

П. М. ПАВЛЕНКО

АВТОМАТИЗОВАНІ **СИСТЕМИ** ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ РОЗШИРЕНИХ ВИРОБНИЦТВ

**Методи побудови
та управління**

Монографія

Київ
Книжкове видавництво
Національного авіаційного університету
2005

УДК 65.011.56.012:004.94
ББК 3 986.1
П 12

Рецензенти:

Л. А. Пономаренко, д-р техн. наук, проф.
(Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України і МОН України)

О. Г. Гребеніков, д-р техн. наук, проф.
(Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»)

М. І. Васюхін, д-р техн. наук, проф.
(Національний авіаційний університет)

*Затверджено на засіданні Вченої Ради
Національного авіаційного університету
(Протокол № 5 від 18.05.2005)*

Павленко П. М.

П 12

Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. — К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. — 280 с.
ISBN 966–598–253–2

Монографія присвячена розробці методологічних основ побудови автоматизованих систем технологічної підготовки розширених виробництв. Розроблено теорію і методики побудови автоматизованих систем на основі сучасних CALS-технологій та PLM-рішень. Проведено математичне моделювання процесів управління функціями технологічної підготовки виробництва та функціональне моделювання її бізнес-процесів. Розроблено методи управління конструктивно-технологічним проектуванням та бізнес-процесами технологічної підготовки виробництва в інтегрованому інформаційному середовищі розширених виробництв. Наведено методики побудови автоматизованих систем для вимог розширених виробництв, необхідні організаційні рішення, інформаційне та програмне забезпечення.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються розробкою та впровадженням сучасних інформаційних технологій виробничого призначення, а також для аспірантів, викладачів та студентів вищих навчальних закладів.

УДК 65.011.56.012:004.94
ББК 3 986.1

ISBN 966–598–253–2

© П. М. Павленко, 2005
© НАУ, 2005

Наукове видання

ПАВЛЕНКО Петро Миколайович

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ
РОЗШИРЕНИХ ВИРОБНИЦТВ
МЕТОДИ ПОБУДОВИ
ТА УПРАВЛІННЯ**

Монографія

Редактор *С. Фіялка*
Художник обкладинки *Т. Зябліцева*
Верстка *Т. Мальчевської, О. Іваненко*

Підп. до друку 21.09.2005. Формат 60×84/16. Папір офсет. № 1.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсет. Ум. друк. арк. 16,27.
Обл.-вид. арк. 19,04. Наклад 1000 пр. Зам. № 05-057.

Книжкове видавництво Національного авіаційного університету
03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи (серія ДК, № 977 від 05.07.2002)
Тел. (044) 406-71-33. Тел./факс: (044) 406-78-33
E-mail: publish@nau.edu.ua

Друк ПП «Гарант Сервіс»
03067, м. Київ, вул. Машинобудівна, 46
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи (серія ДК, № 1256 від 10.02.2003)
Тел./факс: (044) 206-20-75; 206-20-76

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	5
Вступ.	7
Розділ 1. Аналіз процесів глобальної трансформації промислового виробництва та нових інформаційних технологій	12
1.1. Вплив процесів глобальної трансформації на технологічну підготовку виробництва	12
1.2. Аналіз методологічного забезпечення розробки автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва	21
1.2.1. Методологічні принципи побудови АСТПВ	31
1.2.2. Методи моделювання об'єктів, функцій і проектних рішень ТПВ	33
1.2.3. Функціональні можливості сучасних АСТПВ	39
1.3. Реінжиніринг бізнес-процесів як метод підвищення ефективності управління ТПВ	43
1.4. Аналіз CALS-технологій та PLM-рішень інформаційної підтримки етапів технологічної підготовки виробництва	52
1.5. Розширене виробництво — сучасний рівень інтеграції ресурсів, процесів і знань	58
1.6. Проблеми впровадження автоматизованих систем у промислове виробництво України	62
Розділ 2. Методологія побудови автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва	65
2.1. Принципи побудови архітектури АСТПВ з урахуванням характеристик сучасного виробництва та нових інформаційних технологій	65
2.2. Організаційні аспекти створення АСТПВ з урахуванням використання методів реінжинірингу та об'єктно-орієнтованого підходу	70
2.3. Методи моделювання процесів управління технологічною підготовкою розширених виробництв.	83
2.3.1. Методологія побудови імітаційних моделей ТПВ	83
2.3.2. Математичне моделювання процесу управління інформаційними потоками в АСТПВ	92
2.4. Метод оптимального динамічного управління процесами ТПВ	99
2.5. Технічні вимоги до інформаційного забезпечення автоматизованих систем.	105

