

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Павленко Петро Миколайович**

УДК 005.311.2:004.94

**МЕТОДИ І СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ  
ПІДГОТОВКИ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

Спеціальність 05.13.06 – Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ - 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: член-кореспондент НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор Бабак Віталій Павлович, Національний авіаційний університет, ректор.

Офіційні опоненти:

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор Євдокимов Віктор Федорович, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, директор;

доктор технічних наук, професор Томашевський Валентин Миколайович, Національний технічний університет „КПІ”, кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління, професор;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник Васюхін Михайло Іванович, Національний авіаційний університет, кафедра аеронавігаційних систем, професор.

Провідна установа: Державна науково-виробнича корпорація „Київський інститут автоматики” Міністерства промислової політики України, м. Київ.

Захист відбудеться “ 25 ” травня 2006 р. о “ 14 ” год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.01 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, Київ - 58, проспект Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, Київ - 58, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий “ “ \_\_\_\_\_ 2006 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.С. Єременко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми** Розробка та впровадження автоматизованих систем виробничого призначення на базі прогресивних інформаційних технологій на сьогодні є одним із пріоритетних напрямків розвитку промисловості України. Найменш комп'ютеризованими серед цих систем є автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), а найменш формалізованою є автоматизація процесів управління технологічною підготовкою виробництва (ТПВ).

Необхідно відмітити, що в останні роки питанням розробки методів і систем у сучасній теорії управління, яка створювалась, у тому числі завдяки роботам вітчизняних вчених В.М. Глушкова, Л.С. Глоби, О.Г. Івахненка, В.І. Костюка, О.А. Павлова, В.І. Скурихіна, Л.С. Ямпольського та інших, приділяється велика увага. Аналіз останніх робіт в області управління етапами життєвого циклу промислових виробів показує, що в даний час зусилля вчених зосереджені в основному на вирішенні проблем автоматизації процесів управління виробництвом, залишаючи відкритим питання автоматизації управління технологічною підготовкою виробництвом.

Безперспективність подальшого розвитку систем автоматизації технологічної підготовки промислового виробництва, створених у радянські часи, закордонних АСТПВ та систем САРР (Computer Aided Process Planning) пояснюється багатьма причинами. Основними із них є такі:

1. Традиційні методи ТПВ, ґрунтуючись на методології єдиної системи ТПВ 80-х років минулого століття, розглядають проектування, планування та управління ТПВ, як функціонально не пов'язані процеси. Відсутня єдина інформаційна платформа прийняття оптимальних рішень для побудови АСТПВ.

2. Відсутність науково обґрунтованої методології побудови АСТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі, а також сучасних методик аналізу та формалізації предметної галузі ТПВ.

3. Відставання у використанні досягнень сучасних інформаційних CALS-технологій (Continuous Acquisition and Life cycle Support) та PLM-рішень (Product Lifecycle Management) при розробці на їх основі ефективних методів автоматизації управління ТПВ.

Тому розробка методів побудови універсальних АСТПВ для вимог вітчизняних промислових виробництв, розробка універсальних інструментальних засобів моделювання предметної галузі та процесів ТПВ, методів автоматизованого управління ТПВ в інтегрованому інформаційному

середовищі з урахуванням специфічних особливостей конкретних виробництв та можливістю адаптуватись до змінних потоків інформації в умовах реальних виробництв є актуальною на сьогоднішній день.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої науково-технічної проблеми – підвищення ефективності промислового виробництва на основі розробки методів та систем автоматизації технологічної підготовки промислового виробництва.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в Національному авіаційному університеті відповідно до планів держбюджетних науково-дослідних робіт за темами 152-1-ДБ93 “Разработка типового проекта компьютеризации основных функций технологической подготовки производства предприятий машиностроения и приборостроения” (№UA01007470P); 152-3-ДБ95 “Розробка методів і засобів інтеграції автоматизованих систем технологічної підготовки підприємств України” (№0194U023410); 152-4-ДБ97 “Теоретична розробка та дослідження методів і засобів комплексної автоматизації технічної підготовки виробництва підприємств України” (№0196U010113); 868-ДБ01 “Розробка теоретичних методів і засобів лазерно-комп'ютерного моделювання в середовищі інформаційних інтегрованих систем (№0199U002652); 228-ДБ05 “Розробка методів та методологій інформаційної підтримки життєвого циклу продукції авіаційних виробництв на базі ISO/CALS стандартів” (№0105U001815) та у рамках програми відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України 089-ДЗ02 “Розробка методів і засобів віртуального виробництва на базі CALS та Rapid Prototyping технологій” (№0102U005585). Автор брав участь у виконанні перших 3-х із названих робіт як науковий керівник, а в інших – як відповідальний виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка методів та систем автоматизації технологічної підготовки виробництва на основі інформаційних технологій в галузі автоматизації управління.

Поставлена мета досягається розв'язанням наступних взаємопов'язаних задач дослідження:

1. Розробити метод аналізу та оцінки інформаційних та матеріальних потоків ТПВ для проведення їх оперативного розподілу.
2. Розробити методи управління процесами ТПВ для підвищення ефективності промислового виробництва.
3. Розробити методологію побудови АСТПВ розширених виробництв.
4. Розробити методи та засоби управління процесами конструкторського і технологічного проектування та відповідними проектами для підвищення рівня автоматизації ТПВ.

5. Розробити методи управління розподіленими АСПВ та методи інформаційної інтеграції з системами управління розширеним виробництвом.

6. Розробити методики, алгоритми та програмні засоби автоматизації технологічної підготовки промислових виробництв.

*Об'єктом дослідження* є процеси управління технологічною підготовкою промислових виробництв дискретного типу в інтегрованому інформаційному середовищі.

*Предметом дослідження* є методи, технології та програмні засоби систем автоматизації технологічної підготовки промислових виробництв.

*Методи дослідження* – апарат математичної логіки, теорія графів, теорія ймовірностей, теорія масового обслуговування, а також методи аналітичного та імітаційного моделювання (при розробці методів управління інформаційними потоками ТПВ та управлінням завантаження обладнання розширених виробництв), методи функціонального моделювання (дослідження предметної галузі та процесів ТПВ), теорія множин, методи поверхневого і твердотільного моделювання в середовищі сучасних автоматизованих CAD/CAM та PDM-систем (при дослідженні 3D-моделей виробу, моделювання процесу управління проектуванням), теорія штучного інтелекту та методи багатоагентних технологій (при розробці методу розподіленого функціонування АСПВ розширених виробництв).

Запропоновані моделі і методи та методики і програми, що їх реалізують, досліджувались експериментально при впровадженні та промисловій експлуатації систем автоматизації ТПВ діючих виробництв.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У роботі отримано нові наукові результати:

1. Вперше розроблено систему методів управління технологічною підготовкою розширених виробництв, яка базується на комплексному використанні функціональних, організаційних та інформаційних моделей ТПВ, аналітичного та імітаційного моделювання, що забезпечує автоматизацію процесів управління, а саме:

- метод аналізу інформаційних та матеріальних потоків в розподілених АСПВ розширених виробництв, що дає змогу більш ефективно управляти потоками завдань та завантаженням обладнання підприємств;
- метод автоматизованого управління функціями ТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі автоматизованих систем, який забезпечує підвищення рівня ефективності процесів технологічної підготовки виробництва;

- метод управління процесами ТПВ розширеного виробництва в інтегрованому інформаційному середовищі з використанням багатоагентних експертних технологій, що забезпечує побудову інтелектуальної комп'ютеризованої АСПВ.

2. Запропоновано типові діаграми процесів ТПВ і структуру інтегрованого інформаційного середовища для побудови архітектури і компонентів систем автоматизації технологічної підготовки розширеного виробництва.

3. Розроблено методи та методики управління конструкторським і технологічним проектуванням, а також відповідними проектами, які забезпечують інтеграцію 3D-моделі з базами даних та знань, підвищують рівень автоматизації ТПВ, забезпечують гнучкість створюваної АСПВ, а саме:

- метод управління процесом проектування операційних технологічних процесів та процесом обробки деталей на верстатах із числовим програмним керуванням;
- методика управління конструкторськими і технологічними проектами в інтегрованому інформаційному середовищі АСПВ;
- метод інтеграції АСПВ із системами управління виробництвом, який полягає в підготовці необхідної інформації для ERP-систем засобами розробленого додатку PDM-системи, що забезпечує підвищення ефективності процесів ТПВ і виробництва за рахунок інтегрованого розв'язання задач проектування технологічних процесів та підвищення рівня завантаження обладнання при спільному функціонуванні АСПВ і ERP-систем.

4. Запропоновано принципи побудови автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва, схеми ефективної взаємодії фахівців підприємства, які беруть участь у розробці АСПВ та інжинірингових фірм, що забезпечують використання інструментальних засобів (PLM-рішень), розроблено схему поетапної побудови АСПВ на основі цих PLM-рішень та алгоритм побудови розширених виробництв.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Розроблена методика використання функціонального моделювання предметної галузі та процесів ТПВ, яка застосована при побудові АСПВ на промислових підприємствах та для управління технологічною підготовкою виробництва.

2. На базі цієї методики побудована та реалізована в середовищі PDM-системи SmarTeam структура інтегрованого інформаційного середовища ТПВ, що являє собою уніфіковане базове рішення, яке істотно скорочує трудомісткість і час створення АСПВ.

3. Розроблена методика управління конструкторським і технологічним проектуванням та відповідними проектами в інформаційному середовищі PDM-системи SmarTeam v5R14 з використання процедурних модулів CAD/CAM системи Cimatron E v7.

4. Розроблена методика побудови розширених виробництв на основі впровадження АСТПВ, комплексного використання методів управління ТПВ, які функціонують в інтегрованому інформаційному середовищі.

5. На основі розроблених методів і методик створено методичне, алгоритмічне та програмне забезпечення АСТПВ, яке реалізує автоматизацію технологічної підготовки виробництва.

6. Розроблено рекомендації з побудови АСТПВ, її промислової експлуатації в інтегрованому інформаційному середовищі розширеного виробництва.

