тимчасовий крок визначається частка трудомісткості виготовлення деталей на кожному робочому місці з врахуванням впливу внутрішніх і зовнішніх факторів. Кроки повторюються доти, поки буде виготовлена вся програма.

Такий підхід усуває недоліки моделювання за технологічним циклом, пов'язані з появою перехідних процесів та істотно спрощує модель.

Для підвищення точності розрахунків при моделюванні запропоновано використати принцип подібності технологічних процесів з урахуванням випадкових відмов. Згідно з цим принципом вводиться масштабний фактор, за допомогою якого цілеспрямовано змінюється тривалість виконуваних операцій з одночасною і відповідною зміною параметрів надійності пристроїв і механізмів, що входять до верстатного комплексу. З теорії надійності для характеристики експлуатаційної надійності слід вистосовувати узагальнені показники надійності, наприклад, $B = \lambda \cdot \mu$, де B - питома тривалість відновлення, λ - інтенсивність відмов, μ - середній час відновлення. При відповідних λ та μ в однакове число разів величина B не змінюється. Аналітично і за допомогою статистичного експеримента показано, що із збільшенням масштабного фактору дисперсія вихідних параметрів буде знижуватись. Виникає необхідність пошуку компроміса між величиною масштабного фактора, що характеризує ступінь точності розрахунків і витрат машинного часу при моделюванні. З'являється можливість керувати ступенем точності процесу моделювання, уникнути додаткових методів статистичної обробки результатів.

З метою зменшення часу моделювання запропоновано два варіанти формування моделей за "особливими станами". У пер-

шому варіанті визначається найближча чергова відмова обладнання за маршрутом обробки деталей і проводиться розрахунок параметрів за цей відрізок часу кожного робочого місця. Потім кроки повторюються. Це випадок з жорстким вирівнюванням часу обробки деталей по робочих позиціях.

У другому варіанті "особливі стани" визначаються за першою позицією, а для інших позицій проводиться оцінка стану за цей проміжок часу послідовно за позиціями, як це відбувається при постійному тимчасовому кроці, тобто з використанням ітераційного підходу. Не зважаючи на деякі переваги цього підходу при негативних сполученнях послідовностей відмов і періодів відновлення може дещо зменшитись розрахункова продуктивність системи.

Запропоновано також варіант з тимчасовим кроком, що відповідає більшим проміжкам часу, ніж при просліджуванні періодів накопичення на відмову, наприклад, при обробці партій деталей з наближеною оцінкою впливу накопичувачів.

Для спрощення моделей об'єктів з складними ієрархічними структурами і уніфікації описання кожного рівня використана однакова методологічна основа побудови моделі на кожному ступені ієрархії. Для оцінки міждільничих та міжцехових простоїв використано показники, аналогічні показникам основного і допоміжного обладнання у верстатних комплексах при оцінці впливу позациклових простоїв.

Не зважаючи на те, що складальні дільниці мають структурні особливості і специфіку технології складання вузлів, машин, модель складальних процесів мало відрізняється від моделі роботи інших підрозділів. Перегляд робочих позицій в моделі через тимчасові інтервали проходить послідовно від нижніх віток "дерева" до верхівки. У позиціях складання враховуються не сумарний час обробки деталей, як це є у випадку маршрутів, що пересікаються при механообробці, а час лімітуючої операції.

При моделюванні об'єктів з ієрархічною структурою необхідні дані для верхніх рівней одержуються за результатами моделювання нижніх рівней. Запропоновано два варіанти виконання розрахунків:

- у першому випадку результати моделювання підрозділів на нижньому рівні перетворюються для моделювання верхніх

рівней;

- у другому випадку дані для моделювання на верхні рівні надходять в дискретному вигляді без проміжкових перетворень.

У першому випадку зручно переходити з одного рівня в інший, оцінюючи результати роботи на кожному рівні. Однак при цьому знижується точність за рахунок похибок при використанні апроксимуючих функцій. Чим більше в моделі рівней, тим більше накопичуватиметься похибок.