Розділ 3. Моделювання предметної галузі технологічної підготовки виробництва	117
3.1. Методологія RUP/UML як основа для функціонального моделювання предметної галузі та бізнес-процесів ТПВ.	117
3.2. Функціональні моделі бізнес-процесів ТПВ та їх реалізація засобами PDM-системи.	132
3.3. Розробка структури інтегрованого інформаційного середовища технологічної підготовки виробництва.	144
Розділ 4. Розробка методів управління конструкторсько-технологічним проектуванням в інформаційному середовищі АСТПВ	155
4.1. Розробка інформаційної структури тривимірної моделі для завдань управління ТПВ	155
4.2. Метод управління процесом проектування операційних ТП обробки деталей на верстатах із ЧПК	165
4.3. Методика наскрізного паралельного проектування формоутворювальної оснастки та інструменту з використанням інтегрованих САД-додатків.	179
4.4. Управління конструкторськими та технологічними проектами в інтегрованому інформаційному середовищі АСТПВ засобами PDM-системи	189
Розділ 5. Управління бізнес-процесами ТПВ в інформаційному середовищі розширеного виробництва	201
5.1. Організація кооперації на вітчизняному ринку наукоємних виробів	201
5.2. Інтеграція АСТПВ з автоматизованими системами управління виробництвом	206
5.3. Метод багатоагентних технологій для розподіленого функціонування АСТПВ	210
5.4. Розробка багатоагентної експертної системи в інформаційному середовищі АСТПВ.	215
Розділ 6. Побудова автоматизованих систем розширених виробництв	223
6.1. Архітектурні рішення технічних засобів розширених виробництв	223
6.1.1. Архітектура розширених виробництв першого рівня.	226
6.1.2. Архітектура розширених виробництв другого рівня.	230
6.1.3. Архітектура розширених виробництв третього рівня.	235
6.2. Методика побудови розширених виробництв	240
6.3. Функціональні можливості та експлуатація АСТПВ	251
6.4. Оцінка економічної ефективності впровадження автоматизованих систем.	259
Висновки.	262
Література	265

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ	— автоматизоване робоче місце
АС	— автоматизована система
АСТПВ	— автоматизована система технологічної підготовки виробництва
ВГК	— відділ головного конструктора
ВГТ	— відділ головного технолога
ЄСКД	— єдина система конструкторської документації
ЄСТПВ	— єдина система технологічної підготовки виробництва
ЖЦВ	— життєвий цикл виробу
ЗБД	— загальна база даних
ЗТО	— засоби технологічного оснащення
ІАСУ	— інтегровані автоматизовані системи управління
ІС	— інтегроване інформаційне середовище
ІО	— інформаційні об'єкти
ІПВ	— інформаційна підтримка виробу
ІСП	— інформаційні системи підтримки
ІТ	— інформаційні технології
КБ	— конструкторське бюро
КП	— керуюча програма
КПр	— конструкторський проект
КТЕ	— конструктивно-технологічний елемент
ЛОМ	— локальна обчислювальна мережа
НСО	— нестандартне обладнання
ОТП	— операційний технологічний процес
РВ	— розширене виробництво
САПр	— система автоматизованого проектування
СМО	— система масового обслуговування
СУБД	— системи управління базою даних
ТД	— технологічна документація
ТП	— технологічний процес
ТПр	— технологічний проект
ТПВ	— технологічна підготовка виробництва
ФІ	— формоутворювальний інструмент
ЧПК	— числове програмне керування