Розроблені методи, методичне та програмне забезпечення АСТПВ впроваджено на підприємствах України та Росії, зокрема на ВАТ “Мотор Січ” (м. Запоріжжя), ВАТ “Сумське науково-виробниче об’єднання ім. М.В.Фрунзе” (м. Суми), ЗАТ “Бі Пітрон” (м. Санкт-Петербург).

Результати дисертаційних досліджень використовуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету (м.Київ), Хмельницького національного університету (м.Хмельницький), Вінницького національного технічного університету (м.Вінниця), Санкт-Петербурзького державного інституту точної механіки й оптики (технічний університет) (м.Санкт-Петербург).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація відображає результати досліджень, здійснених автором у Черкаському державному технологічному університеті (1993-1998р.) та Національному авіаційному університеті (1999-2005р.). Основні результати одержані здобувачем самостійно. Автору особисто належать ідеї та розробки, пов’язані зі створенням методології побудови АСТПВ, методів управління ТПВ та практичною реалізацією концепції автоматизованого управління процесами ТПВ розширених виробництв.

У надрукованих статтях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: постановка задачі, теоретичне обґрунтування формального апарату, розробка методів [3, 4, 7, 13, 15, 20, 29, 41], формальні моделі, функціональні та архітектурні рішення системи [5, 31], принципи, методологія побудови систем [6, 10, 28, 33, 35, 40], формулювання проблем, визначення задач та концептуальних основ побудови систем [2, 30, 34, 38].

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи й основні наукові положення доповідались та обговорювались на 18 міжнародних симпозиумах, конференціях і семінарах. Основні з них такі: Республіканська конференція

“САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства в машиностроении” (Харків, 1990 р.); Республіканська науково-технічна конференція “Автоматизированное проектирование гибких производственных систем многономенклатурного производства” (Київ, 1991р.); Республіканська науково-технічна конференція “Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства” (Київ, 1992 р.); Міжнародна конференція “Компьютерные технологии в промышленности” (Київ, 1994 р.); Міжнародна конференція “Оснастка – 95” (Київ, 1995 р.); Конференція “Новые компьютерные технологии в АСУП и САПР в промышленности” (Київ, 1995 р.); IV Українська конференція з автоматичного управління “Автоматика 97” (Черкаси, 1997 р.); Міжнародна наукова конференція “Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии” (Харків, 1998 р.); IV Міжнародна науково-технічна конференція “ABIA–2002” (Київ, 2002 р.); Міжнародна науково-технічна конференція “Современные средства автоматизации и компьютерно-интегрированные технологии” (Краматорськ, 2003 р.); Міжнародний симпозиум „Стандарты в проектах современных информационных систем” (Москва, 2003 р.); VI Міжнародно-технічна конференція “ABIA–2004” (Київ, 2004 р.); Міжнародна науково-технічна конференція “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні” (ІКТМ–2004) (Харків, 2004 р.); Міжнародна науково-практична конференція “Актуальные вопросы и организационно-правовые основы сотрудничества Украины и КНР в сфере высоких технологий” (Київ, 2004 р.); Міжнародна науково-технічна і методична конференція “Актуальні проблеми математики, механіки і комп’ютерних технологій (АПММКТ – 2005) (Хмельницький, 2005 р.); Міжнародна науково-технічна конференція “Датчики, прилади та системи – 2005”(Ялта, 2005 р.); IV Международная научно-практическая конференция „Техника для химволокон” (Чернігів, 2005 р.); VII Міжнародно-технічна конференція “ABIA–2005” (Київ, 2005 р.), а також наукові семінари інституту інформаційно-діагностичних систем НАУ в 1999–2005 роках.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано більше 60 наукових праць, у тому числі 23 у фахових наукових виданнях, із них 14 одноосібні, включаючи наукову монографію. Перелік основних 41 публікацій наведено в авторефераті.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 363 сторінки, з яких основний зміст викладено на 266 сторінках, містить 105 рисунків і 9 таблиць, список використаних джерел із 264 найменувань на 25 сторінках, додатків на 48 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність проблеми, що вирішується, сформульовані мета й задачі досліджень, визначені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів. Наведені дані про зв'язок роботи з науковими програмами та планами НДР організації, де виконувалась робота, вказано на впровадження отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача у надрукованих роботах, представлена інформація щодо апробації та публікації результатів дисертації.

У *першому розділі* на основі аналітичного огляду стану проблеми обґрунтовано нагальну потребу розробки та задачі дослідження. Проведено аналіз сучасних методологій побудови автоматизованих систем та методів управління технологічною підготовкою виробництва, методів моделювання об'єктів, функцій та проектних рішень процесу автоматизації ТПВ. Показано функціональні можливості відомих автоматизованих систем, які частково автоматизують функції ТПВ. Проведено аналіз впливу процесів глобальної трансформації промисловості та досягнень прогресивних інформаційних технологій на процес технологічної підготовки виробництва.

На підставі аналізу зроблено висновок, що з появою сучасних автоматизованих систем (CAD/CAM/CAE, PDM-систем та ін.) поняття АСТПВ стало неоднозначним із-за виконання ними різних локальних задач ТПВ без їх розгляду, як комплексу підсистем єдиної і завершеної АСТПВ. Предметна спеціалізація ТПВ, а також вимоги комплексності при автоматизації ТПВ роблять актуальним розгляд АСТПВ як логічно завершеної і самостійно-функціональної системи. При цьому CAD/CAM і CAE-системи, САПР ТП та інші автоматизовані системи стають засобами виконання різних проектних процедур, а PDM-система – засобом для реалізації процесів управління ТПВ. Розроблювана АСТПВ повинна виступати як інформаційна система підтримки процесів прийняття рішень у галузі ТПВ промислових підприємств.

Показано, що процеси трансформації виробництва вимагають зміни функціональності АСТПВ та її архітектури, зокрема АСТПВ повинна мати у своєму складі інструментальні засоби і досконалі методи управління ТПВ в розподіленому середовищі промислового виробництва. Розглянуті можливості нових організаційних форм промислових підприємств – розширених підприємств. Показано невідповідність даного терміну сучасним вимогам. Введено новий термін – „розширене виробництво”, розроблено класифікацію таких виробництв. Проведено аналіз стану розробки та методів впровадження АСТПВ у промислове виробництво України.

Визначено сукупність питань, які складають науково-технічну проблему, що вирішуються в дисертаційній роботі. Проблема включає в себе: по-перше, розробку моделей, методик, алгоритмів та програм, які б дозволяли комплексно автоматизувати процеси ТПВ і підвищити їх ефективність; по-друге, створити методологію побудови АСТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі розширених виробництв на основі автоматизації управління ТПВ. Поставлені питання вимагають вирішення цілого комплексу взаємопов'язаних задач, які представлені як задачі дослідження і розглядаються в наступних розділах дисертації.

*Другий розділ* присвячено розробці методологічних основ побудови автоматизованих систем технологічної підготовки промислового виробництва. Розглянуто фактори, які враховуються при побудові АСТПВ. Показано, що процес побудови АСТПВ є функцією трьох базових факторів

$$A = F(Q, M, S), \quad (1)$$

де  $A$  – АСТПВ;  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_K)$  – вектор характеристик предметної галузі;  $M = (m_1, m_2, \dots, m_L)$  – вектор характеристик обраної методології побудови інформаційних систем;  $S = s_1, s_2, \dots, s_N$  – вектор характеристик інструментальних засобів, що використовуються;  $q$ ,  $m$ ,  $s$  – локальні фактори векторів різних характеристик.

Аналіз функцій локальних факторів (1), дозволив сформулювати базові принципи побудови АСТПВ з урахуванням сучасних тенденцій розвитку промислового виробництва та досягнень сучасних інформаційних технологій. Основними з яких є: урахування головної ролі 3D-моделі виробу; використання PLM-рішень, як інструментальних засобів; використання процесного підходу та об'єктно-орієнтованих моделей процесів ТПВ; створення інтегрованого інформаційного середовища (ІС) для фахівців ТПВ; використання реінжинірингу та нових організаційних форм ТПВ.

Розглянуто організаційні механізми побудови АСТПВ, які ґрунтуються на методах реінжинірингу та об'єктно-орієнтованого підходу. Запропоновано схему ефективної взаємодії фахівців підприємства, які беруть участь у розробці АСТПВ та інжинірингових фірм, що забезпечують поставку та супровід інструментальних засобів (PLM-рішень). Проведено аналіз процесу вибору конкретних PLM-рішень і запропоновано схему поетапної побудови АСТПВ на основі цих PLM-рішень (рис.1), яка складається з ряду послідовних і паралельних етапів розробки.

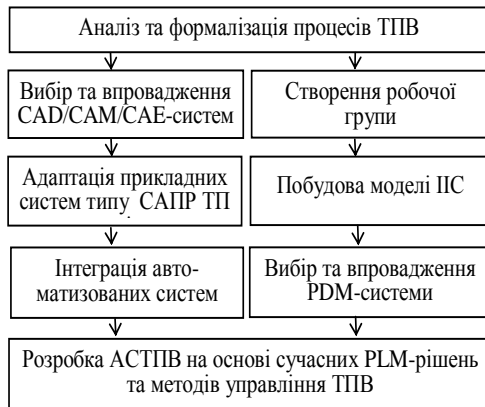


Рис.1. Схема поетапної побудови АСТПВ на промислових підприємствах

Встановлено вимоги до інтегрованого інформаційного середовища (ІС) АСТПВ розширених виробництв. Розроблено структуру ІС, яка включає загальну базу даних підприємства, базу даних виробів та інформаційні об'єкти із структурою даних згідно стандартів групи ISO 10303. Показано, що АСТПВ є сукупністю програмних та апаратних засобів, які виконують функції збору та обробки інформації, оптимального формування алгоритмів управління процесами ТПВ. Задача розробки сучасних АСТПВ полягає у дослідженні, проектуванні та реалізації складних інформаційних систем із використанням процесного підходу, методів аналітичного та імітаційного моделювання. Систематизовано відомі підходи до побудови структури систем і аналізу процесів та запропоновано методику структуризації процесів ТПВ на основі сукупності функціональної, організаційної та інформаційної моделей.

