

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

**Шелковий Олександр Миколайович**

**УДК 621.9.014:658.512.011.056:681.3.06(043.3)**

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕІНЖИНІРІНГА  
ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МЕТАЛООБРОБКИ**

Спеціальність 05.02.08- Технологія машинобудування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків

**Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор

**Тимофієв Юрій Вікторович,**

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор

**Мовшович Олександр Якович,**

Науково-дослідний інститут технології машинобудування, м. Харків,

заступник директора - головний інженер;

доктор технічних наук, професор

**Михайлов Олександр Миколайович,**

Донецький Національний технічний університет, м. Донецьк,

завідувач кафедри технології машинобудування.

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**Жолткевич Григорій Миколайович,**

Харківський Національний університет, м. Харків,

професор кафедри вищої математики та інформатики;

**Провідна установа:**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", кафедра технології машинобудування. Міністерство освіти і науки України, м. Київ.

Захист відбудеться " 25 " листопада 2004 р. о 14 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 ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий " 22 " жовтня 2004 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вітчизняна практика застосування реінжиніринга показала, що цей метод необхідний, особливо в умовах проведення глобальної економічної реформи й активної інтеграції України у світову економічну систему. В умовах специфіки української економіки існує три основних варіанти позитивного ухвалення рішення про проведення реінжиніринга підприємства: заплановане розширення підприємства; об'єднання складності, об'ємності й гнучкості виробництва; усунення деяких протиріч в організаційній структурі підприємства. Вирішуючи проблеми гнучкості і нарощування виробництва, реінжинірінг бізнес-процесів дозволяє перевести організаційно-технологічну структуру підприємства на модульну основу і маніпулювати з його об'єктами без істотної зміни апарата управління зі збереженням логіки його функціонування.

Проблеми, що виникають при цьому, не можна вирішити тільки за рахунок підвищення ефективності використання основного часу технологічного устаткування тому, що воно складає тільки 6 ... 20% від загального часу завантаження виробництва. Тому основний упор зроблений на автоматизації допоміжних операцій, забезпеченні автоматичного функціонування устаткування у вечірні і нічні зміни, різкому скороченні часу переналагоджень, переоснащення, зміни інструмента, автоматизації керування матеріальними й інформаційними потоками. Для реалізації такого підходу необхідно створити методологічні основи технологічного проектування, що адаптується до швидкої зміни умов виробництва.

Разом з тим, процес створення організаційно-технічних і технологічних структур виробничих систем, як і раніше, поділяється на два етапи: технологічну й організаційну підготовку виробництва. Це, при удаваній гнучкості проектування, призводить до жорстких схем організаційно-технологічних структур виробничих систем (ВС), у яких варіювати процесами обробки можливо тільки на етапі технологічної підготовки виробництва, а її організаційне проектування орієнтується на задані технологічні схеми. Це істотно зменшує виробничий потенціал ВС і в багатьох випадках призводить до тривіального копіювання технологічних процесів, в яких використовується ручна праця.

Тому створення наукових основ підвищення ефективності виробничої системи обробки металів різанням (ОМР) шляхом її перепроєктування за рахунок розробки раціональних структур технологічних процесів на базі інтеграції автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) з автоматизованими системами керування (АСК) є актуальною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації є частиною наукового напрямку кафедри технології машинобудування і металорізальних верстатів Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, пов'язаного з підвищенням ефективності проектування, виготовлення та експлуатації автоматизованого технологічного устаткування, і відповідає комплексним цільовим науково-технічним програмам України КЦНТП-14 і

КЦНТП-22. Робота виконувалась в рамках договорів про творче співробітництво “Розробка організаційно-технічних і конструкторсько-технологічних рекомендацій з підвищення якості виконуваних операцій, міцності, надійності й довговічності деталей і вузлів технологічного устаткування” із Харківським науково-дослідним і проектно-конструкторським інститутом засобів технологічного устаткування "ВЕЛТ" та "Розробка організаційно-технічних і конструкторсько-технологічних рекомендацій з підвищення ефективності обробки деталей шпindelної групи шліфувального верстата" із Харківським верстатобудівним заводом "ХАРВЕРСТ".

Здобувач брав безпосередню участь у виконанні першої НДР як виконавець, другої – як науковий керівник.

**Мета і задачі дослідження.** Мета - підвищення ефективності виробничої системи обробки металів різанням (ВС ОМР) шляхом розробки організаційно-технологічних основ її функціонування, що включають у себе проектування багатоваріантної технології обробки й організаційної структури виробничої системи в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати принципи керування параметрами і структурою ВС ОМР на основі аналізу середньої пропускну здатності й енергетичних затрат у ВС;
- розробити імітаційну модель ВС ОМР, що складається з транспортно-складської й обробної підсистем і функціонує в режимі реального часу;
- описати механізм формування структури багатоваріантного технологічного процесу на основі аналізу імітаційної моделі ВС ОМР;
- розробити методологію організаційно-технологічного проектування структури ВС ОМР на основі імітаційного моделювання в режимі реального часу;
- теоретично обґрунтувати можливість спрямованої зміни структур і параметрів технологічних процесів і організаційної структури ВС відповідно до заданих характеристик партій обробки і календарного плану випуску виробів;
- розробити методіку перепроєктування організаційно-технологічного компонування виробничих систем різного рівня інтеграції;
- перевірити основні положення методології проектування багатоваріантних технологій в умовах серійного виробництва.

*Об'єкт дослідження* - технічне, технологічне й організаційне компонування виробничої системи обробки металів різанням.

*Предмет дослідження* - закономірності формування і методи керування організаційно-технічним і технологічним компонуванням виробничою системою обробки металів різанням на

рівні ділянки й цеху з метою одержання виробів заданої якості в терміни, обумовлені планом випуску.

*Методи дослідження.* Методологічною основою роботи є системний підхід до вивчення й опису системи й об'єкта дослідження і, насамперед, технологічних процесів, як основи формування принципів керування ВС, принципів організації процесів функціонування і взаємодії транспортно-накопичувальної й обробної підсистем, принципів організаційно-технічної побудови автоматизованих складів, автоматизованої транспортної системи, гнучких обробних модулів, принципів моделювання і керування структурою й параметрами дискретних систем у режимі реального часу.

Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії технології машинобудування, великих систем, автоматичного керування, імітаційного моделювання й розпізнавання образів.

При створенні програмно-методичного комплексу системи імітаційного моделювання ВС використана теорія алгоритмів і принципи структурного об'єктно-орієнтованого програмування, методи дискретної оптимізації. При рішенні транспортної задачі використані методи штучного інтелекту й теорія нечітких множин.

Результати експериментальних досліджень оброблялись з залученням методів дисперсійного й регресійного аналізу.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше розроблені нові методологічні положення організаційно-технологічного проектування, які дозволяють підвищити техніко-економічні показники виробничих систем та реалізувати обґрунтований "реінжинірінг" існуючих виробничих систем за рахунок оптимального проектування технологічних процесів і організаційних компонентів по часовим та енергетичним характеристикам ВС шляхом використання у якості апарату синтезу імітаційного моделювання в режимі реального часу. Основою методології є:

- узагальнена імітаційна модель взаємодії у часі партій обробки з технологічним устаткуванням і транспортно-накопичувальною системою;
- програмний комплекс синтезу організаційно-технологічних структур виробничих систем на основі імітаційного моделювання в режимі реального часу, що реалізує технічну, технологічну й організаційну гнучкість проектування;
- багатоваріантна технологія обробки й оптимального керування організаційною, технічною і технологічною структурами ВС;
- програмно реалізоване проектування гнучких технологій у вигляді продукційної системи обробки знань про взаємодію й розвиток типових технологічних структур ВС на різних рівнях ієрархії (від робочого місця до цеху).

**Практична цінність одержаних результатів.** На основі виконаних узагальнень теоретичних досліджень і розроблених математичних моделей розроблено методику реінжинірінгу існую-

чих виробничих систем обробки різанням на основі імітаційного моделювання в режимі реального часу дискретних виробничих систем із різним рівнем автоматизації допоміжних операцій, що містить у собі:

- методику реінжинірінга існуючих систем обробки різанням на основі скорочення часових, матеріальних та енергетичних витрат на виробничий процес;
- методику синтезу організаційно-технологічного компонування виробничої системи шляхом імітаційного моделювання її організаційно-технологічної структури;
- методику аналізу існуючих систем обробки різанням на основі розрахунку їхніх техніко-економічних характеристик;
- програмне забезпечення системи імітаційного моделювання виробничих систем обробки різанням, що включає в себе: системний монітор, підсистему імітаційного моделювання ВС, систему керування базою даних про характеристики процесів і устаткування, векторний графічний редактор, систему автоматизованого проектування типових технологічних процесів;
- базу знань про об'єкти, що моделюються, яка включає програми моделювання роботи обробних модулів і складів, типові технологічні процеси, інформаційну базу для поелементного нормування ручної праці.

Застосування методології реінжинірінга організаційно-технологічних структур виробничих систем дозволило знизити енергоємність виробничих систем на 10 - 32%, зменшити виробничі площі на 25-47%, дістати середньорічний прибуток на умовну одиницю продукції в розмірі 32-136 гривень при двозмінній роботі цеху.

Результати досліджень впровадженні на підприємствах машинобудування й електротехнічної промисловості. За замовленням ВАТ Харківський завод шліфувальних верстатів "ХАРВЕРСТ" розроблене технічне завдання на проект ділянки ГВС для обробки деталей шпindelної групи шліфувального верстата. За замовленням ВАТ науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут засобів технологічного устаткування "ВЕЛТ" (м. Харків) розроблені організаційно-технічні і конструкторсько-технологічні рекомендації для підвищення якості й поліпшенню технологічної структури операцій механічній обробки деталей електричних двигунів. Загальний економічний ефект складає 595.65 тисяч гривень (частина автора 208.73 тисяч гривень).

