

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

**Фролов В'ячеслав Вікторович**

УДК 621.9

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ  
БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ ІЗ ЧПК ПРИ УДОСКОНАЛЮВАННІ МЕТОДУ  
ТИПІЗАЦІЇ.**

*Спеціальність:* 05.02.08 – "Технологія машинобудування"

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів  
Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"  
Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент  
Рудько Олександр Пантелійович  
Національний технічний університет "Харківський політехнічний  
інститут",  
доцент кафедри "Технологія машинобудування і металорізальні  
верстати"

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
Жолткевич Григорій Миколайович  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
професор кафедри "Вища математика й інформатика"  
кандидат технічних наук  
Купріянов Олександр Володимирович  
Українська інженерно – педагогічна академія, м. Харків,  
доцент кафедри "Технологія машинобудування"  
Провідна установа:  
Харківський науково-дослідний інститут технології  
Машинобудування Міністерства промислової політики України, м.  
Харків

Захист відбудеться “14” березня 2002 р. о “13” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе 21

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий “ 8 ” лютого 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Узунян М.Д.

### **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми** обумовлена наступним:

1. Експлуатувати багатоцільові верстати з ЧПК найбільше вигідно в одиничному і дрібносерійному виробництвах, а групова технологія, що застосовується для проектування технологічних процесів на багатоцільові верстати, дає відчутний ефект у середньосерійному і крупносерійному виробництвах. Виникаюче протиріччя може бути вирішено використанням фреймового підходу до побудови технологічних процесів для багатоцільових верстатів із ЧПК. Технологічний процес, побудований на основі фреймів, є більш гнучким, ніж груповий процес.
2. Основним недоліком типових рішень вважається проста фіксація старого досвіду і неможливість одержання зовсім нових рішень. Цей недолік усувається при формуванні типових рішень, що використовують принципи ізоморфного відображення між різними станами технологічної системи. Компонування схемно-структурних і функціонально-параметричних моделей, для типових рішень, забезпечує одержання принципово нових технологічних рішень.
3. Універсальність і адаптивність існуючих на даний момент САП КП (систем автоматизованого програмування керуючих програм) припускають наявність інваріантного постпроцесора і декількох проміжних мов представлення даних. Фактор наявності постпроцесора часто є вирішальним при покупці підприємством тієї чи іншої системи програмування. Перевага віддається тій системі, у якій за інших рівних умов існує найбільш простий і дешевий підхід до рішення цієї проблеми. Використання мереж фреймів для оформлення типових рішень, заснованих на властивості ізоморфізму керуючих програм, змінить існуючу схему проектування шляхом зведення декількох проміжних мов представлення даних до однієї мови опису фреймів. Зміна схеми автоматизованого проектування керуючих програм дозволить вирішувати проблему адаптування САП КП без застосування інваріантного постпроцесора.

4. Сучасні напрямки розвитку автоматизації ТПВ (технологічна підготовка виробництва) припускають: швидку модифікацію програмного продукту, використання баз знань, наскрізну технологію проектування, модульність побудови програмного забезпечення, короткі терміни впровадження, широку функціональність, низьку вартість, використання штучного інтелекту, розробку спрощеного інтерфейсу з користувачем, інтерактивну візуалізацію при проектуванні. Використання фреймового підходу до технологічного проектування, заснованого на концепції ізоморфного відображення моделей поведінки технологічних систем, відповідає цим вимогам. По-перше, модифікація програмного продукту до конкретних вимог виробництва здійснюється зміною бази знань, що складає з мереж фреймів. По-друге, використання методів і способів, що усталені на конкретному виробництві, знижує терміни впровадження системи. По-третє, наявність різних баз фреймів розширює функціональні можливості системи. По-четверте, інтелектуалізація системи забезпечена інтеграцією фреймових і продукційних моделей представлення знань, що, у свою чергу, дозволяє відображати типові технологічні рішення за допомогою схемно-структурних (фрейми) і функціонально-параметричних (продукції) моделей.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема роботи була обрана на підставі перспективних напрямків дослідження, зазначених у паспорті спеціальності 05.02.08. – технологія машинобудування і відповідно до Національної програми України по інформатизації, а також НІР №23723, що виконується кафедрою за замовленням ОАО "Харвест".

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає в підвищенні ефективності проектування технології обробки різанням для багатоцільових верстатів із ЧПК, обумовленому зниженням трудомісткості і підвищенням надійності формування технологічної структури процесу обробки і керуючих програм за рахунок удосконалення методу типізації. Для досягнення мети були вирішені наступні задачі:

1. Розроблено математичну модель процесу функціонування технологічної системи "Багатоцільовий верстат – СЧПК" з метою типізації її поведінки методами сучасної абстрактної алгебри;
2. Складено математичну модель, що у векторній формі відбиває зміни стану структурних елементів технологічного процесу під час його реалізації і дозволяє чисельно аналізувати структурні властивості технологічних операцій з метою одержання нових типових рішень;
3. За допомогою теорії структур і теорії груп виявлені властивості процесу функціонування вищевказаних моделей, що дозволяють виділяти класи подібних відрізків їхніх фазових траєкторій;
4. Отримано нові типові рішення, що відображають структурно-схемні і функціонально-параметричні зв'язки між елементами технологічного процесу;
5. Розроблено алгоритми чисельної оцінки подоби технологічних операцій і керуючих програм;
6. Розроблено САП КП для багатоцільових верстатів із ЧПК, що використовує окремі аспекти теоретичних положень, отриманих у даній роботі.

*Об'єктом дослідження* у роботі є структурна організація технологічного процесу.

*Предмет дослідження* – це структурні відносини у технологічній операції.