Запропоновано класифікацію функцій, яка дозволяє створювати типові функціональні моделі на різних рівнях декомпозиції, які витікають з положень загальної теорії систем по М.Месаровичу (рис.2). Моделі першого рівня описують процеси управління структурними підрозділами ТПВ і взаємодії

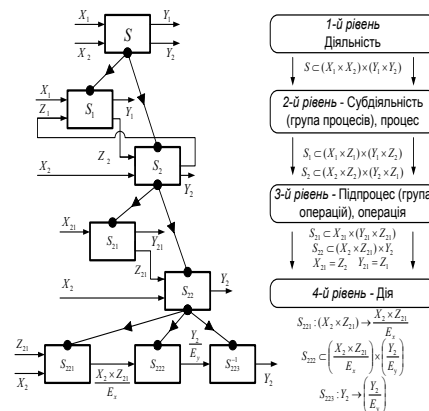


Рис.2. Класифікація функцій та їх відповідність рівням декомпозиції по М.Месаровичу: S - система; X - вхідні об'єкти; Y - вихідні об'єкти; Z - об'єкти, які можуть утворювати з'єднання; E - оператор перетворення

основних та допоміжних процесів. Моделі другого рівня описують структуру процесів ТПВ, третього – операції етапів ТПВ і четвертого – дії фахівця з ТПВ у межах операції, дії обладнання та ін.

Встановлено відповідність між функціональними моделями та організаційно-технічними структурами, які реалізують процеси ТПВ підприємства.

Проведено топологічний аналіз організаційних моделей структури АСТПВ на основі математичного аналізу теорії графів.

З метою розробки нових математичних моделей для формалізації процесів управління ТПВ, у роботі використано в якості математичного апарату моделювання теорію масового обслуговування, а в якості моделей ТПВ для 3-го і 4-го рівнів ТПВ – системи масового обслуговування (СМО). Розроблено методику побудови імітаційних моделей ТПВ, яка дозволяє вирішити задачу аналізу інформаційних потоків, виявити основні закономірності функціонування технологічної підготовки та синтезувати структуру АСТПВ (рис.3).

Проведено дослідження процесів технологічної підготовки виробництва, що дозволило розробити метод аналізу інформаційних та матеріальних потоків в розподілених АСТПВ, який дає змогу оцінити продуктивність блоків (функцій і прецедентів), які виконують перетворення матеріальних та інформаційних потоків, визначити реальну пропускну здатність каналів (ліній обробки, верстатів, АРМ технологів та ін.) по яких ці потоки передаються, перерозподіляти потоки завдань фахівців та

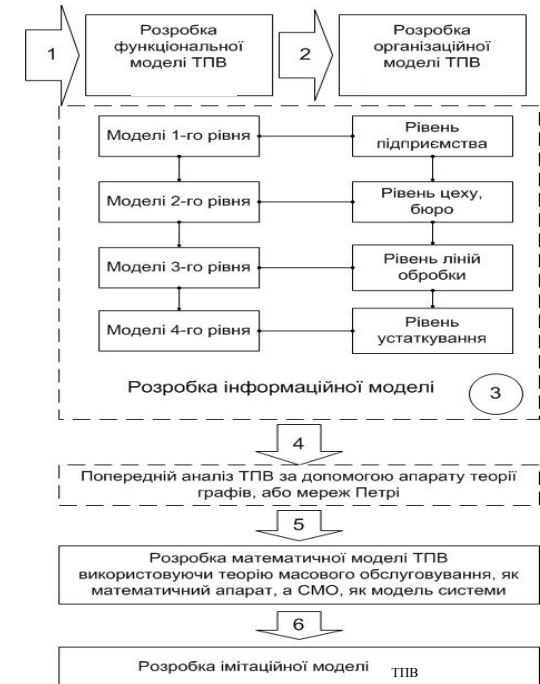


Рис.3. Алгоритм методики побудови імітаційної моделі технологічної підготовки виробництва

управляти завантаженням обладнання розширених виробництв, виявити „вузькі” місця та резерви, оцінити залежність продуктивності від надійності обладнання та витрати ресурсів. При цьому процеси ТПВ розглядалися як багатоканальні СМО з обмеженим очікуванням, основними показниками роботи яких є ймовірність відмови  $P_{від}(t)$ , яка означає вірогідність того, що система в момент часу  $t$  перебуває в стані  $k - P_k(t)$  та асимптотична поведінка цих величин за  $t \rightarrow \infty$  для декількох варіантів представлення дисципліни черги та часу зайнятості каналу і часу очікування  $\tau_{оч}$ . Для найбільш загального випадку, коли час зайнятості  $t_3$  каналу і час очікування розподілені за показниковими законами, імовірності  $P_k(t)$  та  $P_{від}(t)$  розраховуються наступним чином:

$$P_k = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}} \quad \text{при } 0 \leq k \leq n; \quad (2)$$

$$P_{від} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}{\alpha \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}, \quad (3)$$

де  $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ ,  $\beta = \frac{\nu}{\mu}$ ;  $\mu$  – інтенсивності обробки матеріального або інформаційного потоку в каналі;  $\lambda_i (i=1, \dots, m)$  – інтенсивності потоку;  $n$  – кількість каналів;  $k$  – кількість зайнятих каналів;  $s$  – кількість заявок у черзі.

Використовуючи математичні моделі (2, 3) та дані конкретних виробничих процесів, розроблено алгоритм роботи системного аналітика АСПВ та програмний модуль ANALYSIS, які дозволяють автоматизувати управління ТПВ розширених виробництв та здійснювати розрахунки середнього часу перебування заявки в черзі  $T_{оч}$ , середнього часу перебування в системі  $T_c$ , середнього часу простою  $T_{пр}$ . Результати розрахунків  $\mu$ ,  $\lambda_i$ ,  $\rho$ ,  $T_{оч}$

$T_c$ ,  $T_{пр}$  для аналізу потоків заготовок, які поступають на дільницю з 5-ти верстатів для подальшого виготовлення виробів, наведені на рис.4.

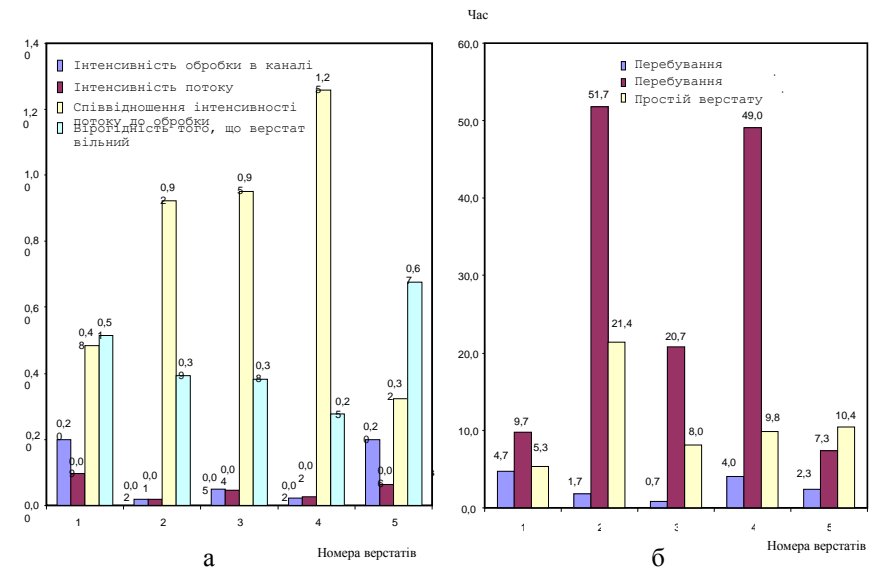


Рис.4. Результати аналізу заявок на обслуговування: а – умови роботи обладнання; б – часові характеристики роботи обладнання

Розроблено метод оптимального динамічного управління процесами ТПВ, який дозволяє для кожного фіксованого значення керованих параметрів забезпечити екстремальне значення визначеного критерію. На прикладі управління процесами технологічного проектування показано, що задача визначення оптимального технологічного процесу зводиться до знаходження мінімуму функціонала

$$\Phi = f_3 \{U(y), t_M[U(y)]\} \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $y = f_1(t)$  – вектор зміни часової характеристики технологічного процесу;  $u = f_2(t_{p(x)}, V_{p(x)})$  – вектор керованих параметрів, таких, як  $t_{p(x)}$  – час і  $V_{p(x)}$  – швидкість переміщення інструменту на робочому та холостому ході відповідно.

Для переходу від загальної (4) до конкретної постановки задачі, побудовано узагальнений функціонал, відповідно до  $\sigma$ -алгебри, яка задана системою рівнянь

$$\begin{aligned} t_{P_{is}} &= \sum_{i=1}^I \frac{l_{P_{is}}}{V_{P_{is}}}, \quad i = \overline{1, I}, \quad s = \overline{1, S}; \\ t_{X_{js}} &= \sum_{j=1}^J \frac{l_{X_{js}}}{V_{X_{js}}} + t_{z_{js}}, \quad j = \overline{1, J}; \\ t_{\Sigma_{rq}} &= \sum_{r=1}^R \frac{l_{X_{rq}}}{V_{X_{rq}}} + t_{z_{rq}} + t_{noz_{ai}}, \quad r = \overline{1, R}, \quad g = \overline{1, G}, \end{aligned} \quad (5)$$

яка визначає час машинної обробки деталі

$$t_I = \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left( \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_x}{V_x} + t_z + t_{noz} \right)_{grji}, \quad (6)$$

де  $l_p, l_x$  – довжина траєкторії переміщення інструмента на робочому та холостому ходах відповідно;  $V_p, V_x$  – швидкість переміщення інструменту на робочому та холостому ходах відповідно;  $t_z$  – час на заміну інструменту;  $t_{noz}$  – час на позиціонування столу-супутника верстата;  $i, I$  – індекс та кількість робочих ходів відповідно;  $j, J$  – індекс та кількість холостих ходів відповідно;  $r, R$  – індекс та кількість сторін обробки виробу відповідно;  $g, G$  – індекс та кількість позиціонувань під час обробки виробу відповідно;  $t_{\Sigma}$  – сумарний час обробки сторони деталі;  $S$  – кількість інструментів, які використовуються для обробки виробу під час одного позиціонування.