**Особистий внесок здобувача.** Результати теоретичних і експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Автор виконав наукові розробки в області технології машинобудування, що зв'язані з рішенням важливої науково-прикладної проблеми - підвищенням техніко-економічної ефективності гнучкої виробничої системи механічної обробки металів різанням на основі автоматизованого перепроєктування організаційно-технологічних структур виробничих систем на основі імітаційного моделювання. Постановка задачі й обговорення на-

укових результатів виконані разом із науковим консультантом і частково зі співавторами публікацій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися й одержали позитивну оцінку на міжнародних науково-технічних конференціях (НТК): "Комп'ютер: наука, техніка, технологія, утворення, здоров'я" (1993 р., 1994 р., м. Харків); "Автоматизація конструювання виробів і проектування технологічних процесів у машинобудуванні" (1994 р., м. Суми); "Нові технології в машинобудуванні" (1994 р., м. Харків); "Нові технології і системи обробки в машинобудуванні" (1994 р., м. Донецьк, ДонДТУ); "Високі технології в машинобудуванні: моделювання, оптимізація, діагностика" (1994 р., м. Алушта, ХДПУ); "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (1995 р., 1997 р., 2002 р., м. Харків); "Автоматизація проектування і виробництва виробів у машинобудуванні" (1995 р., м. Суми); "Прогресивна техніка і технології машинобудування" (1995 р., м. Севастополь); на міжнародній НТК "Сучасні технології, економіка й екологія в промисловості, на транспорті й у сільському господарстві" (1998 р., м. Алушта); на міжнародній НТК "Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва" (1998 р., 2001 р., 2002 р., м. Київ); на міжнародному НТК "Високі технології в машинобудуванні: сучасні тенденції розвитку" (1994 р., 1997 р., 1998 р., 2000 р., 2001 р., 2002 р., 2003 р., м. Харків - Алушта, ХДПУ); на міжнародних НТК "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, утворення, здоров'я" (1995 р., 1997 р., 2000 р., 2001 р., 2002 р., 2003 р., 2004 р., м. Харків, НТУ "ХП"); на міжнародній НТК "Проблеми теорії і практики технології машинобудування, механічної і фізико-технічної обробки" (2000 р., м. Харків); на 7-й міжнародній НТК "Сучасні технології, економіка й екологія в промисловості, на транспорті й у сільському господарстві" (2000 р., м. Суми); на міжнародному конгресі "Конструкторсько-технологічна інформатика - 2000" (2000 р., м. Москва, МДТУ "СТАНКІН", Росія); на міжнародному НТК "Високі технології в машинобудуванні: сучасні тенденції розвитку" (2000 р., 2002 р., м. Алушта); на міжнародній НТК "Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, навколишнє середовище" (2001 р., м. Харків); на міжнародних НТК "Фізичні і комп'ютерні технології в народному господарстві" (2001 р., 2002 р., 2003 р., м. Харків); на 2-й міжнародній НТК "Прогресивна техніка і технологія -2001" (2001 р., м. Київ - Севастополь, НТУУ "КПІ"); на міжнародній НТК "Проблеми створення нових машин і технологій" (2001 р., м. Кременчук); на 6-му міжнародному конгресі двигунобудівників (2001 р., сел. Рибальське, республіка Крим, Національний аерокосмічний університет ім. Н.С. Жуковського "ХАІ", Україна); на IX міжнародній НТК "Машинобудування і техносфера XXI століття" (2002 р., м. Севастополь); на міжнародній НТК „Нові процеси і їхні моделі в ресурсо- й енергозберігаючих технологіях” (2003 р., м. Одеса); на міжнародній НТК „Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні. Різальний інструмент і оснащення” (2003 року, м. Санкт-Петербург, Росія); на 3-й міжнародній НТК „Технології третього тисячоріччя” (2003 р.,

м. Санкт-Петербург, Росія); на 3-й міжнародній НТК “Розробки в машинобудуванні” RaDMI 2003 (2003 р., м. Герцег Нова, Сербія і Македонія); на конференції “Дослідження й освіта” (2004 р., м. Мішкольц, Угорщина).

**Публікації.** Основні результати дисертації викладені в 54 наукових працях, серед яких 38 наукових статей у спеціалізованих виданнях, 16 статей за матеріалами конференцій.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків та 10 додатків. Повний обсяг дисертації 470 сторінок, з них 90 ілюстрацій по тексту, 66 ілюстрацій на 63 сторінках; 4 таблиці по тексту; 8 таблиць на 8 сторінках; 10 додатків на 109 сторінках, 270 найменувань використаних літературних джерел на 32 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ.** Обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, викладаються положення, що виносяться на захист, теоретична й практична цінність отриманих результатів досліджень, рівень реалізації й впровадження наукових розробок.

**У першому розділі** виконаний аналіз основних напрямків технологічного проектування, пов'язаних з автоматизацією допоміжних операцій у системах механічної обробки різанням. Традиційним є підхід, що ґрунтується на поетапному формуванні технологічної системи (роботи Аверченкова В.І., Вавуліна О.О., Гавриша А.П., Глоби А.В., Горанського Г.К., Карпуся В.С., Комісарова В.І., Корчака С.М., Митрофанова В.Г., Михайлова О.М., Остаф'єва В.О., Соломенцева Ю.М., Тимофієва Ю.В. і ін.): створення технологічного процесу обробки кожної партії виробів, його "прив'язка" до наявного устаткування (зборка системи обробки з окремих вузлів, агрегатів і верстатів і їхнє настроювання під розроблену технологію), обробка партії виробів. Такий підхід багато в чому виправдує себе в умовах масового і крупносерійного виробництва. В умовах використання ГВС він не прийнятний, тому що губиться основна перевага виробничої системи - гнучкість і мобільність процесу обробки.

З цього погляду найбільш перспективним напрямком на сучасному етапі розвитку засобів обчислювальної техніки є створення "пілотних" систем проектування й керування виробничими процесами (роботи Бусленка М.П., Вавилова О.О., Доннела С., Душинського В.В., Майорова С.О., Макарова І.М., Митрофанова С.П., Капустіна М.М., Клейна Дж., Кунца Г., Петракова Ю.В., Пуховського Е.С., Ямпольського Л.С. і ін.). Ці системи дозволяють формувати технологічні операції механічної обробки різанням на основі типових, групових методів без зупинки виробничої системи для реалізації технологічної підготовки виробництва. Однак вони знайшли широке поширення лише на рівні створення технологій для окремих обробних модулів і ділянок виробничих систем і, як правило, не зв'язані між собою будь-якими організаційними, технічними і технологічними обмеженнями. Створення багатоваріантної технології для ділянки, цеху, заводу багато в чо-



му дозволило б більш ефективно використовувати все наявне устаткування в рамках єдиної концепції підвищення гнучкості і мобільності виробництва.

Практика організаційно-технологічної підготовки виробництва в гнучких виробничих системах обробки металів різанням характеризується високим ступенем невизначеності часових характеристик виробничого процесу. Це обумовлено рядом причин, серед яких, на наш погляд, основною є багатоміноменклатурність виробництва. Вона приводить, з одного боку, до створення систем обробки, що мають високу технологічну й організаційну гнучкість, а з іншого боку - до асинхронності технологічних операцій, що виконуються. Завдяки чому збільшується час перебування об'єктів обробки в технологічній системі, а це, в свою чергу, приводить до появи черг у обробних модулях.

Одним із засобів боротьби з чергами в технологічних системах такого роду є створення міжопераційних нагромаджувачів і верстатів-дублерів на технологічних операціях, що є лімітуючими. При цьому у якості інструменту розрахунків використовуються імітаційні моделі з постійною технологічною структурою процесів обробки кожної поверхні. Це підтверджується широким використанням при технологічній підготовці гнучкого виробництва типових і групових методів проектування технологічних процесів (роботи Беяніна П.Н., Блекмана М., Бусленка В.М., Вавилова О.О., Васильєва В.М., Лещенка В.О., Кисельова Г.А., Лескіна А.А., Петрова В.А., Поспелова Д.А.). Тим самим зважається лише організаційна частина задачі збільшення пропускної здатності ВС.

Для підвищення технологічної ефективності ВС пропонується концепція реінжинірінга існуючих структур технологічних процесів шляхом імітації виробничої діяльності підприємства. Методологія проектування базується на використанні у якості вихідних даних типових технологічних процесів, що формуються на етапі технологічної підготовки виробництва і корегуються на протязі імітаційного моделювання в режимі реального часу.

**В другому розділі** виконана загальна постановка задачі імітаційного моделювання гнучкої виробничої системи на прикладі формалізації функціональної схеми ділянки механічної обробки різанням деталей типу "Вал" (рис. 1).

Рис. 1. Приклад планування ділянки для обробки деталей типу "Тіла обертання"

У таблиці (рис. 2) представлені основні характеристики елементів і процесів:  $x_1$  - гнучкий виробничий модуль (ГВМ);  $x_2$  - автоматизований транспортний модуль (АТМ);  $x_3$  - автоматизований склад (АС);  $x_4$  - об'єкт обробки;  $x_5$  - технологічна операція (ТО);  $x_6$  - технологічний процес (ТП);  $x_7$  - партія виробів (ПВ);  $x_8$  - траса переміщення АТМ (ТПА), що протікають у ГВС ОМР.

Рис. 2. Структура і параметри об'єкта імітаційного моделювання в режимі реального часу

Відомо, що цілеспрямоване функціонування виробничої системи може бути описано наступним виразом:

$$\left[ x_7(x_4 \{3\}) \otimes_{\min(A, N, T, C)}^{\{x_5, x_6\}} \{x_1, x_2, x_3\} \right] \Rightarrow x_7(x_4 \{D\}), \quad (1)$$

де  $x_1, \dots, x_7$  - позначення елементів і процесів, що належать ВС; 3, Д - стани об'єкту обробки (заготівка, деталь); А, N, Т, С - можливі критерії формування організаційно-технічних і технологічних рішень у процесі функціонування ВС (А - виконана робота, N - потужність енергетичного устаткування, що витрачена на процеси обробки і транспортування, Т - час обробки і транспортування, С - приведені витрати на створення і підтримку виробничої системи в працездатному стані);  $\otimes$  - знак взаємодії елементів ВС;  $\Rightarrow$  - знак проходження.