*Методи досліджень.* При математичному моделюванні об'єктів використовуються методи теорії систем, штучного інтелекту, теорії розпізнавання, імітаційного моделювання і векторної алгебри. Для аналізу структурних властивостей технологічних процесів застосовуються: теорія структур Г. Биркгофа, теорія груп, теорія відносин. Формалізація технологічних рішень здійснюється за допомогою фреймових і продукційних моделей представлення знань.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тім, що на основі аналізу властивостей структурної організації інформаційного поля технологічного проектування розроблений новий підхід до проектування технологічних процесів механічної обробки стосовно до багатоцільових верстатів із ЧПК, що представляє процес проектування, як процес впорядкування інформаційного поля за допомогою фреймів, і базується на:

- застосуванні розроблених у даній роботі математичних моделях систем "Технологічний процес" і "Багатоцільовий верстат – СЧПК", що дозволяють типізувати їхнє поводження, застосувавши для цього теорію структур і теорію груп;
- представленнях технологічного переходу, як частково впорядкованої множини, а технологічної операції – як системи частково впорядкованих множин, що дозволяють оформляти їх у виді мережі фреймів, де фіксуються найбільш загальні структурно-схемні і функціонально-параметричні зв'язки між структурними елементами технологічного процесу.

**Практичне значення одержаних результатів** роботи полягає у використанні пропонуваного підходу для розробки систем технологічного проектування, що відрізняються від існуючих систем тим, що:

- забезпечують одержання нових проектних рішень на основі типових, що використовують експертну інформацію і дозволяють описати велику кількість ізоморфних станів окремих структурних елементів виробничої системи у вигляді мережі фреймів;
- при проектуванні керуючих програм для багатоцільових верстатів із ЧПК з'являється можливість відмовитися від інваріантного постпроцесора, що дозволяє сполучити деякі етапи проектування, зменшити трудомісткість проектування КП і підвищити ефективність праці проектувальника.

**Апробація результатів дисертації** проводилася на науково – технічних конференціях: "Организация и технология ремонта механизмов, машин, оснастки", 28–30 травня 1996 р.; міжнародній науково-методичній конференції "Интеграция образования, науки и производства", 25–28 вересня 1996 р.; microCAD ' 2000 24–25 травня 2000 р.; microCAD ' 2001 14–16 травня 2001 р., і виставці "Сучасна освіта в Україні – 2001" 8-11 лютого 2001р.

**Публікації.** За матеріалами роботи написані 6 науково-технічних статей.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків і 6 додатків. Повний обсяг дисертації 176 сторінок у тому числі: 29 ілюстрацій по тексту, 5 ілюстрацій на 5 сторінках, 19 таблиць по тексту, 8 таблиць на 3 сторінках, 6 додатків на 18 сторінках, список 111 використаних літературних джерел на 10 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

Огляд літературних джерел у *першому розділі* показав, що загальна тенденція для всіх методів уніфікації – це виділення більш великих одиниць проектування, що максимально використовує властивість повторюваності. Таке виділення здійснюється на підставі докладної класифікації номенклатури деталей, оброблюваних у виробничому підрозділі. На сучасному етапі для цих цілей використовуються методи автоматичної класифікації, засновані на визначенні сили зв'язку між деталями номенклатури по визначеній ознаці, що обумовлює сутність будь-якого методу уніфікації. Для типової технології такою ознакою, у загальному випадку, є геометрія деталі, а для групової технології – схожість технологічного оснащення.

В термінах теорії структур все вищевказане можна виразити в такий спосіб. Існує неупорядкована генеральна сукупність деталей, що обробляються в цеху. Якщо

зобразити її у вигляді неупорядкованої множини, то дії технолога по поділу деталей на класи будуть полягати у виявленні співвідношень між елементами множини по визначеній ознаці. В результаті відбувається установка часткового порядку на елементах множини, а потім розбиття всієї сукупності на підмножини, об'єднання яких є множиною, утвореною генеральною сукупністю. Змінивши ознаку, відповідно до якої на множині встановлювався порядок, технолог одержить зовсім іншу впорядковану підмножину. Фіксація на множині деталей порядку по визначеній ознаці спричиняє накладення відображеного порядку на множини техпроцесів, що відносяться до цих деталей. Якщо представити техпроцес, як функцію від деталі, то все вищеописане схоже на визначення ізотонного відображення з теорії структур. Такі впорядковані множини підкоряються різним законам теорії структур, і, крім того, спрощують рішення задачі неповного перебору при виборі потрібного технологічного процесу.

В груповому методі предмети праці, над якими виконуються дії, і знаряддя праці пов'язуються у відповідні відносини. Знаряддя праці в даному випадку – це засоби технологічного оснащення. На множині матеріальних об'єктів виробничого середовища, в яке входять: деталі, інструменти, пристрої, устаткування, встановлюються n-арні відносини квазіпорядку, що перетворюють дану множини в частково упорядковану. В кожному конкретному випадку виявляються необхідні ознаки, на підставі яких множина деталей розбивається на підмножини.

В типовій технології відбувається підпорядкування множини деталей, а потім частковий порядок відображається на множини елементів виробничого середовища, в результаті чого в цій множині утворюються підмножини, які можна ототожнювати з типовими технологічними операціями.

В груповій технології спочатку встановлюється частковий порядок на множині елементів виробничого середовища, а потім цей порядок відображається на множині деталей. Причому порядок встановлюється так, щоб ефективність отриманої виробничої системи була максимальною.

Процес проектування тоді полягає в підборі вже існуючих ТП і адаптації їх до конкретної ситуації. При цьому спостерігається фіксація старого досвіду, а ступінь новизни в таких проектних рішеннях залежить від "розміру" типових рішень. Найбільш вигідно використовувати типові рішення для технологічних переходів, оскільки при об'єднанні цих рішень в систему виявляється принцип системності, коли сума елементів із задалегідь заданими властивостями утворить новий системний об'єкт із зовсім новими системними властивостями. Для підвищення ефективності технологічного проектування бажано об'єднати переваги групової і типової технологій в одному підході.