- API** — Application Programming Interface (прикладний програмний інтерфейс)
- CAD** — Computer Aided Design (комп'ютерне проектування)
- CAE** — Computer Aided Engineering (комп'ютерний інженерний аналіз)
- CALS** — Computer-Aided Acquisition and Lifecycle Support (підтримка безперервних поставок і життєвого циклу)
- CAM** — Computer Aided Manufacturing (комп'ютерне виготовлення)
- CAPP** — Computer Aided Process Planning (комп'ютерне планування процесів підготовки виробництва)
- CPC** — Collaborative Product Commerce (спільна розробка і використання інформації про виріб)
- CRM** — Customer Relationship Management (управління відносинами з клієнтами)
- DMU** — Digital Mock Up (цифровий макет виробу)
- ERP** — Enterprise Resource Planning (планування і управління підприємством)
- FEA** — Finite Element Analysis (нелінійний кінцевоелементний аналіз)
- MRP** — Material Requirement Planning (планування матеріальних потреб)
- MRP-II** — Manufacturing Resource Planning (планування виробничих ресурсів)
- PDM** — Product Data Management (управління даними про виріб)
- PLM** — Product Life-cycle Management (управління життєвим циклом виробу)
- RUP** — Rational Unified Process (раціональний об'єднаний процес)
- SCM** — Supply Chain Management (управління ланцюгами поставок)
- UML** — Unified Modeling Language (уніфікована мова моделювання)

ВСТУП

Промислово розвинуті країни світу інтенсивно впроваджують і використовують інформаційні технології, що забезпечують наскрізну інтеграцію процесів і стадій промислового виробництва. Експлуатація автоматизованих систем (АС) типу CAD/CAM/CAE, PDM, ERP, CRM та ін. приводить до істотних функціональних і організаційних змін у роботі промислових підприємств. Так, автоматизація функцій управління, планування і проектування оптимізує інформаційні потоки, скорочує кількість структурних підрозділів і дозволяє відмовлятися від традиційних видів виробництва. Водночас здатність переорієнтувати виробництво, оперативно реагувати на технічні зміни продукції є основною умовою виживання й розвитку промислових підприємств.

Стало очевидним, що вистояти в конкурентній боротьбі зможуть тільки ті підприємства, які застосовуватимуть у своїй діяльності сучасні інформаційні технології.

Саме комп'ютеризація виробничих завдань — один з основних напрямів підвищення продуктивності у сфері підготовки виробництва підприємства, поряд з прогресивними технологіями матеріального виробництва, дасть змогу істотно підвищити якість продукції, що випускається, зі значним скороченням термінів запуску у виробництво і випуском нових, досконаліших виробів.

Українська авіакосмічна галузь інтенсивно переходить до проектування, виготовлення і експлуатації техніки на основі електронних (інформаційних і телекомунікаційних) технологій із заміною паперової конструкторської, технологічної й експлуатаційної документації електронним описом виробу. Впровадження і використання комп'ютерних технологій приводить до того, що проектні, планові і управлінські рішення на підприємствах приймаються на рівні моделей. При цьому реальні об'єкти і процеси стають свого роду відображенням «віртуальних» об'єктів і процесів у зовнішнє середовище. Відбувається віртуалізація сучасного виробництва.

Нова організаційна форма підприємств — віртуальні, або, як їх ще називають у Західній Європі, розширені підприємства, — найбільш орієнтована до умов жорсткої конкуренції та швидких темпів

змін. На думку багатьох закордонних експертів у сфері інформаційних технологій, саме розширені підприємства забезпечать у найближче десятиліття зростання прибутків корпорацій, міждержавну кооперацію та інтеграцію.

Розширене підприємство — найсучасніша форма ведення бізнесу, що дає можливість її членам консолідувати ресурси та скорочувати витрати, швидше реагувати на будь-які зміни на ринку, підвищувати якість своїх товарів і послуг, що особливо помітно при кооперації підприємств різних галузей промисловості для реалізації конкретного завдання.