Тоді, з урахуванням (1), вибір елементів ГВС і створення на їхній основі активних структур, що реалізують процеси обробки, транспортування і складування, можна представити у вигляді семантичної мережі (рис. 3), побудованої на часових мережах Петрі. Для цього описані стани (S), у яких можуть знаходитися елементи ВС у процесі виконання виробничого завдання (табл. 1).

Розглянемо механізм функціонування семантичної мережі (рис. 3) для випадку обробки однієї партії виробів. Всі елементи ВС знаходяться в стані чекання ( $S_{1,1}, S_{2,1}, S_{3,1}$ ), а партія виробів знаходиться на складі в стані "Заготівка" ( $S_{7,1}$ ).

Для переходу партії виробів (ПВ) зі стану "Заготівка" -  $S_{7,1}$  у стани: "Чекання розвантаження" -  $S_{7,2}$  (вектор переходу стану (BC) зі стану  $S_{7,1}$  у стан  $S_{7,2}$  -  $BC = \overrightarrow{S_{7,1}S_{7,2}}$ ) чи "Деталь" -  $S_{7,7}$  ( $BC = \overrightarrow{S_{7,1}S_{7,7}}$ ) необхідно створити вектор управління пошуком технологічного процесу (ТП) ( $BY = \overrightarrow{S_{7,1}x_6}$ ).

Якщо обрана чергова технологічна операція ( $BY = \overrightarrow{x_6x_5}$ ), то нею реалізується пошук вільного технологічного устаткування, що відповідає її структурі і параметрам. При цьому елемент ВС, на якому має бути виконана обробка, переходить у стан "Чекання завантаження" (2), рис. 3:

$$\left( BY = \overrightarrow{x_5S_{1,2}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{1,1}S_{1,2}} \right) \vee \left( BY = \overrightarrow{x_5S_{3,4}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{3,1}S_{3,4}} \right), \quad (2)$$

де  $\rightarrow$  - зв'язка "якщо ..., тоді ...";  $\vee$  - зв'язка "або".

Рис. 3. Семантична мережа зміни стану елементів ВС.

Партія виробів переходить у стан "Деталь" -  $S_{7,7}$ , якщо всі технологічні операції, що відповідають даному ТП, уже виконані:

$$BY = \overrightarrow{x_6 S_{7,7}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{7,1} S_{7,7}}. \quad (3)$$

Партія виробів у стані "Чекання розвантаження" -  $S_{7,2}$  керує переходом ГВМ (АС), на якому вона знаходиться, у стан "Чекання розвантаження":

$$\left( BY = \overrightarrow{S_{7,2} S_{1,4}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{1,3} S_{1,4}} \right) \vee \left( BY = \overrightarrow{S_{7,2} S_{3,2}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{3,1} S_{3,2}} \right). \quad (4)$$

Вона також ініціює пошук такого АТМ, який знаходиться в стані "Чекання" -  $S_{2,1}$ , що міг би забезпечити її транспортування до місця виконання чергової технологічної операції (ТО). При цьому АТМ переходить у стан "Переміщення" -  $S_{2,2}$  з метою завантаження поточною партією виробів:

$$BY = \overrightarrow{S_{7,2} S_{2,2}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{2,1} S_{2,2}}. \quad (5)$$

Переміщення АТМ до місця розвантаження АС (ГВМ) переводить його в стан "Завантаження" -  $S_{2,3}$ , що відповідає завантаженню транспортного модуля партією виробів, що очікує завантаження  $\left( BC = \overrightarrow{S_{2,2} S_{2,3}} \right)$ . При цьому можуть бути сформовані наступні вектори управління:

$BY_1 = \overrightarrow{S_{2,3} S_{7,3}}$  - перехід ПВ в стан "Розвантажується" -  $S_{7,3}$ ;  $BY_2 = \overrightarrow{S_{2,3} S_{3,3}}$  - перехід складу в стан "Транспортування - Розвантаження" -  $S_{3,3}$ , якщо ПВ знаходиться на складі;  $BY_3 = \overrightarrow{S_{2,3} S_{1,5}}$  - перехід ГВМ у стан "Розвантаження" -  $S_{1,5}$ , якщо ПВ знаходиться в ГВМ:

$$\left( BY_1 = \overrightarrow{S_{2,3} S_{7,3}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{7,2} S_{7,3}} \right) \wedge \left[ \left( BY_2 = \overrightarrow{S_{2,3} S_{3,3}} \rightarrow BC = \overrightarrow{S_{3,2} S_{3,3}} \right) \vee \dots \right], \quad (6)$$

де  $\wedge$  - зв'язка "і".

Таблиця 1.

Стан АС "Розвантаження-транспортування" -  $S_{3,3}$  характеризується двома фазами: пошуком партії виробів на стелажах АС  $\left( t_{pi}^{AC} \right)$  і перекладкою ПВ з транспортного пристрою АС на накопичувач АТМ  $\left( t_{pr}^{AC} \right)$ . Стан ГВМ "Розвантаження" -  $S_{1,5}$  характеризується перекладкою ПВ з накопи-

чувача ГВМ на накопичувач АТМ. Це призводить до того, що АТМ знаходиться в місці розвантаження ГВМ (АС) протягом часу перевантаження партії виробів  $\left(t_{pr}^{ГПМ}(t_{pr}^{АС})\right)$ . При цьому АТМ, як правило, є пасивним елементом у системі АТМ - ГВМ (АС). Тому перехід  $\left(BC = \overline{S_{2,3}S_{2,4}}\right)$  АТМ у стан "Транспортування" -  $S_{2,4}$  здійснюється під управлінням ГВМ (АС):  $\left(BY = \overline{S_{1,5}S_{2,4}}\right) \vee \left(BY = \overline{S_{3,3}S_{2,4}}\right)$ . При цьому ГВМ (АС) породжує вектор управління  $\left(BY = \overline{S_{1,5}S_{7,4}}\right) \vee \left(BY = \overline{S_{3,3}S_{7,4}}\right)$ , що переводить ПВ в стан транспортування  $\left(BC = \overline{S_{7,3}S_{7,4}}\right)$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[ \left( \overline{BY = S_{1,5}S_{2,4}} \right) \vee \left( \overline{BY = S_{3,3}S_{2,4}} \right) \right] \xrightarrow{t_{pr}^{ГПМ} \vee (t_{pr}^{АС} + t_{pi}^{АС})} \left( \overline{BC = S_{2,3}S_{2,4}} \right) \\ \left[ \left( \overline{BY = S_{1,5}S_{7,4}} \right) \vee \left( \overline{BY = S_{3,3}S_{7,4}} \right) \right] \xrightarrow{t_{pr}^{ГПМ} \vee (t_{pr}^{АС} + t_{pi}^{АС})} \left( \overline{BC = S_{7,3}S_{7,4}} \right) \end{array} \right. , \quad (7)$$

де  $A \xrightarrow{t} B$  - якщо виконується умова  $A$ , тоді виконується умова  $B$  із затримкою в часі на величину  $t$ .

Переміщення АТМ до місця завантаження АС (ГВМ) переводить його в стан "Розвантаження" -  $S_{2,5}$ , що відповідає його розвантаженню від партії транспортування  $\left(BC = \overline{S_{2,4}S_{2,5}}\right)$ . При цьому можуть бути сформовані наступні вектори управління:  $BY_1 = \overline{S_{2,5}S_{7,5}}$  - перехід ПВ в стан "Завантажується" -  $S_{7,5}$ ;  $BY_2 = \overline{S_{2,5}S_{3,5}}$  - перехід складу в стан "Завантаження - Транспортування" -  $S_{3,5}$ , якщо АТМ знаходиться в місці завантаження АС партією виробів;  $BY_3 = \overline{S_{2,3}S_{1,3}}$  - перехід ГВМ у стан "Завантаження - Обробка" -  $S_{1,3}$ , якщо АТМ знаходиться в місці завантаження ГВМ партією виробів:

$$\left( \overline{BY_1 = S_{2,5}S_{7,5}} \rightarrow \overline{BC = S_{7,4}S_{7,5}} \right) \wedge \left[ \left( \overline{BY_2 = S_{2,5}S_{3,5}} \rightarrow \overline{BC = S_{3,4}S_{3,5}} \right) \vee \dots \right] \left[ \dots \vee \left( \overline{BY_3 = S_{2,3}S_{1,3}} \rightarrow \overline{BC = S_{1,2}S_{1,3}} \right) \right]. \quad (8)$$

Режим завантаження ГВМ (АС), на відміну від режиму розвантаження, характеризується тільки перекладкою ПВ з накопичувача АТМ у накопичувач ГВМ ("Завантаження - Обробка" -  $S_{1,3}$ ) або на транспортний пристрій АС ("Завантаження - Транспортування" -  $S_{3,5}$ ). АТМ знаходиться в пасивному стані в місці завантаження ГВМ (АС) протягом часу перевантаження партії виробів  $\left(t_{pr}^{ГПМ}(t_{pr}^{АС})\right)$  з АТМ на ГВМ (АС), а процес перевантаження протікає під управлінням ГВМ (АС). Тому перехід АТМ у стан "Чекання" -  $S_{2,1}$   $\left(BC = \overline{S_{2,5}S_{2,1}}\right)$  здійснюється під управлінням ГВМ (АС):  $\left(BY = \overline{S_{1,3}S_{2,1}}\right) \vee \left(BY = \overline{S_{3,5}S_{2,1}}\right)$ . Він також породжує вектор управління

$(BY = \overline{S_{1,3}S_{7,6}}) \vee (BY = \overline{S_{3,5}S_{7,6}})$ , що переводить ПВ в стан "Обробляється (складається)" -  $S_{7,6}$   
 $(BC = \overline{S_{7,5}S_{7,6}})$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[ (BY = \overline{S_{1,3}S_{2,1}}) \vee (BY = \overline{S_{3,5}S_{2,1}}) \right] \xrightarrow{t_{pr}^{ГПМ} \vee t_{pr}^{AC}} (BC = \overline{S_{2,5}S_{2,1}}) \\ \left[ (BY = \overline{S_{1,3}S_{7,6}}) \vee (BY = \overline{S_{3,5}S_{7,6}}) \right] \xrightarrow{t_{pr}^{ГПМ} \vee t_{pr}^{AC}} (BC = \overline{S_{7,5}S_{7,6}}) \end{array} \right. \quad (9)$$

По закінченні обробки  $(BC = \overline{S_{1,3}S_{1,4}})$  або складування  $(BC = \overline{S_{3,5}S_{3,1}})$  ПВ під управлінням ГВМ (AC) переходить у стан "Заготівка" -  $S_{7,6}$   $(BC = \overline{S_{7,6}S_{7,1}})$ :

$$(BY = \overline{S_{1,4}S_{7,1}} \vee BY = \overline{S_{3,1}S_{7,1}}) \rightarrow BC = \overline{S_{7,6}S_{7,1}} \quad (10)$$

Опис управляючої моделі ВС у вигляді семантичної мережі дозволив сформулювати алгоритмічні правила її функціонування.