У **другому розділі** виконується аналіз структурних властивостей технологічних процесів за допомогою теорії структур. В технології звичайно виділяються наступні множини об'єктів, що беруть участь в технологічному процесі: верстатів, інструментів, пристроїв, інструментального оснащення, поверхонь. Усі ці множини поєднуються в одну глобальну множини об'єктів, що беруть участь в технологічному процесі. Технолог використовує цю множини для проектування, накладаючи на неї різні відносини, тим самим, виділяючи підмножини об'єктів, що визначають властивості технологічної операції. Цю підмножини можна назвати системою, тому що її складові елементи пов'язані спільною метою – шляхом механічної обробки поверхні, одержати параметри, задані кресленням. Для опису властивостей системи "Технологічна операція" в роботі використовуються відносини черговості і приречення. Ці відносини є бінарними відносинами порядку на крапкових множинах, тому в

двохелементних підмножинах, виділених цими відносинами, повинна існувати точна верхня грань і точна нижня грань.

Технологічна операція складається з технологічних переходів (рис.1), властивості яких визначаються співвідношенням п'яти структурних елементів:  $A_1$ – поверхонь,  $A_2$ – пристроїв,  $A_3$ – інструментів,  $A_4$ – верстатів,  $A_5$ – методів обробки. Відношення між цими елементами є відношенням приречення. Технологічний перехід представляється частково-підпорядкованою множиною, кожна двоелементна множина якого має єдині точну верхню грань і точну нижню грань в силу властивості антисиметричності. Компонування окремих технологічних переходів в технологічну операцію подається, як об'єднання підмножин в одну множину.

Дві технологічні операції будемо вважати ізоморфними якщо:

1. Один з видів концентрації операцій послідовний, рівнобіжний чи послідовно – рівнобіжний буде однаковий для кожної з них;
2. Зберігається взаємно однозначна відповідність методів впливів на оброблювану поверхню  $V_1 \rightarrow \varphi(V_1); V_2 \rightarrow \varphi(V_2)$ , де  $V_1 \in M_1, \varphi(V_1) \in M_2$ ;
3. Бінарна комбінація методів впливів на оброблювану поверхню вихідної технологічної операції збереже свою сутність у відображеній технологічній операції  $V_1 + V_2 \rightarrow \varphi(V_1) + \varphi(V_2)$ .

Кожен клас ізоморфних об'єктів виділяє в чистому вигляді деякий тип алгебраїчних операцій. Аналогічно для технології машинобудування визначена множина ізоморфних технологічних структур виділяє конкретний тип структурних відносин між їх елементами. Вид цих відносин можна зафіксувати типовим рішенням і оформити у вигляді фрейму. Фрейм відображає сукупність ізоморфних об'єктів технологічного проектування. Властивості множини ізоморфних об'єктів технологічного проектування можна аналізувати на одному представнику. Цей представник буде основою для формування типового рішення.

Фрейм являє собою систему структурних координат інформаційного поля  $(z, W, q)$  і відображається множиною відносин на носіях полю  $Z$ . Множина  $Z$  відносин утворює систему, що упорядковує множину носіїв і утворює на ньому частково впорядковану множину. Ця множина є структурою, на якій визначені операції додавання і множення, що мають властивості булевих алгебр.

Оскільки даний підхід орієнтований на САПР, необхідно мати математичні моделі, що дозволяють виявляти наявність ізоморфного відображення між двома множинами об'єктів, що складають технологічні операції. Розробці цих моделей присвячений **третій розділ** дисертації. Тут розробляється алгоритмічна модель функціонування системи "Багатоцільовий верстат – СЧПК". Процес функціонування даної моделі подається у вигляді

$$Z = \langle T, S, F, a \rangle,$$

де  $S$  – множина станів системи "Багатоцільовий верстат – СЧПК";  $F$  – траєкторія процесу функціонування системи, що є відображенням множини дискретних моментів часу на  $S$  чи  $F: T @ S$ ;  $a$  – відношення лінійного порядку на множині  $T$ . Потужність множини моментів часу визначається кількістю кадрів керуючої програми. Тривалість кожного  $t_j$  моменту часу залежить від тривалості виконання кадру керуючої програми. У залежності від типу дій  $t_j$  визначається або швидкістю холостого ходу, або машинним часом. Загальний час функціонування являє собою час автоматичної роботи з програми. Після аналізу структурних елементів системи "Багатоцільовий верстат – СЧПК" була отримана матриця  $S^k_{OS}$ , що визначає стан системи для  $t_k_{OT}$ .

$$S^k = \begin{vmatrix} S_{1.1} & S_{1.2} & S_{1.3} & S_{1.4} & S_{1.5} & S_{1.6} & S_{1.7} \\ S_{2.1} & S_{2.2} & S_{2.3} & S_{2.4} & S_{2.5} & 0 & S_{2.7} \\ S_{3.1} & S_{3.2} & S_{3.3} & S_{3.4} & 0 & 0 & 0 \\ S_{4.1} & 0 & S_{4.3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{5.3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{6.3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{7.3} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Процес функціонування системи описується множиною  $S^k$  станів системи, де  $\text{Card}(S) = k_{\max}$ , а  $k_{\max}$  відповідає кількості кадрів програми. Стовпець матриці відображає окремі страти системи: 1) інтерполлятор; 2) блок корекції; 3) робочі органи; 4) привід головного руху; 5) вузли, що відповідають за зміну інструмента; 6) устаткування охолодження; 7) наявність підпрограм у бібліотеці. Кожен осередок матриці відображає стан окремого структурного елемента, що входить у страту системи.

$$S^k = F(A, t),$$

де  $A$  – простір аргументів, визначений у дисертації для кожного осередку матриці. Процес функціонування системи описується множиною матриць станів, отже, якщо буде спостерігатися ізоморфізм однієї множини на іншу, то керуючі програми, представлені цими множинами також будуть ізоморфні.