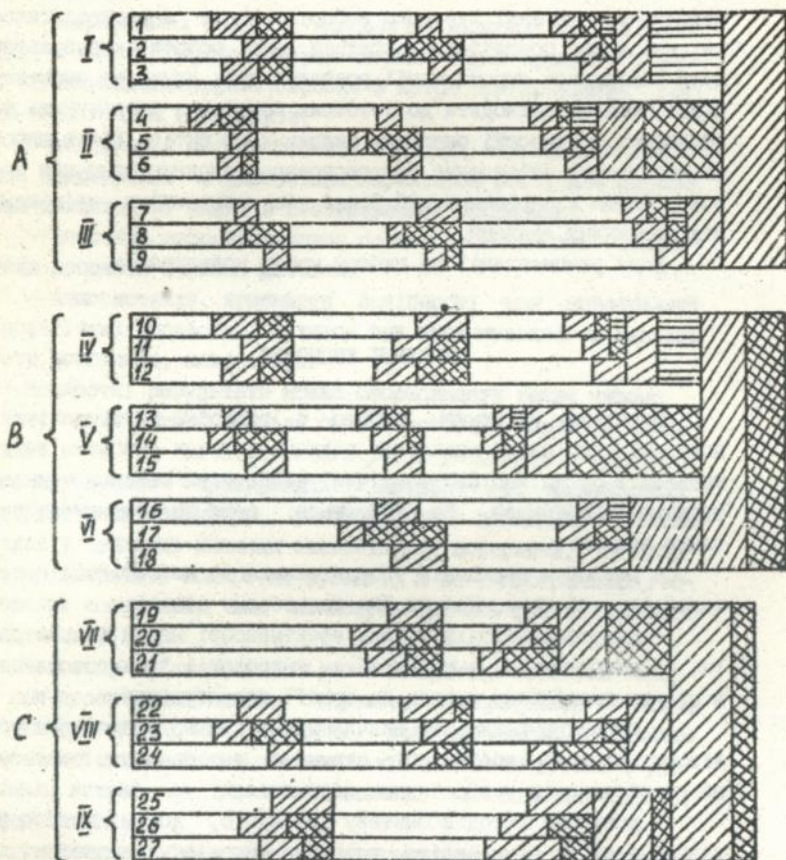
У другому випадку точність розрахунків підвищується, але до кінцевого процесу моделювання важко оцінювати роботу окремих підрозділів. Можливий комбінований варіант: наприклад, на нижньому рівні використати апроксимуючі функції, а на верхніх виконувати розрахунок за другим варіантом.

В результаті проведених досліджень дано обґрунтування стратегії розміщення накопичувачів у верстатних комплексах. Для деяких накопичувачів на продуктивність верстатних комплексів на основі теорії марковських процесів, дана оцінка впливу зворотних зв'язків на процес моделювання.

На мал. 2 як приклад показані фрагменти схеми роботи моделі об'єкту з складною структурою. 1, 2, ... - робочі позиції, I, II, ... - дільниці в цехах, А, В, С - цехи. Незаштриховані зони - час роботи позицій, з одинарною штриховкою - позациклові власні втрати, з подвійною штриховкою - простої через вплив суміжних позицій, з горизонтальною штриховкою - невикористаний час, який можна передати іншим групам деталей. Оскільки при моделюванні застосовано ітераційний підхід, то витрати часу на кожному робочому місці з'являються при порівнянні суміжних позицій дільниць, цехів. Чим далі віддалені позиції одна від одної, тим пізніше буде позначатися вплив віддалених об'єктів на даний.

При моделюванні дільниць в цеху (цехів) з'являються дільничні (цехові) витрати часу за власними причинами, а також міждільничні (межцехові) витрати часу через вплив суміжних дільниць (цехів). Наприкінці моделювання визначаються характеристики трудомісткості та витрат на виготовлення продукції у функції часу.

В роботі розглянуто питання, пов'язані з використанням методологічних положень, застосованих при моделюванні вироб-



Мал. 2. Схема роботи моделі об'єкта з складних структуров.