У третьому розділі описана імітаційна модель функціонування виробничої системи у вигляді набору формальних правил теорії предикатів (табл. 2), що дозволило в подальшому дослідити поведінку ВС з різним рівнем автоматизації.

Таблиця 2.

#### Перелік формальних правил функціонування ВС

Всі вище наведені правила сформульовані в термінах теорії предикатів, що дозволило сформулювати загальну модель функціонування ВС ОМР.

Наприклад, правила 7 і 12 в термінах теорії предикатів можна записати у вигляді (11) та (12)

$$\forall x_2^{opt} \exists_{r \in J} x_3^r \exists_{n \in M} x_7^n \left\{ \begin{array}{l} \left[ \left[ Qt_1(x_3^r, x_2^{opt}) \rightarrow \neg Qt_1(x_3^r, x_2^{opt}) \right] \wedge \dots \right. \\ \left. \dots \wedge \left( t = t_{tr_{x_3^r}} + t_{rg_{x_3^r}} + t_{pr_{x_3^r}} \right) \wedge \dots \right. \\ \left. \dots \wedge \left( x_3^r = S_{3,3} \right)^t \wedge \dots \right. \\ \left. \dots \wedge \left[ Qt_1(x_3^r, x_7^n) \rightarrow \neg Qt_1(x_3^r, x_7^n) \right] \right] \Rightarrow \left[ \left( x_3^r = S_{3,1} \right)^t \right] \right\}, \quad (11)$$

$$\forall x_2^{\text{opt}} \exists_{p \in I} x_1^p \exists_{n \in M} x_7^n \exists_{s \in S} x_8^s \left\{ \left[ \begin{array}{l} Qt_1(x_2^{\text{opt}}, x_1^p) \wedge Qt_1(x_2^{\text{opt}}, x_7^n) \wedge (x_1^p = S_{1,5})^t \wedge \dots \\ \dots \wedge (x_7^n = S_{7,3})^t \wedge (t = t_{\text{rg}_{x_1^p}}) \end{array} \right] \Rightarrow \dots \right.$$

$$\left. \dots \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} (x_2^{\text{opt}} = S_{2,4})^t \wedge (x_7^n = S_{7,4})^t \wedge (x_1^p = S_{1,1})^t \wedge \dots \\ \dots \wedge Qt_1(x_2^{\text{opt}}, x_7^n) \wedge Qt_1(x_2^{\text{opt}}, x_8^s) \end{array} \right] \right\}. \quad (12)$$

Очевидно, що точність імітаційної моделі ВС ОМР залежить не тільки від повноти опису взаємодій у системі обробки (1), але і від глибини опису її підсистем (АТМ, ГВМ і АС), що імітуються, і процесів управління ними.

Загальна модель управління процесом формування оптимальної часової організаційно-технологічної структури ВС містить у собі моделі формування в режимі реального часу типових технологічних процесів, управління партіями обробки й автоматизованих транспортних візків.

Рис. 6. Типова деталь групи ШКІВИ

При реінжинірінгу існуючої виробничої системи у якості об'єкту обробки обрані вироби типу ШКІВ (рис. 6).

Для опису виробу прийняті наступні позначення: D0 - діаметр заготовки шківа, мм.; B0 - довжина заготовки шківа, мм.; d0 - діаметр отвору шківа, мм.; D - діаметр шківа, мм.; D1 - діаметр бурту шківа, мм.; B - ширина шківа, мм.; B1 - ширина маточини, мм.; d - діаметр отвору шківа, мм.; S- поступ різьблення, мм.; бшп - ширина паза, мм.; b - ширина канавки, мм.; t - глибина канавки, мм.; b1 - ширина паза, мм.; h - глибина паза, мм.; MD - маса деталі, кг.; i - число проходів.; V - швидкість різання, м/хв.; Nd - потужність двигуна верстата, кВт.; Sm - хвилинна подача, мм/хв.; So - подача на оберт, мм/об.; Sдв.х. - подача на подвійний хід у хвилину; n - число обертів, об./хв.

Таблиця 3.

Приклад НІРО-діаграми розробки типового технологічного процесу обробки деталі ШКІВ.

Нормативи включають норми на гостріння канавок, точінь і виточень на токарських і карусельних верстатах, обробку внутрішніх поверхонь контуру на токарських і карусельних верстатах, свердлення отворів у маточинах, нарізку різьблення, протягання шліцевих пазів і отворів і ін.

Формалізована модель процесу автоматизованого вибору типового технологічного процесу механічної обробки різанням деталей типу ШКІВ на металорізальних верстатах представлена у вигляді НІРО - діаграми (табл. 3).

Інформаційна модель процесу проектування типових маршрутів обробки деталей типу ШКІВ представлена на рис. 7. Задача організаційно-технологічного проектування ВС ОМР полягає у формуванні технологічних процесів обробки заготовок і керування ними з мінімальним сумарним часом виконання виробничого завдання. Цей процес реалізований у такий спосіб:

- на першому етапі виробниче завдання ділиться на партії обробки у відповідності з наступними критеріями:
  - за конфігурацію заготовок;
  - за конфігурацією деталей;
  - за максимальною вантажопідйомністю АТМ по масі і габаритам заготовок;
  - за максимальною завантажувальною здатністю накопичувачів ГВМ по параметрах маси і габаритів заготовок (отримані в такий спосіб партії обробки заготовок надалі не змінюються до одержання деталей);
- на другому етапі будується послідовність обслуговування модулів (АТМ, АС, ГВМ) у відповідності з наступними пріоритетами:
  - АТМ першим обслуговує ГВМ, що містить партію деталей для переміщення на автоматизований склад;
  - якщо такого ГВМ нема, тоді обслуговується модуль, на якому обробка заготовок однієї транспортної партії виконується цілком і при цьому можливо переміщення партії на наступний (по ходу технологічного процесу) ГВМ;
  - якщо такого ГВМ нема, а на АС є партії обробки, для обслуговування яких є вільні ГВМ, то виконується їхнє транспортування;
  - якщо відповідно до вище приведених критеріїв обрано для обслуговування більш однієї партії заготовок, то пріоритет віддається тій партії, у якої загальний час переміщення АТМ буде мінімальним.

Рис. 7. Інформаційна модель проектування типових технологічних процесів обробки деталей типу ШКІВ у САПР ТИППРОЦЕС

Прийняття організаційних (управлінських) і технологічних рішень здійснюється з періодичністю, що дорівнює такту опитування станів модулів ВС. Це дозволяє формувати партії обробки заготовок у режимі реального часу.

Якщо в момент опитування модулів на обслуговування оброблюваної партії заготовок вихідний технологічний процес не може бути реалізований, але є вільні ГВМ, виконується пошук або створюється новий технологічний процес в наступній послідовності:

- пошук у базі даних нового типового маршруту обробки, що включає в себе не зайняті в даний момент модулі;
- якщо такого маршруту нема, тоді він створюється з використанням бази знань;
- якщо таких маршрутів декілька, тоді вибирають процес, що швидше приводить до одержання партії деталей. Отримане рішення заноситься до бази знань.

Задача пошуку оптимального шляху переміщення автоматизованого транспортного модуля (АТМ) у ВС ОМР з вихідного пункту в кінцевий (рис. 8, точки 9, 17) являє собою задачу пошуку графа мінімальної ваги на оргграфі можливих переміщень АТМ. Рішення цієї задачі тісно зв'язані з конкретними виробничими ситуаціями і, як показали дослідження, не можуть бути отримані шляхом прямого використання алгоритму пошуку найкоротшого шляху (алгоритму Дейкстри).

Розглянуті варіанти постановки задачі оптимізації трас переміщення АТМ, що зустрічаються найбільш часто (для чого використана транспортна система матричного типу, рис. 8):

- 1) оптимізація трас АТМ без обмежень на переміщення - ця задача виникає в тих випадках, коли в ВС функціонує один транспортний модуль і обмежень на його переміщення нема, причому АТМ у будь-який момент часу перевозить тільки одну партію обробки;
- 2) оптимізація трас АТМ із завданням вузлів (точок на трасі), через які повинен пройти транспортний пристрій - ця задача виникає в тих випадках, коли в ВС функціонує один транспортний модуль, що одночасно перевозить кілька партій обробки;

Рис. 8. Транспортна система ВС ОМР із трасою матричного типу: АКВМ - автоматизований контроль-вимірювальний модуль; ХОУ - система координат ділянки; 1, 2, ..., 25 - номери вузлових точок; 9, 17 - номери точок початку і кінця руху.