Для вирішення задачі оптимального динамічного управління необхідно забезпечити оптимальність параметрів  $t_p$  і  $t_x$ , які забезпечать максимальне значення ймовірності події  $P_1^t$  за якої технологічний процес буде спроектований за заданої  $\sigma$ - алгебри в просторі  $t_M$  так, що загальний час обробки  $t_M \leq t_M^3$ , де  $t_M^3$  – заданий загальний час обробки.

Враховуючи, що  $P_1^t$  – ймовірність того, що параметри простору  $t$  в спроектованому технологічному процесі знаходяться в інтервалі  $\mu(t_1, t_M^3) = |t_1 - t_M^3|$  маємо  $P_1^t$  у вигляді

$$P_1^t = \frac{\mu(t_M^3, t_1)}{\mu(t_M^3, t_k)}, \quad (7)$$

де  $\mu$  – символ міри в просторі  $t = \{t_p; t_x\}$ , а  $\mu(t_M^3, t_k) = t \leq t_M^3$ ;  $t_k$  – час механічної обробки деталі на даному  $k$ -му технологічному переході, який задається технологом, що змінює складові  $u = f_2(t_{P(X)}, V_{P(X)})$  на кожному з кроків проектування. Показано, що технологічний процес буде мати найбільшу ефективність тільки тоді, коли

$$h_k = 1 - P_M^t = 1 - \frac{\mu(t_{k-1}, t_k)}{\mu(t_M^3, t_k)}. \quad (8)$$

Послідовність  $\{h_k, k = \overline{1, K}\}$  у цьому разі є мірою, яка характеризує якість процесу управління проектуванням. Це дає підставу зробити висновок про подію завершення процесу управління проектуванням і про ймовірність цієї події  $P_n^3$ .

Ураховуючи теорему про суму імовірностей, узагальнену характеристику  $P_n^3$  якості процесу проектування оптимальної за критерієм продуктивності технології, можна розрахувати за формулою

$$P_n^3 = h_1 + h_2 + \dots + h_k + \sum_{f=1}^k (-1)^{f-1} \sum_{n_1 < n_2 < \dots < n_f} h_{n_1} \dots h_{n_f}, \quad (9)$$

де  $n = \overline{1, K}$ ;  $f = \overline{1, K}$ .

Отже, функціонал (9) є функцією своїх аргументів і розглядається як критерій, який характеризує задану на  $t$  співвідношеннями (5) та (6)  $\sigma$ - алгебру. Управління  $u = f_2(t_{P(X)}, V_{P(X)})$  забезпечує максимальне значення функції  $P_n^3$ . У роботі проведено узагальнення запропонованого методу і показано його застосування для автоматизації задач управління плануванням ТПВ.



У *третьому розділі* встановлено, що для побудови АСТПВ та розробки методів управління і формалізації потоків інформації ТПВ промислових підприємств, опису її об'єктів ефективна побудова інформаційних моделей на основі методології функціонального моделювання RUP/UML (Rational Unified Process/Unified Modeling Language).

Представлено результати функціонального моделювання об'єктів і процесів ТПВ на базі методології RUP/UML та структури інтегрованого інформаційного середовища. Запропонована методика побудови восьми типів діаграм, яка описує як процеси, так і інформаційні об'єкти ТПВ. Розроблено правила деталізації функціональних діаграм, які використовуються для аналізу предметної галузі та оптимізації процесів ТПВ. Розроблено типові функціональні моделі основних функцій ТПВ – відпрацювання виробу на технологічність, проектування оснастки та засобів технічного оснащення, проектування технологічних процесів, які можуть використовуватись як аналоги під час побудови функціональних моделей на промислових підприємствах України.



Рис.5. Структурна схема інтегрованого інформаційного середовища

Методика та встановлені правила утворюють методологічну основу для переходу від функціональних моделей процесів ТПВ до їх практичної реалізації в автоматизованій системі технологічної підготовки виробництва.

Встановлено, що вся сукупність об'єктів предметної галузі ТПВ може бути віднесена до суперкласу в нотації UML „Продукт – Процес – Ресурс”. Запропоновано терміни цих понять, структуру їх розділів в інтегрованому інформаційному середовищі. Побудовано загальну структуру інтегрованого інформаційного середовища ТПВ розширеного виробництва з використанням діаграм класів UML (рис.5), яка ґрунтується на структуруванні моделі ТПВ як

сукупностей даних „Продукт – Процес – Ресурс” та утворює методологічну основу процесу побудови архітектури і розробки компонентів АСТПВ.

У *четвертому розділі* розроблені методи управління конструкторсько-технологічним проектуванням в інтегрованому інформаційному середовищі АСТПВ на основі інформаційної структури 3D-моделі. Аналізуються варіанти інформаційного представлення та методи використання 3D-моделей. Запропоновано новий підхід до інформаційного представлення 3D-моделей виробу, який дозволяє автоматизувати задачі управління ТПВ. У загальному вигляді 3D-модель описується функцією

$$A = f(t_{ij}, \|A_{\sigma n}\|, \|A_o\|), \quad (10)$$

де  $t_{ij}$  – момент часу, в

який на  $i$ -номер верстату (лінії, дільниці тощо) надійшов на обробку  $j$  – номер виробу (об'єкту, напівфабрикату тощо);  $\|A_{\sigma n}\|$  – матриця станів безперервних параметрів;  $\|A_o\|$  – матриця станів дискретних параметрів.

Розроблено механізм створення прикладних процедурних додатків, який реалізується засобами прикладного програмного API інтерфейсу PDM-системи і дозволяє вирішувати задачі управління конструкторським та технологічним проектуванням з використанням бази даних виробів та бази корпоративних знань розширеного виробництва (рис.6).

Проведено комплексне дослідження методів використання 3D-моделей системи „Верстат – Пристрій – Інструмент – Деталь”, на основі

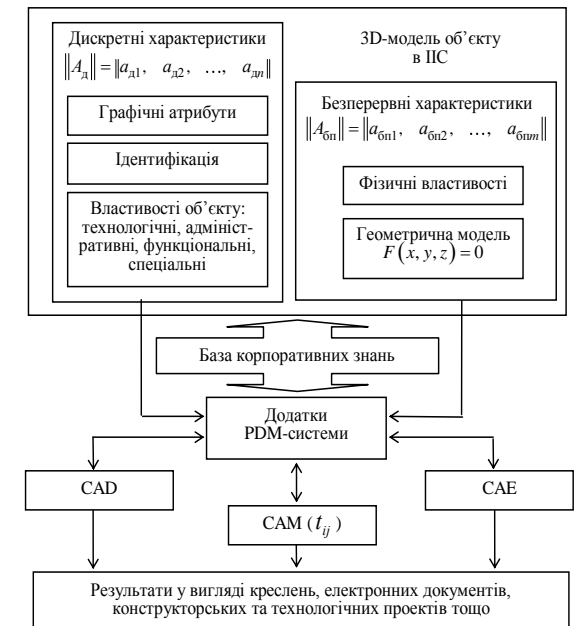


Рис.6. Схема інтегрованого використання 3D-моделі та бази знань ІС розширеного виробництва

функціональних можливостей сучасних автоматизованих систем виробничого призначення.

Показано, що 3D-моделі елементів технологічної системи є як джерелом інформації під час вирішення широкого спектра завдань із розробки операційного технологічного процесу та формування керуючих програм (КП) для верстатів з числовим програмним керуванням, так і тими базовими елементами, на яких будуються алгоритми проектних процедур.

Розроблено математичні моделі процесу обробки виробу, представлені аналітичними співвідношеннями, які описують зміни параметрів напівфабрикату в процесі обробки та з урахуванням (10):

$$\|A_{\delta n}^K\|^T = \left\| \begin{array}{c} a_{\delta n1}^0 \pm \Delta a_{\delta n1}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) \pm \delta a_{\delta n1}^K \\ \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots \\ a_{\delta nm}^0 \pm \Delta a_{\delta nm}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) \pm \delta a_{\delta nm}^K \end{array} \right\|; \quad (11)$$

$$\|A_{\delta}^K\|^T = \left\| \begin{array}{c} a_{\delta 1}^0 \{\overline{0,1}\}, \dots, a_{\delta 1}^K \{\overline{0,1}\} \\ \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots \\ a_{\delta n}^0 \{\overline{0,1}\}, \dots, a_{\delta n}^K \{\overline{0,1}\} \end{array} \right\|; \quad (12)$$

де  $\beta_l$  – параметри, що характеризують верстат і процес обробки;  $y_r$  – команди системи управління обробкою (команди КП);  $\delta a_{\delta nm}^K$  – випадкові відхилення від кінцевого стану параметра  $m$ , які визначаються похибками обробки та описуються відповідними законами розподілу;  $a_{\delta nm}^K = a_{\delta nm}^0 + \Delta a_{\delta nm}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l)$  – параметри готового виробу після обробки.

Запропоновано метод управління процесом проектування операційних технологічних процесів та обробки виробів на верстатах з числовим програмним керуванням, який побудовано на основі інформації від автоматизованих систем та змін в 3D-моделі виробу (рис.7).