Для того щоб визначити ізоморфізм однієї програми на іншу необхідно установити відповідність між матрицями станів по порядковому номеру кожної матриці в множині. Матриці  $A_1$  з однієї множини повинна відповідати матриця  $B_1$  з іншої. Визначення ізоморфізму тоді виглядає так: якщо матриці однієї множини станів системи відображаються в матриці іншої множини станів  $i$ , при цьому, коефіцієнт кореляції між сусідніми матрицями однієї системи дорівнює коефіцієнту кореляції між сусідніми матрицями іншої системи, то існує ізоморфне відображення однієї множини на іншу

$$a_1 \otimes j(a_1), a_2 \otimes j(a_2) \quad \text{Щ} \quad t(a_1, a_2) = t(j(a_1), j(a_2)).$$

Для визначення ізоморфізму технологічних операцій розроблена інша методика, що ґрунтується на аналізі векторів стану системи. Візьмемо широко розповсюджене уявлення технологічного процесу як системи перетворювача, на вхід якого подається матеріал, а на виході виходить готова продукція. Уявимо собі, що існує вектор, який ототожнюється зі структурною організацією системи. Вектор структури змінний. В залежності від умов керування і задач, поставлених перед системою, він змінюється. Кожна технологічна операція змінює стан і характеристики системи. Система переходить з одного стану в інший – від операції до операції. При такій постановці питання кожна технологічна операція буде новим станом системи у фазовому просторі. Ця інтерпретація дозволяє описати технологічний процес для багатоцільових верстатів, як процес функціонування виробничої системи, і одержати його алгоритмічну модель

$$P = \langle T, M, L, R \rangle,$$

де  $T$  – множина моментів часу, потужність якого визначається кількістю переходів, тривалість кожного моменту часу визначається машинним часом;  $M$  – множина станів системи, обумовлених методом обробки. Кожен стан описаний багатомірним вектором  $V_i \in OG$ , де  $G$  – множина векторів, що характеризують методи обробки;  $L$  – фазова траєкторія

процесу; R - відношення лінійного порядку на множині M. Множина G описується векторами, визначеними для кожного методу механічної обробки. Для того, щоб описати якісні ознаки методів кількісними векторами, була використана методика, заснована на аналізі таблиць "об'єкт – ознака" і апроксимації даних в цих таблицях за критерієм мінімізації відстані між таблицею і її представницьким фактором. В результаті, отримуємо вектори, що характеризують методи обробки (табл.1), а також вектори стадій обробки (табл.2). Останні отримані на підставі аналізу предметної області. В таблиці 1 буквами позначена: З – заготівка; И – інструмент; У – вид руху. В таблиці 2 описані наступні ознаки: 1-співвідношення основних показників процесу різання з погляду технології; 2 – нерівномірність припуску в заготівці; 3 – твердість системи; 4 – властивості інструментального матеріалу; 5 – загальний обсяг матеріалу, що знімається, у відсотках; 6-діапазон подач; 7-діапазон глибин різання. Абревіатури позначають наступні стадії: ЧО – чорнова обробки; ПЧО – напівчистова обробка; ЧСО – чистова обробка; ОО – викінчувальна обробка. Вектори, що однозначно визначають процес різання, представляємо вектором узагальненого портрета. Для прикладу розглянемо одержання вектора для чорнового торцевого фрезерування. Вектори виглядають так:

$$V_{\text{метод}}^T = (0,099 \ 0,099 \ -0,077 \ 0,045 \ -0,12 \ -0,083 \ 0,191),$$

$$V_{\text{стадия}}^T = (0,811 \ 0,811 \ 0,492 \ 0,811 \ 0,877 \ 0,811 \ 0,811).$$

В результаті, чорнове торцеве фрезерування буде представлятися вектором

$$U^T = [0.455 \ 0.455 \ 0.207 \ 0.428 \ 0.379 \ 0.364 \ 0.501].$$

**Потім** на підставі отриманої моделі був розроблений алгоритм (рис. 2) визначення ізоморфізму, основою якого є положення, що для того, щоб між двоелементними підмножинами спостерігався ізоморфізм потрібно виконання двох умов:

1. *Достатньої* – рівності коефіцієнтів кореляції векторів, що складають ці підмножини;
2. *Необхідної* – рівності нормованих векторів, що визначають стани системи.

Спочатку формують файли 2, що містять вектори станів для двох систем. Потім необхідно:

1. Одержати вектори, що складають двоелементні підмножини (крок 1);
2. Визначити потужність множини станів вихідної системи (крок 3);
3. Розрахувати коефіцієнти кореляції сусідніх векторів (крок 4);
4. Перевірити підмножини на наявність достатньої умови (крок 5), якщо вона не дотримується, то перейти до наступної підмножини, інакше виконати черговий крок;
5. Зробити нормування векторів, що представляють особливі стани системи (крок 6);
6. Перевірити наявність необхідної умови (крок 7), якщо вона виконується, то видати повідомлення (крок 8) про наявність ізоморфізму, інакше – повідомлення про відсутність такого (крок 9).

**В четвертому розділі** визначаються основні положення фреймового підходу до технологічного проектування:

1. Одиниця проектувальних знань представлена фреймом. Для технології машинобудування елементарним фреймом, на основі якого формуються більш складні фрейми, є технологічний перехід. Використання поняття технологічного переходу дозволяє не відходити від традиційного розподілу структурних елементів виробничого процесу. Фрейм технологічного переходу відображає частково упорядковану множину технологічних об'єктів, що беруть участь в процесі механічної обробки і зв'язаних між собою відносинами порядку (відносини мають один характер). Застосовуючи відображення, що володіють властивістю ізоморфізму, для перетворення цього елементарного фрейму, ми одержуємо безліч технологічних рішень. Потужність,