- 3) оптимізація трас АТМ із завданням гілок (транспортних шляхів), по яким транспортний пристрій не повинен переміщатися - ця задача виникає в тих випадках, коли в транспортній системі знаходяться декілька візків, кожний з яких обслуговує одну партію обробки і переміщується по транспортних шляхах, що не можуть бути одночасно використані декількома транспортними пристроями;
- 4) використання комбінованих обмежень для вибору найкоротших шляхів переміщення АТМ - являє собою комбіновану задачу оптимізації транспортних шляхів АТМ з урахуванням обмежень, що використані у задачах 2-го і 3-го типів.



Безперечно, що постановки задач оптимізації транспортних шляхів 2 — 4-го типів є модифікаціями задачі 1-го типу на основі додаткових обмежень, що накладені виробничими умовами. Тоді рішення задачі оптимізації транспортних шляхів АТМ 1-го типу будемо розглядати в якості базового. Воно наведено у виді алгоритму в операторній формі

$$P_1 P_2 P_3 U_{4\downarrow 11} P_5 P_6 P_7 U_8^{\uparrow 11} P_9 P_{10} P_{11} P_{12}, \quad (13)$$

де  $P_1$  - процедура ідентифікації кількості вершин (**Вершина**) графа транспортних ліній ВС (масив - **КоординатаВершина**); завдання номера вершини, з якої починається рух АТМ (**НовВершина**), а також номера кроку, на якому здійснюється розрахунок оптимальної ваги вершини (**Крок**), (номер початкової вершини задається в перемінній **ПочВершина**; координати вершин задаються в масиві - **КоординатаВершина**);  $P_2$  - процедура визначення ваг вершин (матриця - **Вага**) (у всіх вершин, за винятком початкової, вага дорівнює нескінченності, вага початкової вершини дорівнює нулю);  $P_3$  - процедура визначення довжин ребер, що зв'язують вершини (масив - **ДовжинаПуть**);  $U_{4\downarrow 11}$  - перевірка умови, чи є перемінна **Крок** позитивним числом (спеціальний прийом для організації нескінченного циклу, тому що заздалегідь не відомо, за скількох кроків можна розрахувати всі оптимальні шляхи переміщення від вершини **ПочВершина** до вершини **КінВершина**), " $\downarrow$ " - позначає перехід до процедури з зазначеним номером, якщо умова не виконується;  $P_5$  - процедура визначення мінімальної ваги однієї з вершин (перемінна **ВагаВершина**), зв'язаних з вершиною **НовВершина**;  $P_6$  - процедура збереження в масиві **ОптВершини** даних про номер (перемінна **НовВершина**) і вагу вершини (елемент масиву **Вага** з індексами **Крок** і **НовВершина**), з якої є найкоротший шлях до будь-якої іншої вершини;  $P_7$  - процедура визначення нової ваги для усіх вершин, у яких вага менше або дорівнює вазі кінцевої вершини (**КінВершина**), більше або дорівнює вазі попередньої вершини (**ПоперВага**), виходячи з того, як вона співвідноситься з вагою поточної вершини;  $U_8^{\uparrow 11}$  - перевірка умови, чи є вершина, що занесена до масиву **ОптВершини** на поточному кроці, кінцевою вершиною (**КінВершина**). Якщо "Так", то процес визначення оптимальних ваг вершин графа транспортних шляхів закінчується;  $P_9$  - процедура переходу до чергового кроку розрахунків: **Крок←Крок+1**;  $P_{10}$  - процедура переприсвоєння вагам усіх вершин на черговому кроці розрахунків ваг цих вершин на попередньому кроці.

Таким чином, у результаті роботи процедур  $U_4, \dots, P_{10}$  формується остовне дерево графа транспортних шляхів. Однак воно може містити в собі неоптимальні транспортні шляхи, хоча ваги усіх вершин можуть не перевершувати вагу кінцевої вершини (**КінВершина**). Ця невідповідність виявляється тоді, коли визначаються довжини транспортних шляхів як різниця ваг **КінВершина** і вершин, зв'язаних з нею (до речі, в алгоритмі Дейкстри це питання не вирішене). Якщо отримана таким чином довжина шляху між вершинами менше фактичного шляху за даними масиву **ДовжинаПуть**, то вершину, зв'язану з **КінВершина**, необхідно вилучити з масиву **ОптВершини**.

Для цього використовуються наступні процедури, а перегляд шляхів здійснюється від **КінВершина** до **ПочВершина**;  $P_{11}$  - процедура установки лічильника кількості гілок у графі оптимальних маршрутів (**НомГрань**) у первісне положення і визначення кількості гілок у масиві **ОптВершини** (перемінна **КілОптВершин**);  $P_{12}$  - процедура вилучення з масиву **ОптВершини** вершин, що приводять до неоптимального шляху транспортування. Формування зваженого графа оптимальних шляхів транспортування (масив **Грані**) на основі вершин, що залишилися.

В результаті роботи процедур  $P_1 P_2 P_3 U_{4 \downarrow 11} P_5 P_6 P_7 U_8^{\uparrow 11}$  формується матриця мінімальних ваг вершин (**ОптВершини**: перший стовпчик - номери вершин; друга - їхня вага). У ній ваги усіх вершин не перевершують ваги вершини 17 (**КінВершина**), (рис. 9, а).

Рис. 9. Граф можливих переміщень АТМ

Для видалення тупикових маршрутів використані процедури:  $P_9 P_{10} P_{11} P_{12}$ . Результатом їхньої роботи є матриця **МінПуть** і граф оптимальних маршрутів переміщення АТМ (рис. 9, б).

Таким чином, побудова графа переміщення АТМ починається від кінцевої вершини до початкової в порядку передування вершин відрізків переміщення АТМ.

У **четвертому розділі** розглянута загальна методологія оптимального організаційно-технологічного проектування обробки металів різанням. Керування підготовкою вихідної інформації і моделюванням поведінки виробничої системи в процесі виконання нею завдання на обробку здійснюється **системним монітором (СМ)**, рис. 10.

Рис. 10. Структурно-функціональна схема системи імітаційного моделювання виробничих процесів (**СІМ 3.1**)

Відправною точкою для формування імітаційної моделі виробничої системи є організаційно-технічна структура цеху. У її склад входять структура і параметри транспортно-накопичувальної й обробної підсистем, а також їхнє планування. Тому процес створення імітаційної моделі починається з накопичення вище перерахованої інформації. Для цього розроблено наступні підсистеми:

**Генератор імітаційних моделей транспортних систем (ГІМТС)** розташовує на плануванні ділянки (рис. 1) транспортно-накопичувальне і обробне устаткування, а так само створює транспортні шляхи, по яких переміщуються матеріальні потоки в ході виконання виробничого завдання.

Транспортно-накопичувальне й обробне устаткування мають свої керуючі модулі, що синтезуються **генератором імітаційних моделей виробничих модулів (ГІМВМ)**. Основою для його

роботи є графічні зображення примітивів вузлів і механізмів, що зберігаються в базі даних (БД обладнання), а також технологічна інформація про режим їхньої роботи (БД процес), (рисунки 2, 5, 10).

Рис. 11. Приклад формування технологічного процесу шляхом імітаційного моделювання ВС

Джерелами інформації для БД про устаткування і технологічні процеси є: **графічний редактор векторних зображень (ГРВЗ)**; **підсистема проектування типових технологічних процесів (ПШТТП)**; **підсистема нормування ручної праці (ПНРП)**. Вони реалізовані у виді автономних підсистем і керуються системним монітором. **ГРВЗ** генерує графічні 2D-примітиви динамічних і статичних об'єктів візуальної частини імітаційної моделі. **ПШТТП** здійснює пошук типових технологічних маршрутів обробки виробів у базі даних (БД процес) як для початкової стадії проектування, так і в ході імітації процесу обробки. Особливість використовуваної системи моделювання полягає в тому, що технологічний процес, прийнятий у якості вихідного в момент запуску партії виробів на обробку, може корегуватися в залежності від поточної виробничої ситуації (відмовлення силових агрегатів або відсутність вільного устаткування для виконання завдання та інше, дивіться процес обробки по нижній гілці графа маршрутів обробки після операцій 150.00.102-1 010 і 150.00.103-1А 015-2, рис. 11,а). Для цього передбачений механізм опитування всіх об'єктів моделювання з метою аналізу їхнього стану (зайнятий, вільний, очікує завантаження та ін.).

Якщо вільне устаткування дозволяє реалізувати один з варіантів типового технологічного процесу (наприклад, з номером 150.00.103-1А) таким чином, щоб, з одного боку, виконати обробку всієї партії виробів у терміни, що не перевищують час, установлений завданням, а з іншого боку, щоб час на переміщення до верстата й обробку виробу по новому технологічному процесу не перевищував часу на обробку і переміщення до верстата по існуючому технологічному процесу, зайнятому на момент опитування (конкуруючі операції 150.00.102-1 015 і 150.00.103-1А 005), тоді він приймається у якості робочого процесу. При цьому враховується наявність вільних транспортних пристроїв. В результаті чого формується новий технологічний процес (рис. 11,б), що заноситься в базу даних (БД процес, рис. 10) у якості типового процесу.

Моделювання обробних і транспортних модулів з використанням ручної праці припускає знання функціональних характеристик робітників (швидкостей переміщення, повороту, підйому й опускання вантажу, вантажопідйомності, помилкостійкості, стомлюваності та ін.). Ці характеристики нормуються в **підсистемі нормування ручної праці (ПНРП)** і передаються **ГІМТС** і **ГІМВМ**.

У функції **ГІМТС** так само входить рішення задачі створення транспортних шляхів і "прив'язки" до них технологічного устаткування. З цією метою для кожного виробничого підрозділу (це-

ху, ділянки, ГВМ) створюється своя транспортна мережа (рис. 1) і за нею закріплюються обробні модулі, склади і транспортне устаткування. У рамках транспортної мережі вказуються місця завантаження, розвантаження устаткування, перелічуються технологічні і складські модулі, що обслуговуються різними видами транспортних пристроїв. Уся вище перерахована інформація зберігається в БД обладнання і БД планування.