Формування програмних траєкторій інструменту запропоновано здійснювати шляхом одночасного розв'язання системи рівнянь, яка описує апроксимовані поверхні виробу та математичну модель інструменту в єдиній системі координат (як правило, виробу) відносно нульової точки інструменту, тобто

$$\|I_{in}^{\Pi}\| = \left\| \begin{array}{ccc} i & j & k \\ x_{in}^{\Pi} & y_{in}^{\Pi} & z_{in}^{\Pi} \end{array} \right\|, \quad (13)$$

де  $x_{in}^{\Pi}, y_{in}^{\Pi}, z_{in}^{\Pi}$  – програмні координати інструменту;  $i, j, k$  – орти, що визначають положення осі інструменту в системі координат деталі. Управляючі сигнали для механізму відпрацювання просторового положення інструменту розраховуються постпроцесором як різниця між поточним положенням інструменту та програмною траєкторією з відповідним коефіцієнтом

$$\|Y\| = q \|\Delta I\| = q \left\| \begin{array}{ccc} i & j & k \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z \end{array} \right\|, \quad (14)$$

де  $\Delta x = x_{in}^{\Pi} - x_{in}$ ,  $\Delta y = y_{in}^{\Pi} - y_{in}$ ,  $\Delta z = z_{in}^{\Pi} - z_{in}$  – відхилення поточної траєкторії інструменту від програмної;  $q$  – коефіцієнт підсилення управляючого сигналу.

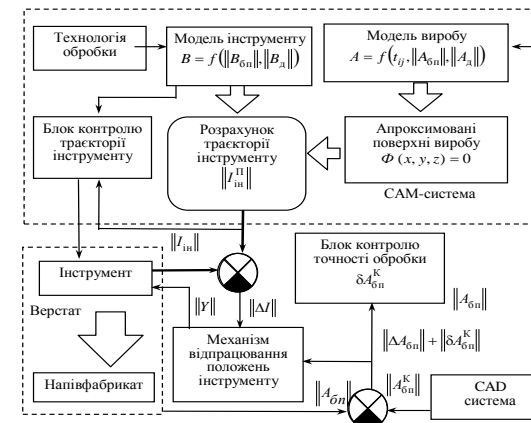


Рис. 7. Схема реалізації методу управління процесом проектування та обробки виробу

Функціонування блоку контролю точності обробки здійснюється відповідно до механізму верифікації сучасних CAD/CAM-систем, в основу якого покладено порівняння вихідної (конструкторської) моделі деталі з моделлю деталі, яку отримано в результаті обробки. Оцінкою точності є величина відхилення параметрів деталі  $\delta a_{\delta nm}^K$  після обробки від її номінальних параметрів (Н). Припускаючи, що

процес обробки було завершено точно, без помилок, тобто  $\|A_{\delta n}^K\|^T = \|A_{\delta n}^H\|^T$  з урахуванням (11) для  $\delta a_{\delta nm}^K$  отримано

$$\|\delta a_{\delta n}^K\|^T = \|A_{\delta n}^H\|^T - \|A_{\delta n}^K(t^K)\|^T, \quad (15)$$

$$\|\Delta A_{\sigma n}^k\|^T = \begin{vmatrix} a_{\sigma n l}^0 \pm \Delta a_{\sigma n l}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) - a_{\sigma n l}^0 \mp \Delta a_{\sigma n l}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) \mp \delta a_{\sigma n l}^k \\ \dots \\ a_{\sigma n m}^0 \pm \Delta a_{\sigma n m}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) - a_{\sigma n m}^0 \mp \Delta a_{\sigma n m}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) \mp \delta a_{\sigma n m}^k \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mp \delta a_{\sigma n l}^k \\ \dots \\ \mp \delta a_{\sigma n m}^k \end{vmatrix}, \quad (16)$$

Матриця  $\|\Delta A_{\sigma n}\|$  призначена для розрахунків точок контакту інструменту з устаткуванням та контролю за завершенням процесу обробки.

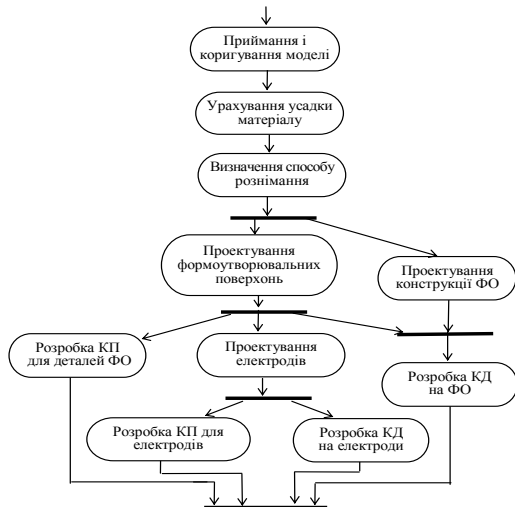


Рис.8. Діаграма паралельного проектування формуютьвальної оснастки

завдань та можливість колективного і паралельного проектування. У нотатції UML моделювання на рис.8 показано етапи методики проектування.

Автором запропонована методика управління конструкторськими (рис.9) і технологічними проектами в ПС АСТПВ, побудована на проектних процедурах управління API інтерфейсу PDM-системи

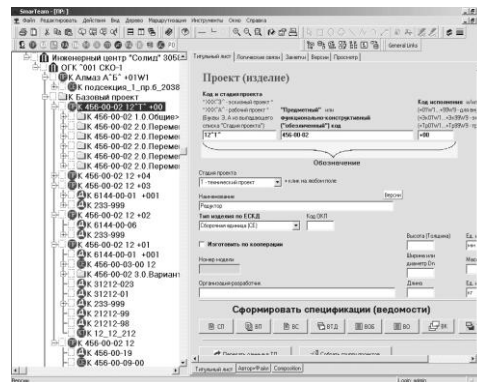


Рис.9. Приклад управління конструкторським проектом виробу

Розроблено методику наскрізного паралельного проектування формуютьвальної оснастки (ФО) та інструменту з використанням інтегрованих процедурних CAD-додатків. Для цього використано сучасні CAD/CAM-системи Cimatron E і Catia v5 та засоби програмного API інтерфейсу PDM-системи SmarTeam. Показано, що в основу методу покладені параметризовані 3D-моделі виробів, розташовані в загальній базі даних ПС, що забезпечує високий рівень автоматизації проектних

SmarTeam. Розроблено нові підходи до побудови систем технологічного проектування – САПР ТП та автоматизації процесу технологічного проектування, які полягають у використанні інформаційних об'єктів ТПВ інтегрованого інформаційного середовища АСТПВ.

**У п'ятому розділі** представлено методи та засоби управління процесами технологічної підготовки виробництва в інформаційному середовищі розширеного виробництва. Показано, що в сфері конструкторського і технологічного проектування та виготовлення засобів технологічного оснащення існує реальне конкурентне середовище, яке досліджується як розширене виробництво першого рівня. Розроблено метод управління замовленнями розширеного виробництва та алгоритм його виконання. Структурна схема, що пояснює використання методу управління замовленнями, наведена на рис.10. Програмна реалізація методу базується на прикладному API інтерфейсі PDM-системи та функціональних можливостях розподілених АСТПВ. Блок управління процесом обробки інформації та прийняття рішення містить у собі програмну реалізацію розробленого алгоритму, який забезпечує мінімізацію функції, що має вигляд

$$F = d_1 S \cdot S + d_2 T \cdot T + d_3 Q \cdot Q + d_4 R \cdot R \rightarrow \min, \quad (17)$$

де  $d_1, d_2, d_3, d_4$  – вагові коефіцієнти;  $S$  – вартість виконання замовлення;  $T$  – час виконання замовлення;  $Q$  – якість виконання замовлення;  $R$  – ступінь ризику.

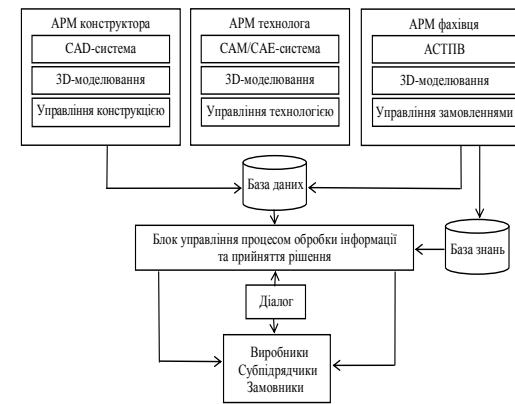


Рис.10. Схема використання методу управління замовленнями розширеного виробництва

Запропоновано метод інформаційної інтеграції АСТПВ із системами управління виробництвом (ERP-системи), що полягає в підготовці необхідної інформації для ERP-систем засобами прикладного API інтерфейсу PDM-системи.

Сформовано матриці параметрів виробу відповідно до моделі (10) та вимог стандарту MRP-II.

Використання даних моделі (10) та методу управління процесом технологічного проекту-

вання і обробки виробу забезпечує підвищення сумарної ефективності процесів ТПВ і процесів виробництва за рахунок інтегрованого розв'язання задач проектування технологічних процесів та оптимізації завантаження обладнання при спільному функціонуванні АСТПВ і ERP-систем.

Встановлено, що для умов розширених виробництв метод інтеграції АСТПВ і систем управління виробництвом дозволяє розв'язувати задачі вибору обладнання в поточних операціях технологічного процесу. Діаграму реалізації методу в нотатції UML моделювання представлено на рис.11.

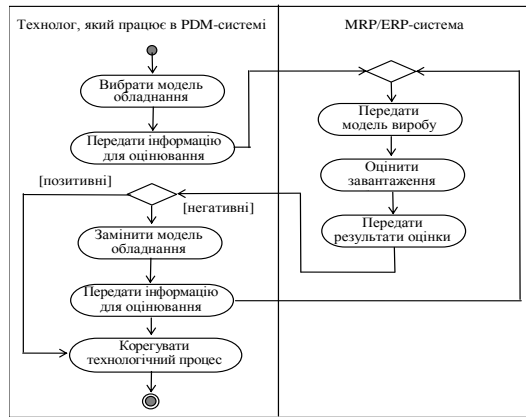


Рис.11. Діаграма інтегрованого вирішення задачі вибору обладнання розширеного виробництва

рамні модулі API інтерфейсу PDM-системи. Розглянуто принципи взаємодії агентів, структуру даних для аналізу і прийняття проектних рішень, функції агентів по пошуку замовлень, аналізу робіт і ресурсів, оцінці замовлень, формуванню замовлень на виготовлення.