- отриманої множини, визначає універсальність фрейму.
2. Система зв'язків між фреймами визначається як система частково упорядкованих множин. Оскільки елементарний фрейм є частково упорядкованою множиною до нього можна застосовувати операції об'єднання. В результаті, така система являє собою технологічну операцію, що при технологічному проектуванні поєднує технологічні переходи. Система фреймів технологічних переходів, які складають технологічну операцію, відображається частково упорядкованою множиною технологічних об'єктів, між якими встановлені відносини двох наступних типів: приречення, черговості. Можна відзначити, що тут поєднуються два типи фреймів: фрейми-сценарії для опису послідовного застосування методів обробки різанням; фрейми-описи, що відображають взаємини технологічних об'єктів.
  3. Крім дії об'єднання до елементарних фреймів можна застосовувати дії перетинання, доповнення. Необхідність таких дій диктується бажанням з декількох існуючих фреймів одержати новий фрейм, який відображає технологічні властивості, що відрізняються від існуючих. Основними елементами фрейму є слоти, що являють собою елементи частково впорядкованої множини, що відображають абстрактні технологічні об'єкти, тобто вони є "порожні місця", які можуть зайняти конкретні технологічні об'єкти.
  4. Фрейм містить структурно-схемні і функціонально-параметричні зв'язки, що представляють сценарій обробки (процедуральний тип знань), а також зв'язки, що представляють відносини між технологічними об'єктами (декларативний тип знань).

Ці положення визначають існування фреймового підходу до технологічного проектування. Наведемо (рис.3) класифікацію технологічних фреймів, що використовуються в цьому підході. Тут А1– слот поверхні, А2– слот верстати, А3– слот інструменти, А4– слот пристосування, А5– слот методу обробки.

Фрейм-приклад технологічного переходу припускає, що всі слоти заповнено.

Фрейм-прототип технологічного переходу припускає, що всі слоти порожні.

Фрейм-екземпляр технологічного переходу припускає, що хоча б один слот заповнений. Заповнення починається з нижніх елементів і закінчується верхніми.

Потужність опорних множин слотів визначається відносинами між елементами.

Якщо на верхньому рівні буде заповнений слот методу обробки, то інші рівні будуть заповнюватися технологічними об'єктами, які визначають тільки цей метод, що значно зменшить потужність опорних множин слотів нижнього рівня. Помітимо, що

структура фрейму за формою інваріантна для будь-якого екземпляра. Якщо тільки частина слотів заповнена, то це буде фрейм – екземпляр. Для нашого випадку характерна наявність одного заповненого слоту в елементарному фреймі, а саме слота "верстат". Цей слот заповнюється інформаційною моделлю багатоцільового верстата, що, власне, накладає обмеження на потужність опорних множин інших слотів.

Наприклад, якщо це багатоцільовий верстат свердлильно-фрезерно-розточувальної групи, то поверхні у слоті "Поверхня" будуть тільки ті, котрі відносяться до корпусних деталей, а спектр методів обробки буде жорстко регламентований цільовим призначенням верстата

Візьмемо фрейм – прототип технологічного переходу, він опише величезну безліч ізоморфних сполучень технологічних об'єктів. Фрейм – приклад не опише жодного ізоморфного сполучення об'єктів, якщо, звичайно, не розглядати відображення цієї структури самої на себе, але тоді буде спостерігатися автоморфізм

частково–впорядкованої множини на себе. Для наших цілей ізоморфізм буде спостерігатися тільки для технологічних об'єктів, обумовлених багатоцільовим верстатом. Наприклад, розглянемо технологічну операцію, на якій виконується

обробка тільки однієї поверхні – різьбового отвору (рис.4).

Фрейм такої операції буде складатися з декількох переходів: центрування отвору, свердління під різьбу, наріз різьби мітчиком. Слоти, що визначають тип

багатоцільового верстата ( $A_3$ ) і методи обробки ( $A_5^1$ ,  $A_5^2$ ,  $A_5^3$ ) заповнені конкретною моделлю багатоцільового верстата і методами обробки. Інші слоти порожні, а потужність їхніх опорних множин визначається відносинами, накладеними заповненими слотами. Отже, застосовуючи відображення, що заповнює порожні слоти конкретними інструментами, поверхнями і т.д., ми одержимо фрейм-екземпляр. Для даного прикладу ізоморфними будуть ті технологічні операції, на яких обробляється одна різьбова поверхня з фіксованим проходженням методів обробки. Значення слоту "Пристосування" буде залежати від розташування оброблюваної поверхні і робочої зони багатоцільового верстата. Запропонований фрейм можна застосувати для обробки великої кількості деталей, що мають різьбові отвори. Всі екземпляри фрейму для обробки цих деталей будуть мати властивість ізоморфізму, тому що збережуться відносини між технологічними об'єктами. В цьому фреймі спостерігається два типи бінарних відносин: приречення, що зв'язують слоти "Поверхню", "Верстат", "Пристрій", "Інструмент", "Метод обробки"; черговості, що зв'язують, послідовно виконувани методи обробки. Кожен фрейм являє собою типове технологічне рішення, засноване на використанні властивостей ізоморфного відображення, яке зберігає рівень відносин між технологічними об'єктами, що складають це рішення. При цьому структура відносин залишається інваріантною для всіх екземплярів. Можна відзначити кілька можливих напрямків застосування фреймового підходу до технології механічної обробки. Перший напрямок – це аналіз існуючих технологічних процесів на наявність ізоморфного відображення між ними. Він дає можливість розробляти фрейми для конкретних виробничих умов, удосконалюючи існуючі технологічні процеси шляхом виявлення подібних технологічних рішень. Алгоритм для цього напрямку наступний:

1. Відбираються для аналізу технологічні процеси, які необхідно описати одним фреймом.
2. Кожен технологічний процес представляється, як частково упорядкована множина у виді діаграми Хассе.
3. Потім, використовуючи методіку чисельної оцінки ізоморфізму технологічних структур, визначаємо наявність ізоморфного відображення між відібраними технологічними процесами.
4. Технологічні процеси, що володіють властивістю ізоморфізму, виділяємо в окрему групу.
5. Використовуючи діаграми з п. 2 і визначення елементарного фрейму, що представляє технологічний перехід, формуємо фрейм, що буде відбивати виділену множину технологічних процесів.
6. Записуємо фрейм мовою формування фреймів конкретної експертної системи, а потім заносимо його в базу даних цієї системи.
7. Використовуємо отриманий фрейм, для проектування нових технологічних процесів.  
Відзначимо, що для технологічних процесів, які описуються одним фреймом, можна виділити окрему виробничу ділянку, де заготовки будуть оброблятися за ізоморфною технологією.  
Другий напрямок – виявлення потенційних можливостей технологічного процесу по обробці різних деталей. Для цього:
  1. Проектується технологічний процес механічної обробки конкретної деталі.
  2. Технологічний процес подається, як частково упорядкована множина технологічних об'єктів у вигляді діаграми Хассе.