ничих підрозділів з дискретним характером технологічних процесів для моделювання безперервних процесів на енергетичному рівні. Існуючі методи описання енергетичних процесів у пристроях у вигляді вузького набору ланок з характеристиками, які можна розглядати з позицій даної роботи як результат дуже наближеної апроксимації розрахункових даних на нижньому рівні, можуть приводити до істотних похибок в розрахунках та обмежують можливості описання складних об'єктів. Більш широкі можливості забезпечує запропонована методика описання типових ланок в параметричній формі із зворотніми зв'язками між суміжними ланками.

Дано рекомендації по вибору кроку моделювання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Загальним підсумком роботи є розробка методологічних положень, вирішення комплексу завдань в межах проблеми автоматизації організаційно-технічної підготовки багатонаменклатурного виробництва. Це стосується, перш за все, вирішення таких завдань:

- розробка принципів упорядкування та класифікації деталей широкої номенклатури (на галузевому рівні);
- розробка методів оцінки ефективності машин і пристроїв, що створюються, з урахуванням технології їх виготовлення в різних виробничих умовах на стадії проектування;
- структурування виробничих підрозділів, розробка методів оптимізації вибору типів структур, просторового розташування обладнання у виробничих підрозділах;
- розробка методів синтезу основного, допоміжного обладнання та їх комплексів; розробка типажів, параметричних рядів, стандартів;
- описання взаємодії елементів систем на різних ступенях ієрархії на функціональному рівні з метою наочного подання картини функціонування системи, вибору типових модульних блоків для формалізації вибору зв'язків між цими блоками та спрощення розробки алгоритмічного і програмного забезпечення;
- встановлення взаємозв'язку між концептуальним підхо-

дом до процесу моделювання складних об'єктів та технологією моделювання;

- моделювання складних виробничих підрозділів (підприємств) з дискретним характером технологічних процесів в умовах багатонаменклатурної обробки з метою прогнозування техніко-економічних показників;

- уніфікація методологічних підходів моделювання виробничих підрозділів з дискретним характером робіт для моделювання механізмів, машин з безперервними процесами;

- розробка автоматизованих систем проектування технологічних процесів обробки деталей;

- використання принципів подібності при моделюванні технологічних процесів, а також при проектуванні та аналізі роботи пристроїв, механізмів.

Конкретні результати можна сформулювати таким чином:

1. На підставі аналізу сучасного стану проблеми класифікації деталей, методів їх створення розроблено методологічні передумови класифікації деталей за функціонально-структурним принципом, в основу якого покладено подання деталей у вигляді множини елементарних поверхней, їх наборів, що виконують конкретні функції, а не з абстрактних геометричних поверхней, які не несуть ніякого функціонального навантаження.

В новому підході деталі не є найнижчим ступенем ієрархії при проектуванні машин, виробів, а формуються з більш дрібних функціональних утворень. Стає актуальним завданням оптимізації рівня функціонального навантаження деталі з урахуванням витрат на її виготовлення, виготовлення вузлів, пристроїв.

2. Для розробки типажів, параметричних рядів основного та допоміжного обладнання запропоновано стохастична модель описання номенклатури деталей (на галузевому рівні), яка базується на їх поданні у вигляді генерованої множини гіпотетичних деталей, що складаються з деякого набору їх ознак. Частота зустрічності цих ознак визначається в результаті статистичної обробки даних, зібраних на підприємствах галузі. Моделювання обробки цих деталей в різних виробничих умовах та подальша статистична обробка результатів дозволяють приймати відповідні рішення.

Стохастична модель описання номенклатури деталей опробована в умовах Мінрадіопрома (через Московське проектно-конструкторське бюро).