Запропоновано метод управління розподіленими АСТПВ у відкритому інформаційному середовищі на основі застосування багатоагентних експертних технологій під час функціонування розширеного виробництва, що дозволяє здійснювати OEM-діяльність (Original Equipment Manufacturer). Метод покладено в основу розробки багатоагентної експертної підсистеми (БЕП) в інтегрованому інформаційному середовищі АСТПВ, структурно-функціональна схема якої наведена на рис.12.

Розглянуто механізми побудови інструментарію БЕП, які складаються із двох компонентів: засобів розробки і середовища агентно-орієнтованих

Встановлено, що на прийняття рішення впливають додаткові фактори, такі як транспортні витрати, витрати на пристосування, витрати на допоміжний інструмент та ін.

Для вирішення задач управління ТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі розширеного виробництва запропоновано використання методу багатоагентних технологій. Показано, що функції агенту реалізують програмні модулі API інтерфейсу PDM-системи.

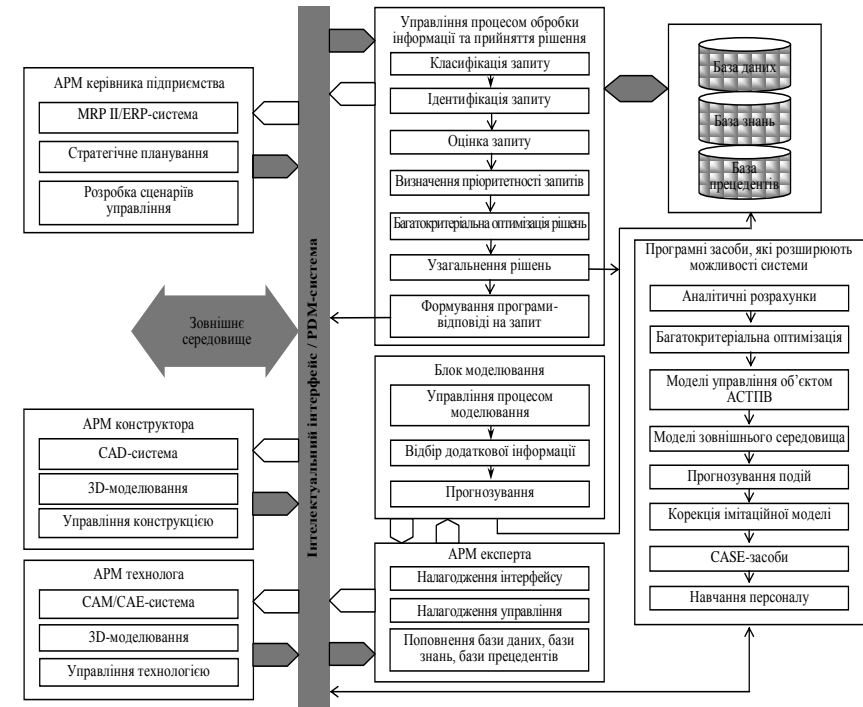


Рис.12. Структурно-функціональна схема багатоагентної експертної підсистеми АСТПВ

програм. Перший компонент забезпечує підтримку процесів аналізу предметної галузі ТПВ розширених виробництв і розробку програмних додатків API інтерфейсу PDM-системи (агентів із заданою поведінкою). Другий – забезпечує інформаційне середовище даними, необхідними для виконання агентно-орієнтованих програм. Діаграму проектування й реалізації агентно-орієнтованих додатків в нотатції мови UML представлено на рис.13.

Розробка інструментарію базується на функціональному моделюванні об'єктів і процесів ТПВ та програмних засобах налагодження агентних додатків та програм управління агентами на базі API інтерфейсу PDM-системи.

Блок моделювання є основною складовою частиною БЕП і здійснює наповнення бази даних, бази знань та бази прецедентів, формує алгоритм агентів, відбір інформації та управління процесом моделювання. Блок управління процесом обробки інформації та прийняття рішення виконує роботу агентів БЕП. Програмні додатки API інтерфейсу PDM-системи задають схему дій агентів. Після отримання вхідного запиту здійснюється його обробка (ідентифікація, класифікація, оцінювання) з використанням відповідних баз

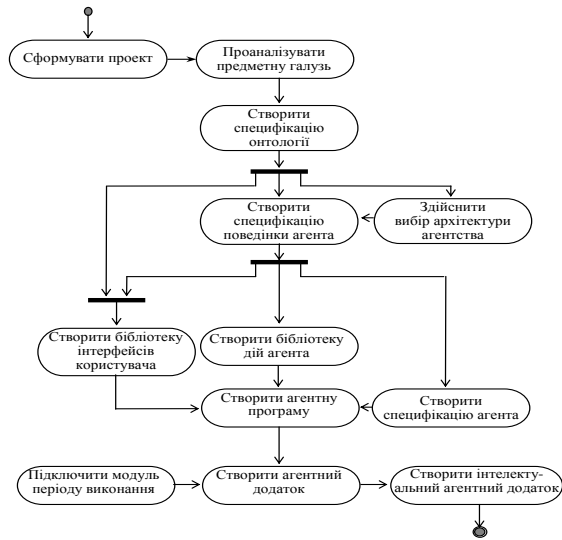


Рис.13. Діаграма процесу розробки агентно-орієнтованих додатків

виробництв та впровадження автоматизованих систем ТПВ, сформульовано вимоги до технічних засобів як на фізичному, так і на логічному рівні. В результаті запропоновано структурно-функціональні схеми архітектурних рішень технічних засобів для кожного із трьох рівнів розширеного виробництва. Розглянуто чотири варіанти моделей екстра мереж для задач побудови розширеного виробництва.

Практичне застосування розроблених у дисертації методів та програмних засобів автоматизації процесів ТПВ реалізовано в автоматизованій системі технологічної підготовки розширених виробництв (рис.14).

даних, знань і прецедентів. Блок програмних засобів, які розширюють можливості управління ТПВ, забезпечує виконання задач управління розподіленими АСПВ.

**Шостий розділ** присвячений розробці методик практичної реалізації методів і засобів побудови розширених виробництв на базі створеної АСПВ та методів управління технологічною підготовкою виробництва. Виходячи з проведеного аналізу застосування запропонованих методів побудови розширених

За допомогою АСПВ стало можливим автоматизувати наступні задачі технологічної підготовки розширеного виробництва:

- управління процесом технологічного проектування;
- управління конструкторськими і технологічними проектами (КТПр) та проектними процедурами;
- управління плановими і диспетчерськими роботами;
- управління правом доступу до бази даних (БД) інтегрованого інформаційного середовища АСПВ;
- управління розподіленим функціонуванням АСПВ розширених виробництв;
- управління потоками завдань фахівців та завантаженням обладнання розширених виробництв;
- управління процесами змін у документації в реальному часі тощо.

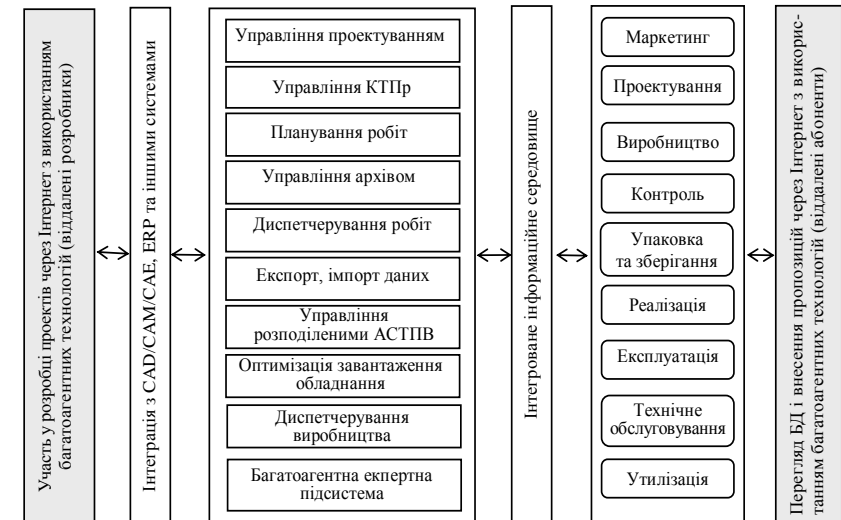


Рис.14. Структурно-функціональна схема автоматизованої системи технологічної підготовки розширеного виробництва

АСПВ забезпечує формування інтегрованого інформаційного середовища розширеного виробництва за рахунок розроблених у дисертаційній роботі методів і засобів. Система може експлуатуватись такими спеціалістами промислових підприємств України: керівниками структурних підрозділів, конструкторами, технологами, диспетчерами дільниць і цехів,

співробітниками служб маркетингу та ін. Приклад результатів роботи АСТПВ у вигляді інформаційних моделей проекту виробу представлено на рис.15.

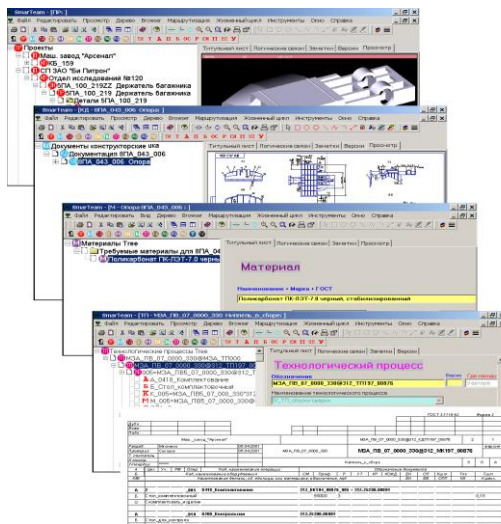


Рис.15.Приклад інформаційних документів АСТПВ

першого рівня на базі діючих в Україні промислових підприємств. Методика охоплює 11 етапів, які виконуються як послідовно, так і паралельно в часі, та включає наступне: формування робочої групи фахівців та їх навчання; розробку план-графіків та концепції побудови розширеного виробництва; аналіз і моделювання процесів ТПВ та їх інформаційних потоків; побудову інтегрованого інформаційного середовища на базі PDM-системи; формування загальної бази даних підприємства та залучення ресурсів; вибір та впровадження автоматизованих систем виробничого призначення; забезпечення інтеграції PDM-системи із прикладними програмами та автоматизованими системами; впровадження АСТПВ; впровадження методів і методик управління ТПВ розширеного виробництва; формування баз даних виробів, які виготовлялись раніше; правила експлуатації розширеного виробництва. Запропоновано алгоритм реалізації цієї методики, наведено практичні рекомендації.