3. На підставі отриманої діаграми і визначення фрейму для технології, розробляється фрейм, що оформляється за допомогою теорії відносин.
4. Застосовуючи ізоморфні відображення, тобто такі відображення, що зберігають відносини порядку на множині технологічних об'єктів, одержуємо множину заготовок, яку можна обробити за допомогою цього фрейму.
5. Отриманий фрейм записуємо мовою конкретної експертної системи і заносимо в базу знань для подальшого використання при проектуванні нових технологічних процесів.

Третій напрямок – побудова мережі фреймів на базі аналізу класів деталей (корпусні, тіла обертання і т.д.). Цей напрямок був використаний у підрозділі 4.3 дисертації.

Алгоритм цього напрямку наступний:

1. Аналізуємо номенклатуру деталей конкретного класу і виявляємо елементарні поверхні, що найбільш часто зустрічаються.
2. Формуємо технологічні маршрути для обробки цих поверхонь.
3. Описуємо технологічні маршрути множинами методів обробки з лінійним порядком, що припускає поступове наближення до заданої точності поверхонь, у вигляді діаграм Хассе.
4. Використовуючи отримані діаграми і визначення елементарного фрейму, що представляє технологічний перехід, формуємо фрейм-операцію для обробки зазначеної елементарної поверхні. В результаті виходить множина фреймів для обробки виявлених поверхонь.
5. Спираючись на особливості конкретного виробничого підрозділу, зробимо операцію теоретико-множинного об'єднання отриманих фреймів в один, котрий буде описувати технологічний процес для цілого класу деталей.
6. Опишемо отриманий фрейм мовою конкретної експертної системи і занесемо його в базу даних для подальшого використання при проектуванні нових технологічних процесів.

З урахуванням положень, викладених вище, у НТУ "ХП" розроблена система автоматизованого проектування керуючих програм для верстатів із ЧПК, яка використовує для проектування типові рішення, що фіксують структурно-схемні і функціонально – параметричні зв'язки між кадрами керуючої програми. Типові рішення оформляються у вигляді мереж фреймів. Виділення типових рішень здійснюється на підставі принципу ізоморфізму частин керуючих програм. Система являє собою цілком 32-bit додаток, що працює в середовищі операційної системи Windows 98. Найбільш раціональна галузь її застосування обмежується виробничими фірмами, що мають невеликий парк верстатів. Тут виникає необхідність швидко й оперативно по кресленню деталі створити керуючу програму. Звідси назва – "Система оперативного програмування" (СОП 2.0).

Опис системи наводиться у *п'ятому розділі*. Система СОП 2.0. має модульну структуру, що дозволяє швидко адаптувати її за бажанням користувача для різних виробничих умов. Існує стандартна конфігурація системи (рис. 5), що є прототипом для інших реалізацій системи. Мінімальний набір можливостей, наданих такою конфігурацією, забезпечується групами модулів: для складання керуючої програми; для одержання документації; для роботи з базою знань; для інтерактивної візуалізації керуючої програми шляхом імітаційного моделювання поведінки багатоцільового верстата.

Обов'язковим компонентом будь-якої конфігурації є інтерпретатор мови фреймів, при побудові якого використовувалася теорія кінцевих автоматів. Кінцеві автомати застосовувалися для розпізнавання мовних конструкцій. Мова дозволяє формувати фрейми різного призначення: фрейми – поняття, фрейми – сценарії, оповідальні фрейми.

Вона моделює фрейм як граф і/чи. Оператори мови реалізують ієрархічну структуру фрейму, в слотах якого може бути звертання до субфреймів і OLE – серверам. Сама

мова відноситься до мов фреймово – продукційного типу. Причому, інтерпретатор використовує спеціальний алгоритм розпізнавання фреймів, що спрощує їхній вибір і адаптацію до конкретної ситуації. Інтерпретатор прямо використовує бібліотеку спеціальних функцій системи Clation. Це дозволяє працювати з будь-якими математичними виразами і виконувати обробку рядків. В мові також передбачені всі сучасні вимоги до користувальницького інтерфейсу. Це відображається в операторах, що дозволяють під час процесу конкретизації фрейму виводити на екран графічний образ. За бажанням користувача набір стандартних функцій мови може бути розширений. Набір мовних функцій значним чином визначає спектр можливостей по проектуванню керуючих програм. В стандартній конфігурації мова нараховує біля двох десятків операторів, що реалізують різні види продукцій і фреймів, а також більш сорока функцій стандартної бібліотеки Clation.

СОП 2.0. має можливість інтеграції з різними обчислювальними системами за рахунок застосування OLE і DDE технологій. При цьому найбільш вигідно використовувати як сервери – програми математичних розрахунків. Ці додатки значно полегшують формування геометричних фреймів.

Класифікуємо фрейми керуючої програми, дотримуючись положення про те, що для кожного фрейму оброблюваного об'єкта існує два подання геометричне і програмне. Відповідно до цього фрейми будуть поділятися на програмні фрейми і фрейми геометрії. Програмні фрейми відображають поведінку системи, що представляється верстатом і системою ЧПК. Геометричні фрейми відображають геометричні відносини між елементами контуру. Ці відносини визначаються системою розмірів, заданою на кресленні.