**Диспетчер виробничих завдань (ДВЗ)** реалізує функції планування і контролю їхнього виконання. Завдання на обробку виробів можуть бути сформовані не тільки до моменту запуску **підсистеми імітаційного моделювання (ПІМ)**, але й у ході моделювання виробничого процесу. **ДВЗ** "прив'язує" виробничі завдання до конкретних технологічних процесів і ставить їх у чергу. Витяг завдань з черги здійснюється **ПІМ** відповідно до концепції максимальної пропускну здатності системи обробки. **ДВЗ** фіксує стан партій обробки на момент переривання процесу моделювання. Він дозволяє зберегти цю інформацію в базі даних і в подальшому запуснути процес моделювання не з початку, а з точки зупинки. Такий підхід до моделювання особливо актуальний у тих випадках, коли процес імітації сполучається з роботою виробничої системи.

**Система управління базою даних (СУБД)** здійснює переміщення інформації між підсистемами, контроль її цілісності й актуальності БД.

Після того, як усі структурно-параметричні складові моделі введені, **системний монітор (СМ)** тестує її і передає керування підсистемі імітаційного моделювання.

До складу **ПІМ** входять візуальний, текстовий і графічний компоненти. *Візуальний компонент ПІМ* дозволяє спостерігати за процесом моделювання по діях, що відбуваються на плануванні. Він реалізований на основі 2D - динамічної векторної графіки (рис. 1). *Графічний компонент* являє собою багатовіконний інтерфейс, що містить параметричну інформацію про об'єкти моделювання різного рівня у виді графіків, гістограм, діаграми Ганта, лічильників часу виконання завдання та ін. (рис. 12). По них можна: відслідковувати завантаження модулів і окремих видів устаткування; визначати рівень спожитої електричної енергії; контролювати стан транспортно-накопичувальної й обробної підсистем. *Текстовий компонент* формує текстовий звіт про роботу вузлів і механізмів комплексу, що моделюються. Він дозволяє детально аналізувати циклограму роботи виробничої системи і її складових.

**У п'ятому розділі** розглянуті питання практичної реалізації методології реінжинірингу виробничих систем обробки різанням. У якості одного з об'єктів впровадження методології реінжинірингу виробничих систем обраний механічний цех (Тракторний-5) Харківського тракторного заводу. Аналіз його конструкторських, технологічних і організаційних даних показав, що в ньому здійснюється багатонаменклатурне виробництво деталей невеликими партіями (до 100 штук у партії), а основний обсяг обробки виконується на універсальному і спеціальному устаткуванні з низьким

рівнем автоматизації. При цьому виробничий процес характеризується великим розкидом рівня завантаження устаткування (25 - 65%) і низькою інтенсивністю його використання.

Рис. 12 Часові та енергетичні характеристики ВС

Відповідно до методики, що викладена в розділі 4, був проведений аналіз часових і енергетичних параметрів виробничої системи по наступним напрямкам: аналіз витрат енергії на виробничий процес, аналіз коефіцієнта корисної дії устаткування за енергетичними показниками, аналіз витрат часу на виробничий процес, аналіз коефіцієнта завантаження устаткування.

Для розрахунку витрат енергії на процес обробки прийнята модель розрахунку потужності привода ( $N_j(t)$ ), що складається з витрат потужності в приводі головного руху ( $N_{ГД_j}(t)$ ) і приводі подач ( $N_{Под_j}(t)$ ):

$$N_j(t) = N_{ГД_j}(t) + N_{Под_j}(t). \quad (14)$$

Тоді витрати енергії ( $A_j$ ) на реалізацію елементів технологічних процесів у гнучких виробничих модулях визначаються шляхом розрахунку сумарних витрат енергії на виконання елементарних рухів вузлами і механізмами системи, що досліджується:

$$A_j = \sum N_j(t) \cdot t, \quad (15)$$

де  $j$  - номер вузла, що входить у виробничий модуль і виконує технологічну операцію;  $t$  - час роботи вузла.

Отримана інформація дозволяє розрахувати коефіцієнт корисної дії (ККД) ВС і її підсистем, а так само визначити основні напрямки по удосконалюванню організаційно-технічної і технологічної структури виробничої системи.

Відомо, що ККД привода верстата визначається залежністю

$$\eta(t) = \prod \eta_i^{\alpha_i}(t), \quad (16)$$

де  $\alpha_i$  - кількість однотипних передач з однаковим ККД.

Якщо вважати, що настроювання приводів верстатів здійснюється на оптимальні режими різання, то можна визначити коефіцієнти корисної дії як окремих верстатів і модулів ( $ККД_{верст}$ ,  $ККД_{мод}$ ), так і підрозділів, що виконують комплексну обробку й збирання деталей і вузлів (17), (ділянки -  $ККД_{дл}$ , цеху -  $ККД_{ц}$ , транспортної системи -  $ККД_{ТС}$ ),

де  $A_{рез}$  - корисна робота сил різання, що витрачена приводами головного руху і подач верстата;  $A_{верст}$  - загальна робота, що витрачена верстатом;  $A_{мод}$  - робота, що витрачена всіма механізмами обробного модуля, які мають електричні приводи (верстатами, маніпуляторами, пристосуваннями й ін.);  $A_{діл}$  - робота, що витрачена всіма підрозділами, які входять у ділянку і мають у якості енергетичних установок електричні двигуни (модулі, транспортні пристрої, накопичувачі);  $A_{ц}$  - робота, що витрачена всіма підрозділами, які входять у цех;  $A_{ТС}$  - робота, що витрачена транспортним модулем на переміщення об'єкта обробки.

$$\left. \begin{aligned} \text{ККД}_{верст} &= \frac{\sum A_{рез}}{\sum A_{верст}} \\ \text{ККД}_{мод} &= \frac{\sum A_{рез}}{\sum A_{мод}} \\ \text{ККД}_{діл} &= \frac{\sum A_{рез}}{\sum A_{діл}} \\ \text{ККД}_{ц} &= \frac{\sum A_{рез}}{\sum A_{ц}} \\ \text{ККД}_{ТС} &= \frac{\sum A_{ц} - \sum A_{ТС}}{\sum A_{ц}} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Реалізація викладених вище принципів аналізу ефективності функціонування виробничих процесів дозволила знизити енергоємність виробничих систем на 10 - 32%, зменшити виробничі площі на 25-47%, дістати середньорічного прибутку на умовну одиницю продукції в розмірі 32-136 гривень при двозмінній роботі цеху за рахунок зміни структур технологічних процесів, більш раціонального підбору устаткування для транспортних операцій і обробки, а так само вибору оптимальних трас переміщення об'єктів обробки.

Розглянуто два варіанти виробничого процесу: із жорсткою структурою, для якої характерна незмінність технологічного процесу протягом усього періоду обробки партії заготовок, і з гнучкою структурою, що змінюється в залежності від поточного стану устаткування ВС. Виконано аналіз ВС у наступних напрямках: аналіз зв'язку тривалості обробки в ВС з кількістю об'єктів обробки на складі і активних транспортних модулів; аналіз зв'язку тривалості обробки в ВС із варіантами структур технологічних процесів.

Аналіз завантаження устаткування ВС відповідно до жорсткої й гнучкої структур технологій показав переваги другої схеми. Загальний час виконання 50-и виробничих завдань у ВС із чотирма АТМ скоротився на 44.8%. При цьому просліджується тенденція до вирівнювання завантаження всіх модулів.

У результаті математичного експерименту визначені загальні закономірності зміни продуктивності ВС із різною організаційно-технологічною структурою: збільшення кількості АТМ з одного до двох приводить до різкого зменшення тривалості циклу обробки (у середньому на 16.2 ... 42% у залежності від виду застосовуваної технології); у ВС, що використовує жорстку структуру технологічного процесу, подальше збільшення кількості АТМ у системі обробки приводить до насичення транспортних потужностей.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена методологія організаційно-технологічного проектування виробничих систем металообробки, яка дозволяє реалізувати обґрунтований “реінжиніринг” діючих технологічних систем та підвищити їх техніко-економічні показники за рахунок гнучкого проектування технологічних процесів і організаційних компонувань по часовим та енергетичним характеристикам шляхом синтезу імітаційних моделей виробництва в режимі реального часу.

2. Сформульовано концепцію проектування багатоваріантних технологічних процесів механічної обробки на засадах теорії штучного інтелекту, яка розглядає порядок запуску виробів на обробку, склад устаткування, що використовується, і його взаємозамінність в процесі виконання виробничого завдання, зв'язок організаційної структури виробничої системи з часом її функціонування, можливість зміни структур технологічних процесів.

3. На цих засадах розроблені імітаційні моделі функціонування виробничих систем, основою яких є принцип формування семантичної моделі перетворення станів устаткування й об'єкта обробки під впливом зміни технологічного процесу, що дозволяє ситуативно формувати організаційну структуру підрозділу виробництва, його планування і послідовність виконання технологічних операцій в залежності від значень критеріїв ефективності.

4. Модель формування послідовності запуску виробів на обробку, що розроблена, базується на обліку організаційно-технологічних особливостей основного і допоміжного технологічного устаткування, тривалості виконання технологічних операцій і імовірності продовження маршруту обробки без чекання вільного технологічного устаткування, що дозволяє реалізувати оптимальне завантаження виробничої системи в автоматизованому режимі.

5. Імітаційна модель формування багатоваріантного технологічного процесу базується на концепції проектування типових технологічних процесів і дозволяє реалізувати ситуативний вибір нового типового маршруту обробки з метою мінімізації втрат, що пов'язані з часом чекання партії виробів, і одержувати новий технологічний процес, очікувані втрати при виконанні якого не вище втрат відкинутої частки початкової технології.

6. Імітаційна модель транспортної мережі виробничої системи, що розроблена на основі модернізованого алгоритму Дейкстри, дозволяє визначати оптимальну довжину шляху транспортування з урахуванням можливих перешкод, що виникають під час виконання виробничого завдання.