Отже, автоматизація процесів підготовки виробництва та самого виробництва стала життєвою потребою. Більше того, закордонні замовники вимагають надання розробленої документації в електронному вигляді, відповідно до міжнародних стандартів ISO, що можна виконати за умови, якщо на підприємстві реалізована концепція постійної інформаційної підтримки життєвого циклу виробів.

На жаль, у вітчизняних науково-дослідних та проектних роботах зовсім немає розробок, що пов'язані з методологічним забезпеченням процесу створення та функціонування розширених підприємств на базі сучасних інформаційних технологій і стандартів.

Немає також робіт, присвячених розробці методології побудови АС, інтегрованих в єдине інформаційне середовище. У цілому це велика наукова проблема, яка поетапно вирішується у дослідних центрах промислово розвинутих країн світу. Впровадження CAD/CAM/CAE, PDM, ERP та інших інформаційних систем пов'язане з досить складними проблемами адаптації АС виробничого призначення. Особливо проблемною є автоматизація технологічної підготовки (ТПВ) механообробного виробництва, яка потребує постійного перерозподілу праці, високого рівня узгодженості дій спеціалістів.

Безперспективність автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), створених у радянські часи, та вітчизняних систем, а також більшості закордонних технологічних САРР (Computer Aided Process Planning) пояснюється багатьма причинами. Найголовнішими серед них є такі:

1. Традиційні методи ТПВ, ґрунтуючись на методології ЄСТПВ 80-х рр. минулого століття, розглядають проектування, планування та управління ТПВ як функціонально не пов'язані процеси. Немає єдиної інформаційної платформи прийняття оптимальних рішень для побудови АСТПВ.

2. Недостатній досвід використання CALS-технологій та PLM-рішень при розробці та впровадженні АСТПВ, автоматизації управління ТПВ.

3. Брак науково обґрунтованої методології побудови АСТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі, сучасних методик аналізу предметної галузі ТПВ та побудови на їх основі методів управління функціями ТПВ.

Створення та експлуатація розширених підприємств неможливі без усунення названих вище причин. Так, організація розширених підприємств тісно пов'язана з конструкторсько-технологічним змістом реалізованих проектів. З огляду на це виявляється можливим вибрати кращу архітектуру розширеного підприємства шляхом варіювання структурами і параметрами 3D-моделей виробів та інформаційними моделями технологічних процесів. Отже, процеси організації розширеного підприємства й управління технологічною підготовкою виробництва виявляються взаємозалежними, тобто мають місце прямі та зворотні зв'язки інформаційних потоків, що супроводжують ці процеси. Формування інформаційних потоків, прийняття на їх основі рішень і здійснення процесів управління є складними процесами, які мають відбуватися за мінімальний час, що потребує розробки систем управління, які функціонують переважно без участі людини. Для таких умов найефективнішими виявляються інтелектуальні АС, що беруть на себе завдання рутинного характеру, а також деякі творчі функції людини під час вирішення завдань в умовах реального масштабу часу.

Конструкторсько-технологічною й організаційно-виробничою інформацією необхідно управляти в єдиному інформаційному середовищі ТПВ. З цією метою за кордоном успішно використовують системи PDM (Product Data Management), що можуть забезпечувати спільне контрольоване й кероване використання даних про виріб на всіх етапах життєвого циклу.

Як методологію функціонального моделювання предметних галузей АС закордонні дослідники дедалі частіше використовують RUP/UML-моделювання, яке ефективно формалізує процеси побудови складних інформаційних систем. Проблеми управління розподіленими об'єктами, системами та процесами в інформаційних системах дослідники деяких країн світу розв'язують методами багатогентних технологій, які дають можливість побудувати експертні підсистеми чи програмні модулі у складі розроблюваних АС. Проте в роботах зарубіжних та вітчизняних учених немає методології побудови АСТПВ розширених підприємств. Отже, розроблення та впровадження розширених підприємств потребує вдосконалення методів побудови АСТПВ та методів управління ТПВ.