По своїй структурі фрейми будемо класифікувати по ступеню інтеграції і функціональному призначенню. Ступінь інтеграції визначається об'єднанням фреймового і продукційного подання знань для взаємної компенсації недоліків, властивих кожному з них. Слотами фрейму керуючої програми є слова кадру. Існує прикордонна конфігурація, коли конкретний фрейм керуючої програми не може відображати фрейм геометрії. В цьому випадку для фрейму геометрії повинен існувати інший фрейм керуючої програми. Такий підхід дозволяє використовувати різні додатки при проектуванні керуючої програми.

Для проектування геометричних фреймів може застосовуватися будь-який математичний додаток, а для проектування програмних файлів – експертна технологічна система, що дозволяє здійснити інтеграцію додатків за рахунок OLE – технології. У нашому випадку, для розробки геометричних фреймів використовується MathCAD. Структура геометричного фрейму в середовищі MathCAD виглядає в такий спосіб:

1. Зона введення інформації.
  - 1.1. Зона заповнення слотів, описаних змінними.
  - 1.2. Графічне зображення геометричного фрейму, отримане за допомогою іншого додатку.
2. Математичні розрахунки з проміжним відображенням результатів за допомогою графічних функцій додатку.
3. Підготовка інформації до вигляду необхідного для передачі і безпосередньо передача. Тут є можливість зробити попередні розрахунки, відключивши етап скидання інформації. Кожен крок алгоритму можна відстежити і перевірити всі проміжні дані, що приводить до осмисленої роботи інженера з фреймами, внаслідок чого підвищується якість проектування. Після передачі інформації керування передається експертній системі, що за

допомогою фреймів керуючої програми формує кадри керуючої програми.

## ВИСНОВКИ

1. Удосконалювання методу типізації технологічних процесів ґрунтується на використанні властивостей структурної організації інформаційного полячи технологічного проектування для одержання нових типових технологічних рішень, орієнтованих на автоматизоване проектування і поданих за допомогою схемно-структурних (фреймів) і функціонально-параметричних (продукції) моделей знань, що усуває їхню спрямованість на просту фіксацію старого досвіду і дає можливість одержувати зовсім нові технологічні рішення.
2. В основі нових типових технологічних рішень лежить подання технологічного переходу, як частково впорядкованої множини, а технологічної операції – як системи частково впорядкованих множин, що дозволяє оформляти їх у вигляді мережі фреймів, де фіксуються найбільш загальні структурно-схемні і функціонально-параметричні зв'язки між структурними елементами технологічного процесу.
3. Для застосування запропонованих типових рішень необхідно, щоб за елементарну одиницю знань виступав фрейм технологічного переходу; технологічна операція була описана мережею елементарних технологічних фреймів; над елементарними технологічними фреймами виконувалися дії, що дозволять формувати на базі наявних фреймів нові технологічні рішення; технологічний фрейм відбивав сценарій обробки і відносини між структурними елементами технологічного процесу.
4. Отримане типові рішення дозволяє описати більшу кількість ізоморфних станів системи "Багатоцільовий верстат – СЧПК", для відображення яких застосовується математична модель, яка подає стани структурних елементів системи багатомірними векторами в дискретні моменти часу, що дозволяє застосувати для аналізу її функціонування методи теорії структур і теорії розпізнавання, які дають можливість чисельно оцінити наявність ізоморфного відображення між двома множинами станів системи.
5. Математична модель системи "Технологічний процес", створена на основі моделювання особливих станів виробничої системи, розв'язує проблему аналізу якісних станів системи методами математичної статистики, що дає можливість виявляти типові моделі поведінки системи "Технологічна операція", які володіють властивістю ізоморфного відображення, і формувати на їхній базі типові технологічні рішення.
6. В процесі технологічного проектування можливі наступні напрямки використання нового підходу:
  - аналіз існуючих технологічних процесів на наявність ізоморфного відображення між ними, а потім формування типових рішень у вигляді мережі фреймів;
  - виявлення потенційних можливостей структури технологічного процесу по обробці різних деталей;
  - побудова мережі фреймів на базі аналізу окремого класу деталей.
7. Застосування фреймового підходу до проектування КП дозволяє:
  - уперше відмовитися від використання інваріантних постпроцесорів для адаптації КП, створених засобами СОП 2.0, до різних СЧПК і сполучити деякі етапи проектування за рахунок чого сумарна трудомісткість проектування КП у цій системі знижується на 37%;
  - вести програмування безпосередньо в кодах ISO 7-bit, що прискорює процес адаптації проектувальників до цієї системи, знижуючи при цьому вартість навчання фахівців, і дає можливість використовувати весь досвід, накопичений провідними спеціалістами підприємства, для одержання нових проектних рішень;
  - адаптувати систему до СЧПК верстата зміною банку фреймів, що розробляється після аналізу структури проектних рішень на наявність ізоморфізму і дозволяє за допомогою

- невеликої кількості фреймів проектувати досить складні КП;
8. В мові фреймів САП КП СОП 2.0 для виклику різних розрахункових процедур використовується OLE – технологія, що розширює обчислювальні можливості фреймів за рахунок використання могутніх математичних додатків для проведення оптимізаційних розрахунків, це підвищує ефективність типових рішень і дозволяє створити єдине обчислювальне середовище технологічного проектування, яке складається з різних додатків, а це в свою чергу підвищує ефективність самого процесу проектування.
  9. Очікуваний економічний ефект від упровадження САП СОП 2.0 при проектуванні КП для виробничої ділянки з 10 верстатів із ЧПК складає 32723,8 грн.; він обумовлений зниженням трудомісткості проектування, а також зниженою вартістю нової системи, що не використовує інваріантний постпроцесор, і більш низькими капіталовкладеннями.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Фролов В.В. Фреймовий підхід к созданию управляющих программ для станков с ЧПУ //Вестник ХГПУ. –1998.– №17. – С.40–46
2. Фролов В.В. Структура и характеристики системы автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ СОП 1.1.//Вестник ХГПУ. –1998.– №17.–С.47–49
3. Фролов В.В. Представление технологической операции с помощью концепций современной абстрактной алгебры //Вестник ХГПУ. – 1999. – №32. –С.124–128
4. Фролов В.В. Применение принципа изоморфизма при построении структуры процесса механической обработки.// Вестник ХГПУ.– 2000.– №80 – С.65–67
5. Фролов В.В. Векторное представление методов механической обработки.//Вестник ХГПУ. –2000.– №82. – С.38–40
6. Фролов В.В. Экспертная система для проектирования управляющих программ на станки с ЧПУ. //Вестник ХГПУ. –2000.– №83 – С.25–26

### **АНОТАЦІЇ**

Фролов В.В. Підвищення ефективності проектування технології для багатоцільових верстатів із ЧПК при удосконалюванні методу типізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття ученого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.02.08. – технологія машинобудування. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". Харків 2001 рік.