7. Складовими методології організаційно-технологічного реінжинірингу є методики розробки і корегування в режимі реального часу моделі виробничої системи, формування та переформування в режимі реального часу типових технологічних процесів, функціональне моделювання.

8. Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджена наявність зв'язку між кількістю використовуваного основного і допоміжного устаткування, розмірами партій обробки, організаційно-технічною структурою виробничої системи і структурами технологічних процесів. Це дозволило в кожному конкретному випадку визначити оптимальне сполучення обробного, транспортного і складського устаткування, а також сформулювати графі оптимальних структур технологічних процесів обробки партій виробів і спланувати їхнє виробництво.

9. Встановлено зв'язок рівня оптимального завантаження обробного модуля з місцем його розміщення відносно складів і інших модулів в умовах існуючого конструктивного компоновання виробничої системи, що дозволило виконати оптимальне планування ділянки ВС шляхом обліку середнього завантаження основного технологічного устаткування в процесі виконання виробничого завдання.

10. На основі теоретичних положень методології реінжинірингу діючих технологічних систем розроблені методики автоматизованого проектування організаційно-технологічної структури виробничої системи, автоматизованого проектування типових технологічних процесів, поелементного нормування допоміжного часу на операціях з використанням ручної праці, імітаційного моделювання виробничої системи, які дали змогу виконати науково обґрунтоване перепроєктування діючих виробництв в рамках науково-технічного співробітництва з Харківським науково-дослідним і проектно-конструкторським інститутом засобів технологічного устаткування "ВЕЛІТ" та Харківським верстатобудівним заводі "ХАРВЕРСТ", що дозволило скоротити тривалість виконання виробничих завдань на 2 ... 48% за рахунок перепланування ділянок механічної обробки і використання багатоваріантних структур технологічних процесів, знизити собівартість проектування на 40,6 ... 66,7%, а собівартість виготовлення виробів зменшити на 12%. В результаті впровадження зазначених організаційно-технічних і конструкторсько-технологічних рекомендацій отримано економічний ефект в розмірі 595.65 тисяч гривень.

#### **Список праць, що опубліковані за темою дисертації**

1. Шелковой А.Н., Буренков М.В. Групповое производство как организационно-технологическая основа повышения производительности гибких производственных систем //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 1997. – Вып. 51. – С.240-242. Здобувачем сформульовані проблеми, що виникають при розробці технологічних процесів на базі групової технології в умовах дрібносерійного виробництва.
2. Шелковой А.Н., Загребельный В.Н., Буренков М.В. Принципы структурно-параметрического анализа систем обработки металлов резанием //Высокие технологии в машиностроении. —



- Харьков: ХГПУ, 1998. – С.306-310. Здобувачем запропонований алгоритм автоматичної класифікації об'єктів проектування на засаді емпіричних та теоретичних даних.
3. Шелковой А.Н. Геометрическое моделирование объектов обработки в САПР группового производства //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. — Харьков: ХГПУ, 1999. – Вып. 45. – С.32-35.
  4. Шелковий О.М., Загребельний В.М., Буренков М.В. Адаптивне проектування технологічних процесів в гнучких виробничих системах // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.— Харьков: ХГПУ, 1999. – Вып. 54. – С.48-61. Здобувачем виконана класифікація транспортних систем ГВС і сформульовані принципи створення групових технологічних процесів.
  5. Шелковий О.М. Технологічні заходи енергозбереження при обробці металів різанням //Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: ХГПУ, 1999, вып.53. – С.180-192.
  6. Шелковой А.Н. Моделирование поведения обрабатывающих модулей гибких производственных систем в режиме реального времени //Високі технології в машинобудуванні. — Харків: ХДПУ, 1999. – С.297-302.
  7. Шелковой А.Н. Организационные и технологические основы адаптивного проектирования ГПС обработки металлов резанием //Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: ХГПУ, 1999, вып.55. – С.232-238.
  8. Шелковой А.Н. Моделирование поведения автоматизированных транспортных модулей ГПС в режиме реального времени //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. — Харьков: ХГПУ, 1999. — Вып. 65. – С.135-144.
  9. Шелковой А.Н. Концепция адаптивного технологического проектирования гибких производственных систем обработки металлов резанием //Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: ГАУ "ХАИ", 2000. — Вып. 14. – С.68-73.
  10. Шелковой А.Н. Использование модифицированного алгоритма Дейкстры для оптимизации транспортных путей в ГПС обработки металлов резанием //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 2000. — Вып. 100. – С.193-203.
  11. Шелковой А.Н. Система имитационного моделирования поведения гибких производственных систем в режиме реального времени //Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: ХГПУ, 2000, вып.56. – С.164-170.
  12. Шелковой А.Н. Комплексный анализ организационно-технологических структур ГПС на основе имитационного моделирования //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 2000. — Вып. 110. – С.196-207.

13. Шелковой А.Н. Имитационное моделирование поведения механообрабатывающих производств //Високі технології в машинобудуванні. – Харків: ХДПУ, 2000. Вип. 1. – С.286-292.
14. Шелковой А.Н. Проблемы нормирования вспомогательного времени при имитационном моделировании поточного производства //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 2000. — Вып. 57. – С.256-262.
15. Шелковой А.Н. Методика разработки имитационной модели гибкого производственного модуля //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 2000. — Вып. 58. – С.133-140.
16. Шелковой А.Н. К вопросу о выборе модели оптимального размещения оборудования методами имитационного моделирования //Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, 2001. — Вып. 59. – С.191-199.
17. Шелковой А.Н., Буренков М.В. Структурно-функциональная схема имитационного моделирования производственных систем в режиме реального времени //Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – №6. – С.306-313. Здобувачем описана структурно-функціональна схема системи імітаційного моделювання виробничих процесів.
18. Шелковой А.Н. Анализ загрузки производственной системы на основе имитационного моделирования //Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – №7. – С.267-272.
19. Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г. Основы оптимального управления производственными системами в двигателестроении на основе имитационного моделирования в режиме реального времени //Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: НАУ "ХАИ", 2001. — Вып.23. – С.234-239. Здобувачем запропонований загальний підхід до процесу проектування ГВС як до процесу керування віртуальною виробничою системою.
20. Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г. Оптимальное размещение технологического оборудования на производственной площадке методами имитационного моделирования //Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут. – К.: НТУУ "КПІ", 2001. – Вип.40. – С.274-277. Здобувачем запропонована модель оптимального розміщення устаткування ГВС на основі аналізу його рівня в процесі виконання виробничого завдання.
21. Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г. Энергетический анализ систем обработки на основе имитационного моделирования в режиме реального времени //Проблемы создания машин и технологий. – Кременчуг: КГПУ, 2001. — Вып. 1/2001 (10). – С.423-426. Здобувачем запропоновані критерії оцінки ефективності ГВС на основі енергетичних показників.

22. Шелковой А.Н. Постановка задачи имитационного моделирования ГПС обработки металлов резанием в режиме реального времени //Труды Одесского политехнического университета: – Одесса: ОдПУ, 2001. – Вып.5. – С.110-116.
23. Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н. Энергетический анализ систем обработки как основа оптимального управления производственными процессами //Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ", 2001. — Вип. 11. – С.111-122. Здобувачем запропонована методика розрахунку енергетичних критеріїв ефективності ГВС.
24. Шелковой А.Н. Практика модернизации компоновок производственных систем на основе имитационного моделирования //Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: НТУ "ХПИ", 2002. — Вып. 62. — С.197-204.
25. Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н., Рузметов А.Р., Концур С.А. Аналитический подход к оценке временных характеристик рабочего места станочника //Високі технології в машинобудуванні. – Харків:НТУ "ХПИ", 2002. — Вип. 1(5). — С.370-376. Здобувачем запропонована модель розрахунку часу виконання робітником допоміжних операцій.
26. Шелковой А.Н. Влияние фазовых преобразований технологических процессов на эффективность производственных систем //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ДТУ сільського господарства, 2002. — Вип. 10 — С.219-222.
27. Шелковой А.Н., Тимофеев Ю.В., Гуцаленко Ю.Г. Логико-лингвистический подход к разработке имитационной модели функционирования производственной системы //Авіаційно-космічна техніка і технологія. — Харків: НАУ ім. Жуковського „ХАІ”; Миколаїв: Вид-во МФ НАУКМА, 2002. — Вип. 34. — С.214-225. Здобувачем запропонована лінгвістична модель функціонування виробничої системи.
28. Шелковой А.Н. Организационно-технологическое проектирование производственных систем на основе имитационного моделирования //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ДТУ сільського господарства, 2003. — Вип. 18. — С.229-234.
29. Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н. Интерпретация результатов имитационного моделирования в системах организационно-технологической подготовки ГПС //Високі технології в машинобудуванні. — Харків: НТУ “ХПИ”, 2003. — Вип. 1(6). — С.131-138. Здобувачем розраховані енергетичні характеристики ГВС на основі імітаційного моделювання.
30. Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г. Синтез планов обработки элементарных поверхностей методами искусственного интеллекта //Вісник двигунобудування: науково-технічний журнал. — Запоріжжя: ЗНТУ, Харків: НАУ ім. Жуковського „ХАІ”, 2003. — №2. – С.150-157. Здобу-

вачем запропонований опис технологічних характеристик поверхонь на базі методів штучного інтелекту.