3. Запропоновано структурно-логічну схему синтезу основного та допоміжного обладнання, верстатних комплексів, механізмів і машин з поданням об'єктів у вигляді систем з ієрархічними структурами, які мають певні цілі і виконують відповідні функції на кожному ступені ієрархії, реалізація яких може здійснюватися за допомогою відповідних класифікаторів способів та засобів. З урахуванням взаємозалежності між ознаками способів та їх засобів реалізації функцій як на окремих рівнях, так і між ними (перш за все, між сміжними рівнями) вдається формувати деяку множину можливих варіантів рішень. На конкретних прикладах показано, яку роль у зменшенні розмірності завдання відіграють методи мінімізації розмірності класифікаторів, можливості та доцільність вибору раціональних вже існуючих способів та засобів або вибір способів та засобів на рівні винаходів, постановка завдання, вибір раціональної кількості ступенів ієрархії та ін. Наступний вибір критеріїв порівняльної оцінки варіантів та прийняття відповідних рішень сприяють пошуку оригінальних, нестандартних рішень завдання.

4. Запропоновано методикку структурування виробничих підрозділів машинобудівних підприємств, у відповідності з якою визначені типи структур, межі переходів від одного типу структур до іншого. Це - тип структур з незалежно працюючими позиціями, сітковий тип (лінійні структури є приватним випадком сіткового типу структур) та просторовий. Запропонований метод оцінки зв'язків між елементами сіткових структур як результат безпосереднього контактування елементів, умовно поданих кружками, дозволяє логічно обґрунтувати підхід до визначення сіткового типу структур.

Введено параметр, ступінь зв'язності, для характеристики типу структур.

Розглянуто методики оптимізації вибору типу структур, просторового розташування обладнання за критерієм мінімуму транспортних витрат.

Проведено аналіз поняття "гнучкість" обладнання, дано математичну функцію для кількісної оцінки ступеня "гнучкості"

ті" обладнання, запропоновано характеристики потрібного, очікуваного та фактичного ступеня "гнучкості" обладнання.

5. Аналіз існуючих методів описання процесів в системах на функціональному рівні за допомогою відомих методів (сіток Петрі та їх розширень, ЕД-діаграм, Комбі-сіток та ін.) показав їх недоліки при моделюванні складних об'єктів.

Запропоновано методику описання роботи складних об'єктів на функціональному рівні за допомогою ротаційних сіток, які являють собою розвиток подій за двома координатами: по знаряддях обробки та предметах обробки з урахуванням взаємозв'язків між рівнями (ротаційними ланцюгами).

За допомогою ротаційних сіток (після побудови кількох ротаційних ланцюгів) можна встановити типові блоки, які можна використати для формалізації вибору зв'язків між різними блоками (в межах одного ротаційного ланцюга) та між суміжними ротаційними ланцюгами та істотно полегшити розробку алгоритмічного та програмного забезпечення.

6. Для моделювання складних об'єктів запропоновано застосування різних принципів моделювання: за допомогою тимчасових "врізів" через рівні часові інтервали, через нерівні часові інтервали, але рівні частки циклу виконання операцій за "особливим" станом (випадкових відмов), по виконанню певних технологічних операцій та ін., в залежності від конкретних умов.

З метою підвищення точності розрахунку при моделюванні запропоновано використовувати принцип подібності технологічних процесів з врахуванням випадкових відмов. Знайдений взаємозв'язок між зміною масштабного фактору і дисперсією вихідних параметрів дозволяють керувати ступенем точності, обійтися без додаткових методів статистичної обробки результатів.

Запропоновано методику моделювання складних об'єктів з використанням аналогічних методологічних принципів на різних ступенях ієрархії. Поряд з відомих підходом побудування моделей за технологічним циклом запропоновано методику побудування моделі у встановленому режимі роботи обладнання.

Поряд з істотним спрощенням моделей, що розробляються, з'явилася можливість виконати порівняльний аналіз ступеню використання обладнання, виробничих підрозділів на різних

ступенях ієрархії, визначати "вузькі" місця в технологічних процесах, техніко-економічні показники.

При моделюванні об'єктів з ієрархічними структурами запропоновано два варіанти виконання розрахунків: з фіксацією проміжкових результатів по кожному ступеню ієрархії у вигляді апроксимуючих функцій з використанням їх при переході від одного ступеня до іншого та без використання апроксимуючих функцій з безперервним процесом розрахунку. В останньому випадку підвищується точність вирішення завдання за рахунок безпосереднього використання результатів розрахунку на всіх ступенях ієрархії без проміжкового перетворення даних.