Захищається робота, метою якої є підвищенні ефективності проектування технології обробки різанням для багатоцільових верстатів із ЧПК, обумовлене зниженням трудомісткості і підвищенням надійності формування технологічної структури процесу обробки і керуючих програм за рахунок удосконалювання методу типізації. В основі нових типових технологічних рішень лежить подання технологічного переходу, як частково упорядкованої множини, а технологічної операції – як системи частково упорядкованих множин, що дозволяє оформляти їх у вигляді мережі фреймів, де фіксуються найбільш загальні структурно-схемні і функціонально-параметричні зв'язки між структурними елементами технологічного процесу.

Ключові слова: типізація, фрейми, структура технологічного процесу, технологічний перехід, керуюча програма.

Фролов В.В. Повышение эффективности проектирования технологии для многоцелевых станков с ЧПУ при совершенствовании метода типизации. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08. – технология машиностроения. Национальный технический

университет "Харьковский политехнический институт". Харьков 2001 год. Защищается работа, целью которой является повышение эффективности проектирования технологии обработки резанием для многоцелевых станков с ЧПУ, определяемое снижением трудоемкости и повышением надежности формирования технологической структуры процесса обработки и управляющих программ за счет совершенствования метода типизации.

Совершенствование метода типизации технологических процессов основывается на использовании свойств структурной организации информационного поля технологического проектирования для получения новых типовых технологических решений, ориентированных на автоматизированное проектирование и представленных с помощью схемно-структурных (фреймы) и функционально-параметрических (продукции) моделей знаний, что устраняет их направленность на простую фиксацию старого опыта и дает возможность получать совершенно новые технологические решения.

В основе новых типовых технологических решений лежит представление технологического перехода, как частично упорядоченного множества, а технологической операции – как системы частично упорядоченных множеств, что позволяет оформлять их в виде сети фреймов, где фиксируются наиболее общие структурно-схемные и функционально-параметрические связи между структурными элементами технологического процесса.

Для применения предлагаемых типовых решений необходимо, чтобы: в качестве элементарной единицы знаний выступал фрейм технологического перехода; технологическая операция была представлена сетью элементарных технологических фреймов; над элементарными технологическими фреймами выполнялись действия, которые позволят формировать на базе имеющихся фреймов новые технологические решения; технологический фрейм отражал сценарий обработки и отношения между структурными элементами технологического процесса.

В процессе технологического проектирования возможны следующие направления использования нового подхода:

- анализ существующих технологических процессов на наличие изоморфного отображения между ними, а затем формирование типовых решений в виде сети фреймов;
- выявление потенциальных возможностей структуры технологического процесса по обработке различных деталей;
- построение сети фреймов на базе анализа отдельного класса деталей.

В НТУ "ХПИ" разработана система автоматизированного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ СОП 2.0 (Система оперативного программирования), использующая для проектирования новые типовые решения, фиксирующие схемно-структурные и функционально – параметрические связи между кадрами управляющей программы. Типовые решения оформляются в виде сетей фреймов. Выделение типовых решений осуществляется на основании принципа изоморфизма частей управляющих программ.

Система представляет собой полностью 32-bit приложение, работающее в среде операционной системы Windows 98. Наиболее рациональная область ее применения ограничивается производственными фирмами, имеющими небольшой парк станков. Здесь возникает необходимость быстро и оперативно по чертежу детали создать управляющую программу.

Система СОП 2.0. имеет модульную структуру, которая позволяет быстро адаптировать ее по желанию пользователя для различных производственных условий.

Применение фреймового подхода к проектированию УП в этой системе позволяет:

- впервые отказаться от использования инвариантных постпроцессоров для адаптации УП, созданных средствами СОП 2.0, к различным СЧПУ и совместить некоторые этапы проектирования за счет чего эффективность процесса проектирования;
- вести программирование непосредственно в кодах ISO 7-bit, что ускоряет процесс адаптации проектировщиков к этой системе, снижая при этом стоимость обучения специалистов, и дает возможность использовать весь опыт накопленный ведущими специалистами предприятия для получения новых проектных решений;
- адаптировать систему к УЧПУ станка сменной банка фреймов, который разрабатывается после анализа структуры проектных решений на наличие изоморфизма и позволяет с помощью небольшого количества фреймов проектировать достаточно сложные УП.

Ключевые слова: типизация, фреймы, структура технологического процесса, технологический переход, управляющая программа.

Frolov V.V. Increase of process design efficiency for software machining center by perfection of family-related parts selection method. - Manuscript

The thesis for a technical sciences candidate's degree in speciality 05.02.08. – engineering technology. - National technical university "Kharkov polytechnical institute", Kharkov, 2001.

Thesis directed on increase of flexible machining efficiency, determined by decrease of planning time and increase safety of design organisational framework and part-family program by perfection of family-related parts selection method is supported. New typical technological decisions based on idea of cutting pass as partially ordered set, and machining operation as system of the partially ordered sets, that allows to make out them in the form of a frames network, where the most general structural - circuit and functional - parametrical communications between structural elements of technological process are fixed.

Keywords: family - related parts selection, frames, organisational framework, machining program.