Результати впровадження запропонованої АСТПВ показали, що застосування методів автоматизованого управління ТПВ дозволило не тільки автоматизувати і контролювати ТПВ, а й виконувати безпосереднє управління

Запропонована в дисертації система методів: метод формалізації та аналізу об'єктів і процесів ТПВ, методи управління процесами ТПВ, методи управління та інтеграції розподілених автоматизованих систем виробничого призначення, методи побудови інтегрованого інформаційного середовища та багатоагентних експертних систем в сукупності складає методологію побудови АСТПВ.

Ця методологічна основа дозволила розробити методику побудови типових розширених виробництв

процесами ТПВ розширених виробництв у створеному інтегрованому інформаційному середовищі. Що стосується багатоагентної експертної підсистеми АСТПВ, то для неї взагалі не існує аналогів. Проведені тестування розроблених методів і програмних модулів АСТПВ показали їх високу ефективність у розосередженому варіанті структурних підрозділів розширеного виробництва. Наприклад, для 3-х дільниць верстатів, розосереджених на різних територіальних промислових майданчиках ВАТ „Сумське науково-виробниче об'єднання ім. М.Ф.Фрунзе”, підвищена продуктивність виробництва на 51%. Використання програмного модуля “Optimum” у виробничих умовах ВАТ „Мотор Січ” забезпечило підвищення продуктивності обробки виробів на багатоцільовому оброблювальному центрі IP500МП4 на 12% при заданій точності обробки. Використання багатоагентної експертної підсистеми АСТПВ в розробках російського підприємства ЗАТ „Бі Пітрон” показало її високу ефективність при вирішенні завдань управління процесами ТПВ підприємств розширеного виробництва, які реалізують ОМЕ-діяльність.

Автором запропонована методика розрахунку економічної ефективності використання АСТПВ на промислових підприємствах.

**У додатках** наведено: методику оцінки характеристик процесів ТПВ розподіленої структури ВАТ „Сумське науково-виробниче об'єднання ім.М.В.Фрунзе”; лістинг програми для розрахунку характеристик функціональної моделі технологічного процесу; результати апробації методу оптимального динамічного управління процесами ТПВ; структуру об'єктів предметної галузі ТПВ, реалізовану в інтегрованому інформаційному середовищі PDM-системи SmartTeam для умов ВАТ „Бі Пітрон” (м.Санкт-Петербург); акти про впровадження та використання результатів досліджень.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є теоретично обґрунтованим дослідженням, узагальненням та практичним розв'язанням науково-технічної проблеми підвищення ефективності промислового виробництва на основі розробки методів і систем автоматизації технологічної підготовки, які забезпечують значне підвищення продуктивності праці як фахівців підприємства, так і підприємства в цілому.

Отримані в дисертаційній роботі результати є істотним внеском у розвиток теорії і практики побудови систем автоматизації технологічної підготовки

промислових виробництв на основі методів автоматизації управління та досягнень прогресивних інформаційних технологій, зокрема:

1. Проведено аналіз сучасних методологій побудови АСТПВ, виявлено вплив процесів глобальної трансформації та можливостей сучасних інформаційних технологій на технологічну підготовку промислового виробництва, що дозволило обґрунтувати задачі досліджень, запропонувати нові принципи та схеми поетапної побудови автоматизованих систем технологічної підготовки вітчизняного виробництва.

2. Вперше розроблено методи управління процесами ТПВ, які дають можливість проводити оцінку та оперативний перерозподіл виробничих завдань і забезпечують за заданим критерієм якості та лінійними обмеженнями процес, оптимальний з погляду найбільшої ймовірності отримання максимальної продуктивності, що, у свою чергу, дозволило підвищити завантаження обладнання промислових виробництв від 7 до 45%.

3. Розроблено методологію побудови АСТПВ на основі комплексного використання функціональних, організаційних та інформаційних моделей ТПВ, імітаційного та аналітичного моделювання, яка забезпечує автоматизацію процесів технологічної підготовки розширеного виробництва.

4. Розроблено типові діаграми процесів ТПВ і структуру інтегрованого інформаційного середовища, що в сукупності із створеною методологією побудови АСТПВ дозволяє розробити методику побудови типових розширених виробництв.

5. Запропоновано методику управління конструкторськими і технологічними проектами в інтегрованому інформаційному середовищі, що дало змогу запропонувати метод автоматизації процесу технологічного проектування, який дозволяє ліквідувати проблему дублювання даних та забезпечити можливість колективної і паралельної роботи фахівців розширених підприємств.

6. Запропоновано метод управління процесом проектування та процесом обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням, який побудовано на основі інтегрованих інформаційних 3D-моделей, що забезпечує підвищення продуктивності до 12% при заданій точності обробки.

7. Розроблено метод управління розподіленими АСТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі, побудований на основі багатоагентних експертних технологій та інтеграції з автоматизованими системами управління виробництвом за рахунок комплексного розв'язання задач технологічного проектування та підвищення рівня завантаження обладнання розширеного виробництва.

8. Розроблені методи та засоби покладено в основу проекту побудови типової АСТПВ, досвід проектування та експлуатації якої підтвердив ефективність запропонованих методів і засобів. Теоретичні результати доведено до практичного застосування та впроваджено в реально діючих системах, а саме:

- в автоматизованій системі технологічної підготовки виробництва ВАТ „Мотор Січ” (м. Запоріжжя);
- при побудові автоматизованих систем виробничого призначення ВАТ „Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе” (м. Суми);
- у розробках та впровадженнях автоматизованих систем технологічної підготовки промислових підприємств Росії, які виконані в ЗАТ „Бі Пітрон” (м. Санкт-Петербург).

#### СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Павленко П.М.* Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 280 с.
2. *Павленко П.Н., Руденко П.А., Руденко Н.И.* Классификация задач структурного синтеза в гибких производственных системах // Вестник Киевского политехнического института. – К.: Техніка, 1989. – Вид. 26. – С. 6-10.
3. *Павленко П.Н., Руденко П.А., Беляев Н.М.* Образование унифицированных конструктивно-технологических элементов деталей в САПР ТП механической обработке // Известия ВУЗов. – 1990. – № 3. – С. 120-123.
4. *Павленко П.Н., Руденко П.А., Затворницкий С.Н.* Метод диалоговой структурно-параметрической оптимизации технологического проектирования // Технология и автоматизация машиностроения. – 1992. – Вып. 48. – С. 35-40.
5. *Павленко П.М., Пікула С.І., Подолянець Ю.Г.* Технології прискореного виготовлення виробів // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т., 1998. – С. 356-362.
6. *Бабак В.П., Павленко П.Н., Пікула С.И.* Комплексная автоматизация технической подготовки производства // Вісник Київського міжнародного університету цивільної авіації. – 1999. – № 2. – С. 92-95.

7. *Бабак В.П., Павленко П.М., Руденко П.А.* Методи і технології автоматизації технічної підготовки виробництва промислових підприємств // Вісник НАУ. – 2004. – № 2. – С.3-7.
8. *Павленко П.М.* Формалізація процесів управління в інформаційному середовищі автоматизованих систем виробничого призначення // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2004. – № 4. – С. 122-127.
9. *Павленко П.М.* Управління конструкторсько-технологічним проектуванням в інформаційному середовищі PDM-системи // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2004. – № 2. – С. 62-67.
10. *Бабак В.П., Павленко П.М.* Методологічні принципи побудови автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва // Вісник НАУ. – 2005. – № 1. – С. 3-6.
11. *Павленко П.М.* Оптимальне управління в інформаційному середовищі автоматизованих систем // Вісник НАУ. – 2005. – № 4. – С. 27-29.
12. *Павленко П.М.* Моделювання бізнес-процесів в задачах формалізації управління підготовкою виробництва // Технологические системы. – 2005. – № 1. – С. 50-53.
13. *Бабак В.П., Павленко П.М.* Методика створення розширених промислових виробництв // Технологические системы. – 2005. – № 2. – С. 42-51.
14. *Павленко П.М.* Метод математичного моделювання процесу управління технологічною підготовкою виробництва // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2005. – № 3. – С.290-292.
15. *Павленко П.М., Толбатов В.А.* Математичне моделювання процесів завантаження обладнання на підприємствах машинобудівної галузі // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2005. – № 25. – С.94-99.
16. *Павленко П.М.* Розроблення структури єдиного інформаційного простору функціонування автоматизованих систем // Електроніка та системи управління. – 2005. – № 1. – С.124-129.
17. *Павленко П.М.* Управління 3D-моделями в інформаційному середовищі автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва // Радіоелектроніка і інформатика. – 2005. – № 1. – С.106-109.
18. *Павленко П.М.* Методика наскрізного паралельного проектування формотворного оснащення та інструменту з використанням інтегрованих САД-додатків // Вісник Хмельницького національного університету: Т.2, Ч.1. – Хмельницький, 2005. – №4. – С.248-253.
19. *Pavlenko P.* Multiagent technologies' method in managing business-processes of the technical preparing for production // Proceeding of the National Aviation University. – 2005. – № 2. – P. 53-55.
20. *Павленко П.М., Євдокимова Н.О.* Формалізація процесу побудови інтегрованих інформаційних моделей автоматизованих систем // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2005. – № 2. – С.78-82.
21. *Павленко П.М.* Управління розподіленими системами виробничого призначення // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С.150-153.
22. *Павленко П.М.* Автоматизоване керування процесом завантаження обладнання промислових підприємств // Вісник НАУ. – 2006. – № 1. – С.31-37.
23. *Павленко П.Н.* Опыт использования многоагентных технологий в автоматизированных системах производственного назначения // Електроніка та системи управління. – 2006. – № 1(7). – С.164-168.
24. *Павленко П.Н.* Автоматизация функций ТПП при эксплуатации станков с ЧПУ // Проблемы экономического управления техническим развитием предприятий промышленности. – К.: ИЭ АН УССР, 1990. – С. 87-91.
25. *Павленко П.Н.* Повышение эффективности механосборочных производств путем интеграции автоматизированных систем // Материалы Республ. науч.-техн. конф. „Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства”. – К.: РДЭНТП, 1992. – С.15-17.
26. *Павленко П.Н., Зильбербург Л.И., Яблочников Е.И.* CAD/CAM Cimatron 90 – современная система для технической подготовки производства. – К.: Общ-во «Знание Украины», 1993. – 27 с.
27. *Павленко П.Н.* Принципы и критерии выбора CAD/CAM/CAE-систем специалистами предприятий // Материалы конф. „Новые компьютерные технологии в АСУП и САПР в промышленности”. – К.: РДЭНТП, 1995. – С.13-14.
28. *Павленко П.Н., Пикула С.И.* Интегрированные системы управления предприятиями машиностроения // Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. научн. тр. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т., 1999. – С.114-119.
29. *Павленко П.М.* Стратегія використання автоматизованих систем технічної підготовки виробництва на промислових підприємствах України // Стратегія економічного розвитку України: Наук. зб. – Вид. 1 (8). – К.: КНЕУ, 2002. – С. 210-217.