Показано роль накопичувальних пристроїв у верстатних комплексах, дано наближені та більш точні варіанти розрахунку параметрів верстатних комплексів з врахуванням накопичувачів.

При аналізі результатів моделювання виробничих підрозділів з використанням різних принципів показано вплив інерційності розрахунку (чутливості системи), дано рекомендації до вибору величини часових інтервалів, що забезпечують адекватність моделі технологічним процесам, які відбуваються в реальних умовах.

Введення зворотнього параметричного зв'язку підвищує чутливість моделі, однак не завжди відповідає реакції реальних верстатних комплексів на зміну умов функціонування.

Розроблено пакет програм моделювання класу гнучких верстатних комплексів на замовлення ПТІМашу (м. Луганськ) з використанням системи програмування високого рівня GPSS-F, який було використано при розробці ряду проектів гнучких верстатних комплексів.

Подальший досвід розробки моделей показав, що при запропонованому методологічному підході до розробки моделей складних об'єктів не обов'язково використовувати спеціалізовані системи програмування, достатньо використання мов програмування широкого застосування (Турбо-Паскаль, Фортран та ін.).

Зроблена спроба використати методологічні положення, що застосовувались при моделюванні виробничих підрозділів з дискретним характером технологічних процесів для моделювання безперервних процесів на енергетичному рівні, що відбувають-

ся у пристроях, механізмах верстатних комплексів. Типові ланки описані в параметричній формі із зворотніми зв'язками між суміжними ланками, що дозволяє визначити динамічні характеристики в різних фазах протікання технологічних процесів.

8. Розроблено систему автоматизованого проектування технологічних процесів механообробки деталей, яка впроваджена на ряді машинобудівних підприємств.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В СЛІДУЮЧИХ РОБОТАХ:

1. Коробецкий Ю.П. Моделирование объектов машиностроительных предприятий. - Киев, УМК ВО, 1992. - 148 с.

2. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П. Системный подход к синтезу элементов гибких роботизированных участков /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1983. - 109 с. - Деп. в УкрНИИИ-ТИ 06.83, N948.

3. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П. Системный подход к анализу и синтезу машиностроительного производства /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1983. - 95 с. - Деп. в УкрНИИИТИ 04.83, N259.

4. Коробецкий Ю.П. Коли виробництва стають гнучкими // Знання та праця. - 1984, - №8. - С. 28-34.

5. Локотеш Б.Н., Глушко В.В., Коробецкий Ю.П. Некоторые закономерности функционирования линейных систем //Автоматизация производственных процессов в машиностроении.- Львов, 1982. - N23. - С. 14-17.

6. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П., Кацюба В.А. Физико-математические модели функциональных элементов исполнительных механизмов промышленных роботов //Обмен опытом в радиопромышленности. - М., 1980.- вып. 3. - С. 28-32.

7. Коробецкий Ю.П., Бирюков В.В., Мирющенко В.Н. Стохастическая модель номенклатуры выпуска деталей в отрасли /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1980. - 7с. - Деп. в УкрНИИИТИ 08.80, N1909.

8. Коробецкий Ю.П. Особенности моделирования станочных комплексов с использованием ротационных сетей /Луганский

машиностр. ин-т. - Луганск, 1989. - 30 с. - Деп. в УкрНИИТИ 10.89, N821.

9. Коробецкий Ю.П. Классификация деталей по функционально-структурным признакам /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1987. - 7 с. - Деп. в УкрНИИТИ 04.87, N2165.

10. Коробецкий Ю.П., Велигура Ю.В., Черный А.В. Системный подход при разработке компоновочных решений многооперационных станков и линий /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1987. - 12 с. - Деп. в УкрНИИТИ 06.87, N2164.

11. Коробецкий Ю.П., Бирюков В.В., Мирющенко В.Н. Особенности подсистемы автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки корпусных деталей для ГПС /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1986. - 8с. - Деп. в УкрНИИТИ 08.86, N169.