Тому розробка теорії і методології побудови АС та методів управління ТПВ є актуальною, важливою і складною науковою проб-

лемою, вирішення якої забезпечить високий рівень автоматизації функцій ТПВ, значно підвищить продуктивність і якість роботи як фахівців підприємств, так і самого підприємства.

У цій монографії подано методологію побудови АСТПВ та методів управління процесами та функціями ТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі розширених виробництв.

У першому розділі проаналізовано вплив процесів глобальної трансформації промислового виробництва та нових інформаційних технологій на сучасну технологічну підготовку виробництва. Проведено аналітичний огляд зарубіжних та вітчизняних досліджень методологічного забезпечення АСТПВ, принципів їх побудови, методів моделювання об'єктів, функцій та проектних рішень ТПВ. Аналіз сучасних інформаційних CALS-технологій та PLM-рішень дозволив формалізувати місце і роль АСТПВ, увести термін «розширене виробництво» та класифікацію рівнів розширеного виробництва. Розглянуто також проблеми впровадження АС у промислове виробництво України.

У другому розділі розвинуто й узагальнено методологію і принципи побудови АСТПВ. Розглянуто організаційні питання створення АСТПВ, впровадження АС, проведення реінжинірингу, ефективного впровадження PLM-рішень. Розроблено методологію побудови імітаційних моделей ТПВ, на основі якої проведено математичне моделювання процесу управління інформаційними потоками в АСТПВ та подано метод оптимального динамічного управління ТПВ. Запропоновано підхід до побудови інтегрованої бази даних, складу інформаційних об'єктів розширених виробництв.

У третьому розділі розглянуто результати дослідження з функціонального моделювання предметної галузі та бізнес-процесів ТПВ на базі графічної мови UML. У нотації діаграм UML розроблено типові функціональні моделі основних процесів ТПВ. Запропоновано методику переходу від функціональних діаграм UML до графіків Workflow, що відображають бізнес-процеси ТПВ засобами PDM-системи. З використанням діаграм класів UML побудовано типову структуру інтегрованого інформаційного середовища ТПВ, яка ґрунтується на структуруванні моделі ТПВ як сукупності даних «Продукт—Процес—Ресурс» і утворює методологічну основу для її використання при побудові архітектури та розробці компонентів АСТПВ.

У четвертому розділі подано розробки методів управління конструкторсько-технологічним проектуванням в інтегрованому інформаційному середовищі. Для цього розроблено інформаційну структуру 3D-моделі, в якій наведено всі необхідні характеристики АС, атрибути та властивості. Представлено математичні моделі операцій

обробки деталі на верстатах із ЧПК. Запропоновано принципово нову схему системи управління процесом технологічного проектування та процесом обробки на верстаті з ЧПК на основі інформації АС та зміни 3D-моделі. Розроблено методику паралельного проектування формоутворювальної оснастки та інструменту з використанням інтегрованих САД-додатків, а також методику управління конструкторськими та технологічними проектами в інтегрованому інформаційному середовищі АСТПВ. Наведено приклади використання методики засобами PDM-системи SmarTeam V5.

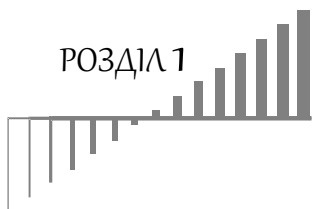
У п'ятому розділі вирішено завдання автоматизації бізнес-процесів ТПВ розширених виробництв. Для цього розглянуто питання організації кооперації українських підприємств, які проектують та виготовляють оснастку за допомогою сучасних автоматизованих систем. Розроблено варіанти інформаційної інтеграції вихідних даних АСТПВ та автоматизованих систем управління виробництвом. Розроблено метод розподіленого функціонування АСТПВ на основі багатоагентних експертних технологій. Створено необхідні схеми та діаграми побудови АСТПВ для розширених виробництв.

У шостому розділі подано розробки архітектурних рішень технічних засобів усіх рівнів розширених виробництв. Запропоновано методику побудови розширених виробництв на основі створеної методології побудови автоматизованих систем та методів управління ТПВ на прикладі АСТПВ, створеної на базі PDM-системи SmarTeam V5. Наведено оцінку економічної ефективності впровадження автоматизованих систем.