30. Павленко П.Н., Зильбербург Л.И., Пелипенко А.Б. CAD/CAM в машиностроении. Сквозная автоматизация технической подготовки производства // Инструмент. – 1998. – № 7. – С.4-6.
31. Бабак В.П., Павленко П.М. Розробка та впровадження віртуальних виробництв на базі CALS - технологій // Матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф. „АВІА 2002” (23-25 квітня 2002 р.): Секція „Інформаційно-вимірвальні системи”. – Київ: НАУ, 2002. – Т.1. – С. 11.5-11.6.
32. Павленко П.Н., Заклевский Д.Е. Внедрение CALS-технологий в промышленность Украины // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2003. – № 8 (43). – С. 58-61.
33. Бабак В.П., Павленко П.М. Проблемы впровадження CALS-технологій у промисловість та освіту України // Матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф. „АВІА 2003”: Секція „Інформаційно-вимірвальні системи”. – К.: НАУ, 2003. – Т.1. – С. 11.127-11.129.
34. Павленко П.Н., Яблочников Е.И. Техническая подготовка производства в едином информационном пространстве // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2004. – № 4 (51). – С. 30-35.
35. Павленко П.Н., Дмитриев Н.М. Современные формы технической подготовки производства // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2004. – № 6 (52). – С. 62-64.
36. Павленко П.Н. Организационно-экономические аспекты управления проектами создания и внедрения автоматизированных систем технологической подготовки производства // Стратегія розвитку України (економіка, соціологія, право): Наук. журнал. – Вип. 3-4. – К.: НАУ, 2004. – С.724-733.
37. Павленко П.М., Руденко П.А. Автоматизация задач технической подготовки производства в едином информационном пространстве промышленного предприятия // Матеріали VI Міжнар. наук.-техн. конф. “АВІА 2004”. – Київ: НАУ України, 2004. – Т.1. – С.11.48-11.51.
38. Павленко П.Н., Галепа В.Н. Современные технологии технической подготовки инструментальных производств // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2004. – № 8 (54). – С. 20-23.
39. Власенко Ю.В., Павленко П.Н., Тремба В.Ю. Процессно-ориентированное проектирование пресс-форм в интегрированной среде системы Cimatron E v.5 // САПР и графика. – 2005. – № 4. – С. 20-23.
40. Pavlenko P., Evdokimova N., Kudrjakov V. Formalization methods of technological expertise in the expert systems // Proc. of the second world cong. “Aviation in the XXI-st century” (“Safety in aviation”, September 19-21, 2005). – Kiev: NAU, 2005. – P.2.65-2.68.

41. Автоматизация технической подготовки производства: Навч. посіб. / П.М. Павленко, Є.І. Яблочников, Ю.А. Буренников, П.Г. Козлов; Під ред. П.М. Павленка. – Вінниця, 2005. – 108 с.

## АНОТАЦІЯ

### **Павленко П.М. Методи і системи автоматизації технологічної підготовки промислового виробництва. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології. – Національний авіаційний університет, Київ, 2006.

Дисертацію присвячено проблемі створення методології побудови автоматизованих систем технологічної підготовки розширених виробництв на базі сучасних інформаційних технологій в галузі автоматизації управління. Розроблено методи автоматизованого управління процесами технологічної підготовки промислових виробництв. Запропоновано типові функціональні діаграми процесів технологічної підготовки виробництва і структура інтегрованого інформаційного середовища. Розроблено методи управління конструкторським і технологічним проектуванням та відповідними проектами. Запропоновано багатоагентну експертну підсистему для управління розподіленими автоматизованими системами технологічної підготовки розширених виробництв. Розроблені методики та алгоритми, реалізовані у програмних засобах, що забезпечують автоматизацію процесів технологічної підготовки розширених виробництв. Отримані результати впроваджено при побудові автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва, які експлуатуються на промислових підприємствах України та Росії.

**Ключові слова:** автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва, управління процесами, розширене виробництво, CALS-технології, інтегроване інформаційне середовище, багатоагентні технології, технологічна підготовка виробництва.

## АННОТАЦИЯ

### **Павленко П.Н. Методы и системы автоматизации технологической подготовки промышленного производства. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. – Национальный авиационный университет, Киев, 2006.

Диссертация посвящена разработке моделей и методов построения автоматизированных систем технологической подготовки промышленных предприятий на базе современных информационных технологий в области автоматизации управления, направленных на повышение эффективности промышленного производства. В работе обоснованы принципы и организационные механизмы построения архитектуры автоматизированных систем технологической подготовки производства, которые учитывают влияние процессов глобальной трансформации промышленности и влияние современных информационных технологий.

Разработана методология построения автоматизированных систем технологической подготовки производства, основанная на комплексном использовании функциональных, организационных и информационных моделей объектов и процессов, методов аналитического и имитационного моделирования, что обеспечивает автоматизацию технологической подготовки расширенных производств. Разработаны методы управления процессами технологической подготовки производства, которые позволяют производить оценку и перераспределение производственных заданий по заданному критерию качества, изменять параметры и структуру технологических процессов, обеспечивая при этом повышение производительности как специалистов предприятия, так и предприятия в целом.

Исследованы возможности функционального моделирования как инструментального средства формализации информационных потоков и объектов технологической подготовки производства. Построены типовые диаграммы процессов технологической подготовки производства, создана структура интегрированной информационной среды, информационные объекты и модели на основе ISO стандартов.

На основе разработанной информационной структуры 3D-модели изделия и возможностей современных автоматизированных систем производственного назначения разработан метод управления проектированием операционных технологических процессов и процессом обработки изделий на станках с числовым программным управлением, который повышает производительность оборудования.

Предложены и доведены до уровня практической реализации методика управления конструкторскими и технологическими проектами в интегрированной информационной среде и методика сквозного и параллельного проектирования формообразующей оснастки, основанные на использовании API интерфейса PDM-систем.

Разработан метод управления распределенными автоматизированными системами и процессами технологической подготовки

расширенного производства, основанный на использовании многоагентной экспертной подсистемы. Подсистема включает блок моделирования, блок управления процессом обработки информации и принятия экспертных решений и автоматизированное рабочее место инженера. Предложены механизмы разработки необходимого инструментария, методики организации программных агентов по подготовке и принятию проектных решений.

На методологической основе результатов работы предложена методика создания типовых расширенных производств первого уровня. Представлены структурно-функциональные решения для каждого уровня расширенных производств. Разработаны алгоритмы и программы, обеспечивающие использование методик, которые реализованы в программной среде PDM-системы SmarTeam. Предложена структурно-функциональная схема автоматизированной системы технологической подготовки расширенных производств. Приведены рекомендации по эксплуатации системы.

Эффективность полученных результатов подтверждена практическим внедрением разработанных методов и методик автоматизации технологической подготовки производства, которые в настоящее время успешно эксплуатируются на промышленных предприятиях Украины и России.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы технологической подготовки производства, управление процессами, расширенное производство, CALS-технологии, интегрированная информационная среда, многоагентные технологии, технологическая подготовка производства.

## SUMMARY

**Pavlenko P.N. Methods and systems of automation of technological preparation of industrial manufacture. – Manuscript.**

Dissertation on reception of a scientific degree of the doctor of engineering science on a speciality 05.13.06 – automatic control systems and progressive information technologies. – National air university, Kiev, 2006.

The dissertation is devoted to development of models and methods of construction of the automatic systems of technological preparation of industrial manufactures on the basis of modern information technologies in the field of automation of management. The methods of automatic management by processes of technological preparation of industrial manufactures are developed. The typical functional diagrams of processes of technological preparation of manufacture and

structure of integrated information environment are offered. The methods of automatic management of design and technological designing and appropriate projects are developed. The multiagent expert subsystem for management of the allocated automated systems of technological preparation of the extended manufactures is offered. The methodology of construction of the automatic systems of technological preparation of manufacture is created. The techniques and algorithms realized by programme means, ensuring automation of processes of technological preparation of industrial manufactures are developed. The received results are introduced into construction of the automatic systems of technological preparation of manufacture, they are maintained at the industrial enterprises of the Ukraine and Russia.

**Key words:** the automatic systems of technological preparation of manufacture, management of processes, extended manufacture, CALS-technology integrated information environment, multiagent technologies, technological preparation of manufacture.