12. Коробецкий Ю.П., Бирюков В.В., Верховодов А.В. Особенности системного подхода к автоматизированному проектированию технологических процессов механообработки для ГПС /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1986. - 13 с. - Деп. в УкрНИИТИ 05.84, N1583.

13. Коробецкий Ю.П. Особенности смежного подхода к синтезу станочного оборудования //Проблемы создания гибких производственных систем при внедрении безлюдной технологии в промышленность: Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. 1983 г. - Москва, 1983, - 3 с.

14. Коробецкий Ю.П., Бирюков В.В., Верховодов А.В. Разработка подсистем автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки корпусных деталей в условиях гибкого автоматизированного производства //Проблемы обработки деталей машиностроения на станках с ЧПУ: Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. 1983 г. - Свердловск, 1983, - С. 119-121.

15. Бирюков В.В., Коробецкий Ю.П., Верховодов А.В. Особенности автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки корпусных деталей для ГАП //Технологические пути экономии трудовых и материальных ресурсов и интенсификация производства в машиностроении: Тез. докл. на Всесоюз. научн. конф. 1983 г. - Суздаль, 1983. - 3 с.

16. Коробецкий Ю.П., Бирюков В.В., Верховодов А.В. Система автоматизированного проектирования технологических про-

цессов обработки корпусных деталей и деталей типа "тело вращения" //Совершенствование технологических процессов изготовления деталей машин: Тез. докл. на респуб. научн. конф. 1991 г. - Курган, 1991, - С. 35-37.

17. Локотко В.Н., Глушко В.В., Коробецкий Ю.П. К вопросу расчета нелинейных систем //Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении - Львов, 1982.- №3. - С. 3.

18. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П., Батров Е.И. Алгоритмы автоматизированного набора на ЭВМ моделей промышленных роботов //Обмен опытом в радиопромышленности. - М.:, 1979. - вып. 3. - С. 26-29.

19. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П., Лобановский А.И. Структурообразование исполнительных механизмов промышленных роботов //Обмен опытом в радиопромышленности.- М.:, 1980. вып. 3, 1980, - С. 32-35.

20. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П., Калтышев В.Н. Унифицированный алгоритм моделирования на ЭВМ промышленных роботов /Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1981. - 10 с. - Деп. в УкрНИИТИ 11.81, №2958.

21. Коробецкий Ю.П., Воротнев А.И., Зубов В.Н. Подсистема выбора параметров фрез в системе автоматизированной подготовки производства в условиях ГАП //Проблемы создания гибких производственных систем при внедрении безлюдной технологии в промышленность: Тез. докл. на Всесоюзн. научн. конф. 1983 г. - М.:, 1983, - С. 76-79.

22. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П., Батров Е.И. Автоматизированный синтез на ЭВМ систем автоматического управления процессами резания //Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении - Львов, 1980. - вып. 30. - С. 35-38.

23. Глушко В.В., Коробецкий Ю.П., Батров Е.И. Автоматизированный синтез на ЭВМ систем автоматического управления процессами резания //Обмен опытом в радиопромышленности, М.: - Вып. 3, 1980. - С. 20-23.

24. А.с. №1185317 СССР. Устройство для регулирования силы давления инструмента на поверхность детали с переменным радиусом кривизны. В.И., 1985.

25. А.с. N262546 СССР. Пневматический шестеренный двигатель. Б.И., 1970.
26. А.с. N264067 СССР. Двигатель. Б.И., 1970.
27. А.с. N355432 СССР. Мембранный регулятор давления с дистанционным управлением, Б.И., 1972.
28. А.с. N180032 СССР. Соединение поршневого штока с поршнем. Б.И., 1966.

Сдано в набор 25.03.93. Подписано в печать
18.03.93. Формат 60x84 1/16. Ротопринт. Ти-
раж 100. Заказ № 126. ЛМСИ, 348042, г.Лу-
ганск, кв.Молодежный, 20а.

AB 27.145