Ця монографія спрямована на вироблення комплексного методологічного підходу на основі можливостей сучасних інформаційних технологій:

- у розробці методик моделювання об'єктів та процесів ТПВ;
- у дослідженні предметної галузі ТПВ на основі функціонального UML-моделювання,
- у розробці методів управління ТПВ для інтегрованих розширених виробництв;
- у побудові як архітектурних, так і організаційно-функціональних рішень автоматизованих систем для вимог розширених виробництв.

Автор висловлює щирі подяки співробітникам інженерного центру інституту інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету за допомогу в підготовці та випуску цієї монографії.



АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ГЛОБАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1. Вплив процесів глобальної транс- формації на технологічну підготовку вироб- ництва

За останні 10—15 років світове промислове виробництво зазнало низки кардинальних змін. Ці зміни багато в чому обумовлені розвитком інформаційних технологій, що ґрунтуються на сучасних комп'ютерних і комунікаційних засобах. Інтегрованим результатом змін, що відбулися в промисловості, визнана глобалізація, під якою розуміють інтеграцію регіональної, національної та галузевої економіки [1—3].

Створені в цих умовах інформаційні технології, з одного боку, намагаються наздогнати зростаючі вимоги до себе, а з іншого — самі виступають ініціаторами нових ідей. Реалізація цих ідей привела до появи нових форм промислових виробництв, комплексної автоматизації та інтеграції основних функцій технологічної підготовки виробництва — проектування, управління та планування на основі стандартів ISO та інформаційних технологій.

Досягнення у сфері комп'ютерних технологій ТПВ пов'язані з упровадженням інтегрованого виробництва в різних галузях промисловості, використанням сучасних ефективних технологій виготовлення виробів, комплексною автоматизацією всіх етапів життєвого циклу виробу тощо.

Процеси глобальної трансформації промислового виробництва впливають на всі етапи життєвого циклу виробу, серед яких ТПВ є найменш формалізованою та найбільш трудомісткою для авіакосмічної, машинобудівної, приладобудівної та інших галузей промисловості [4—6].

Аналіз сучасної зарубіжної наукової літератури з питань комплексної автоматизації етапів життєвого циклу виробу дав змогу виокремити основні тенденції сучасного промислового виробництва,

які найбільшою мірою вплинули (і впливають нині) на методологію побудови АСТПВ та розроблення методів управління процесами ТПВ у цілому. У загальному вигляді найповніше ці тенденції названі в дослідженнях лабораторій компанії International Business Mashines Corporation [7—9]. До таких основних тенденцій можна віднести:

Експорт технологій підготовки виробництва. У 80—90-х рр. минулого століття для розвитку промислового виробництва було достатньо забезпечити віддалене підприємство устаткуванням, інструкціями та чітко відпрацьованим постачанням ресурсів. Проте на сучасному етапі виникла потреба не просто копіювати продукт, а ще й підтримувати ряд його модифікацій, оптимізованих під місцевий ринок. Розроблення, підготовка виробництва, виготовлення й підтримання адаптованого продукту дедалі частіше стосуються регіонального підприємства. Щоб повноцінно забезпечити його такою можливістю, власник торгової марки повинен «експортувати» самодостатню модель бізнес-процесу з усіма його складовими, тільки в зменшеному масштабі. Для цього самі бізнес-процеси мають бути добре формалізовані і масштабовані. У такому вигляді вони є набагато дорожчим видом інтелектуальної власності, і для цього має бути краще розвинутим середовище існування бізнес-процесів — інформаційні технології. Насамперед це стосується основних складових предмета промислової діяльності — продукту, процесу й ресурсу [8, 10, 11].

Дольове інвестування проєктів. Користувач промислової продукції дедалі частіше стає прямим інвестором розробок виробу та його ТПВ. Замовник під свої потреби замовляє конкретний виріб або його модифікації. Отже, замовник бере в підприємства—виготовлювача виробу частину інвестиційного ризику.