31. Буренков М.В., Гуцаленко Ю.Г., Шелковой А.Н. Вероятностный подход к имитационному моделированию гибких производственных модулей //Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". — Харків: НТУ "ХПІ", 2003. — №8, т.1. — С.128-133. Здобувачем розроблена загальна структура ймовірностної моделі ГВМ.
32. Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н. Имитационное моделирование в задачах организационно-технологической подготовки гибкого производства //Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". — Харків: НТУ "ХПІ", 2003. — №9, т.1. — С.77-84. Здобувачем зроблений аналіз підходів до проектування організаційно-технологічних структур виробничих систем у машинобудуванні.
33. Шелковой А.Н. Гуцаленко Ю.Г. Имитационное моделирование структурных и параметрических характеристик систем обработки в режиме реального времени //Конструкторско-технологическая информатика - 2000: Труды конгресса. В 2-х т.т. Т.2 / IV международный конгресс. — М.: Изд-во "Станкин", 2000. — С.272-275. Здобувачем сформульовані принципи імітаційного моделювання в режимі реального часу і представлений опис системи імітаційного моделювання.
34. Шелковой А.Н. Использование графического редактора векторных изображений в имитационном моделировании технологических процессов //Вісник Інженерної академії України. — Київ, 2000, спец. выпуск. — С.129-135.
35. Шелковой А.Н., Буренков М.В., Яковлев С.Ю. Генератор имитационных моделей производственных модулей //Вісник інженерної академії України, в 2-х частинах, частина 1. — Київ, 2001. — № 3. — С.285-291. Здобувачем виконаний аналіз пайової участі різних етапів у створенні імітаційної моделі ГВМ, описана функціональна схема генератора імітаційних моделей.
36. Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г., Рузметов А.Р. Реинжиниринг производственных систем методами имитационного моделирования //Инструмент и технологии, № 9-10, Санкт-Петербург, 2002. - С.4-7. Здобувачем виконаний розрахунок часових та енергетичних характеристик виробничої ділянки.
37. Шелковой А.Н., Гуцаленко Ю.Г. Комплексная оценка эффективности производственных систем методами имитационного моделирования //Новые процессы и модели в ресурсо- и энергосберегающих технологиях: Материалы Международной научно-технической конференции, 25-26 сентября 2003 г., г. Одесса. — Киев: АТМ України, 2003. — С.120-124.
38. Yuri Timofeev, Aleksand Shelkovoі Generalized Model for Development of Manufacturing Process Structures for Flexible Manufacturing //2<sup>nd</sup> International Conference of "Research and Education"

for the 40 years jubilee of the cooperation between the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” and the University of Miskolc, Miskolc 17-19 March 2004, Miskolc, Hungary — S.161-166.

## АНОТАЦІЇ

**Шелковий О.М.** Організаційно-технологічні основи реінжинірінга виробничих систем металообробки. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування. - Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2004.

У дисертації вирішена науково-технічна проблема, що має важливе значення для підвищення ефективності функціонування виробничих систем обробки металів різанням (ВС ОМР). Запропоновано методологію перепроєктування організаційно-технологічних структур виробничих систем на основі імітаційного моделювання в режимі реального часу. Уперше розроблені і досліджені: узагальнена модель процесів взаємодії партій обробки і технологічного устаткування, що базується на зв'язку структури і параметрів гнучкої виробничої системи з часом її функціонування; програмний комплекс організаційно-технологічного проєктування структур виробничих систем, що реалізує технічну, технологічну й організаційну гнучкість проєктування.

Обґрунтовано вихідні положення проєктування багатоваріантної технології обробки металів різанням в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва. Уперше показано, що підвищення техніко-економічної ефективності виробничої системи базується на обліку взаємовпливу пропускнуої спроможності з матеріальними та енергетичними витратами на її розробку і функціонування, а так само на багатоваріантності технологій обробки й оптимальному керуванні організаційною, технічною і технологічною структурами виробничої системи. На основі запропонованої методології розроблені і впроваджені у виробництво рекомендації з підвищення техніко-економічної ефективності діючих виробничих систем.

Ключові слова: гнучка виробнича система, реінжинірінг, типова технологія, імітаційне моделювання, завантаження устаткування, енергетичні витрати, багатоваріантне проєктування.

**Шелковой А.Н.** Организационно-технологические основы реинжиниринга производственных систем металлообработки. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. - Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2004.

В диссертации решена научно-техническая проблема, имеющая важное значение для повышения эффективности функционирования производственных систем обработки металлов резанием. Предложена методология проектирования многовариантных технологических процессов для производственных систем (ПС) на основе имитационного моделирования в режиме реального времени. Впервые разработаны и исследованы: обобщенная модель процессов взаимодействия

партий обработки и технологического оборудования, базирующаяся на связи структуры и параметров гибкой производственной системы со временем ее функционирования; программный комплекс организационно-технологического проектирования структур производственных систем, реализующий техническую, технологическую и организационную гибкость проектирования.

На основе теории искусственного интеллекта сформулирована концепция реинжиниринга производственных систем (ПС) механической обработки резанием, которая учитывает: порядок запуска изделий на обработку; состав используемого оборудования и его взаимозаменяемость в процессе выполнения производственного задания; связь организационной структуры ПС со временем ее функционирования; возможность изменения структур технологических процессов в том случае, если оборудование, на котором может быть выполнена операция, занято.

Имитационная модель функционирования ПС построена на принципах формирования семантической сети ситуативного преобразования под управлением технологического процесса состояний оборудования и объекта обработки.

Разработана модель формирования последовательности запуска изделий на обработку, которая базируется на учете организационно-технических особенностей основного и вспомогательного технологического оборудования (вместительности его накопителей, скорости перемещения исполнительных механизмов и др.), продолжительности выполнения технологических операций и вероятности прохождения маршрута обработки без ожидания свободного технологического оборудования, которая позволила реализовать оптимальное планирование загрузки ПС в автоматическом режиме.

Разработана имитационная модель формирования многовариантного технологического процесса, которая базируется на концепции последовательного выбора типовых технологических процессов с целью минимизации потерь, связанных с перемещением партий обработки.

На основе модернизированного алгоритма Дейкстры разработана имитационная модель транспортной сети, которая позволяет определить оптимальную длину транспортного пути с учетом препятствий, возникающих во время транспортирования.

Разработана методология организационно-технологического реинжиниринга производственной системы, которая базируется на методиках: разработки и корректировки в режиме реального времени имитационной модели ПС; формирования в режиме реального времени технологических процессов обработки изделий; функционального моделирования ПС; оптимального размещения производственного оборудования; оптимального перемещения автоматизированных транспортных модулей между станками.

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено наличие связи между количеством используемого основного и вспомогательного оборудования, размерами партий обработки, организационно-технической структурой производственной системы и структурами формируемых

технологических процессов. Это позволило в каждом конкретном случае определить оптимальное соотношение обрабатывающего, транспортного и складского оборудования, а также сформировать графы оптимальных структур технологических процессов обработки партий изделий и спланировать их производство.

Установлена связь уровня оптимальной загрузки обрабатывающего модуля с местом его размещения относительно складов и других модулей в условиях существующей конструктивной компоновки ПС, что позволило реализовать оптимальное планирование процесса обработки путем учета средней загрузки основного технологического оборудования.

Применение данной методологии позволило: определять оптимальные размеры производственного задания в организационно-технологических условиях, возникающих в ПС на момент его запуска на выполнение; сократить продолжительность выполнения производственного задания за счет перепланирования участка, использования многовариантной структуры технологического процесса обработки, изменения количества транспортных модулей; обнаружить влияние производственного потенциала оборудования и организационных мероприятий на уровень его загрузки.

Ключевые слова: гибкая производственная система, реинжиниринг, типовая технология, имитационное моделирование, загрузка оборудования, энергетические затраты, многовариантное проектирование.

**Shelkovoï A.N.** Organizational-technological fundamentals reengineering of industrial systems of metal working. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the doctor of engineering science on a speciality 05.02.08 - mechanical engineering technique. - National technical university " the Kharkov polytechnic institute ", Kharkov, 2004.

In a thesis the technological problem having the relevant value for rise of efficiency of operation of industrial systems of processing of metals by cutting is resolved. The methodology of designing of multivariate manufacturing processes for industrial systems is offered on the basis of simulation modeling in real-time mode. For the first time designed and are researched: generalized model of processes of interaction of batches of processing and production equipment basing in-signalling of structure and parameters of the flexible industrial system in due course of its operation; the program complex of organizational-technological designing of structures of industrial systems implementing technical, technological and organizational flexibility of designing.

In operation the principles of handle of parameters and structure of the industrial system are justified on the basis of the analysis of average capacity, power expenditures and efficiency of its power-plants. Designed and the methodology theoretical both experimental researches of processes of organizational and technological conversion of structure of the industrial system is justified at its output on a level



of optimum operation. The interpreter of simulation models of industrial systems designed. That has allowed to create bank of simulation models of industrial systems of a different level of integration and to describe the mechanism of creation of structure of a multivariate manufacturing process.

The possibility is theoretically justified and practically directional change of structures both parameters of manufacturing processes and organization structure of the program facilities is implemented according to the given characteristics of batches of processing and calendar schedule issue of articles. The technique of reorganization of organizational-technological arranging FPS of a different level of integration designed. The technique of designing of manufacturing processes of processing of metals by cutting designed on the basis of simulation modeling in real-time mode of discrete industrial systems with a different level of automation of supplementary operations, which one includes: a technique of creation of models of standard manufacturing processes, technique of creation of geometrical images of objects of simulation, assay techniques of outcomes of simulation, technique of synthesis of организационно-technological arranging of the program facilities.

The check of original positions of designing of manufacturing processes in conditions of operation of systems of a working by stock removal with a different level of automation is fulfilled at a low serials level and large nomenclature of released articles(workpieces). For the first time is rotined, that the rise of technological efficiency of the industrial system is founded on the registration of an intercoupling of capacity with material and power expenditures on its(her) development and operation, and as on multi-variant approach of technologies of processing and optimum handle of organizational, technical and technological structures of the industrial system. On the basis of the offered methodology designed and are inserted in production of the guideline on rise of technological efficiency of operating industrial systems.

Keywords: the flexible industrial system, reengineering, standard technology, simulation modeling, loading of the equipment, power expenditures.

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доцент Яковенко І.Е.

Підп. До друку 20.10.2004 р. Формат видання 145×215.

Формат паперу 60×90/16. Папір Могра. Друк - ризографія.

Обсяг 1,9 авт.арк. Наклад 100 прим. Зам. № 9098

---

ТОВ Курсор, м. Харків, пров. Театральний, 11/13, к. 505, т.(0572) 14-38-74

---