Така витрата капіталовкладень і більш рівномірний розподіл інвестиційного ризику сприятливо позначаються на загальних фінансових показниках як виробника, так і користувача виробу.

Ця тенденція веде до того, що замовник спочатку повинен бути частим «відвідувачем» віртуального проєкту розроблення виробу та його ТПВ, а потім і його співрозробником. Він повинен постійно перебувати в інформаційному середовищі проєкту, щоб підтримувати відповідність свого компонента до динамічно мінливої конструктивно-технологічної підготовки виробництва.

Тож виникає потреба у створенні інтегрованого інформаційного середовища для всіх учасників проєкту розроблення виробу та його ТПВ.

Перерозподіл ресурсів проекту. Підприємство, яке виготовляє комплектуючі компоненти виробу, завдяки інтеграційним інформаційним технологіям може використовувати комп'ютерні системи свого партнера. У результаті дії цього фактора з'явилася тенденція до більшого навантаження сервера власника проекту, що дає змогу заощаджувати ресурси обчислювальних засобів і комунікацій партнерів та віддалених підрозділів. Цю ініціативу першими висунули та випробували інтернет-компанії, а зараз почали використовувати і промислові підприємства. Віддалений учасник проекту не завантажує програмне забезпечення в себе на комп'ютері, а використовує програму, що завантажується на головному сервері. Тож комп'ютер учасника проекту може стати не виконавчим пристроєм, який виконує кінцеве завдання, а пультом дистанційного управління того пристрою, який на відстані виконує це завдання за його запитом. Усе, що потрібно мати на комп'ютері, — це універсальний браузер, який розуміє необхідні типи даних і вміє дистанційно керувати роботою складних програм й організовувати висококомпактний (для мережі Інтернет) діалог між програмою та користувачем.

У промисловому виробництві це явище означає поділ учасників проекту на власників та операторів. Основна частина програмно-технічних засобів оператора не перебуває в нього на балансі й не задіяна в обороті. Він платить власнику за час свого перебування в режимі online із сервером проекту. Отже, результати його праці мають меншу вартість, а передпроектна підготовка для нього скорочується в термінах і витратах. Учасник розробки виробу та його ТПВ може швидше включитися в поточну роботу й легше переключитися на наступну. Це підвищує його гнучкість і мобільність, а отже — і конкурентоспроможність перед іншими претендентами на участь у проекті.

Власникові проекту теж вигідна ця тенденція, оскільки він одержує можливість жорсткіше контролювати вартість робіт і отримує більшу гнучкість у виборі партнера. Тож собівартість проекту знижується, а конкурентоспроможність збільшується.

Перехід від предметної до системної спеціалізації (ОМЕДІАЛЬНІСТЬ). Головні підприємства дедалі частіше зосереджуються на кінцевому складанні виробу. Більша частина розробки, підготовки та самого виробництва тепер припадає на інші підприємства — постачальники комплектуючих виробів. Підприємство-постачальник зараз намагається розробляти та поставляти:

✓ певну систему в цілому, незалежно від того, яку частину кінцевого виробу вона займає. Наприклад, система кондиціонування пасажирського салону, гідравлічна система чи пілотажно-навігаційний комплекс;

✓ виробниче оснащення, засоби обслуговування, діагностики й ремонту, документацію та сертифікати з цієї системи (тобто весь технологічний комплект);

✓ послуги своїх фахівців, які встановлюють, налагоджують і перевіряють систему на головному підприємстві;

✓ послуги своїх фахівців, які підтримують систему в режимі експлуатації.

При цьому всю відповідальність за розробку, технологічну підготовку, виготовлення, стандартизацію, сертифікацію й підтримку підприємство-постачальник бере на себе, що підвищує вартість систем і комплектуючих. Однак основні підприємства виграють, оскільки якість кінцевого продукту при цьому підвищується, а вартість власних ресурсів знижується.

Ця тенденція висуває вимоги до уніфікації, типізації та інтеграції методів та засобів АСТПВ у межах кожного проекту промислового виробу.

Часті зміни конфігурації виробу. Вигляд виробу менше залежить від його розробника як від авторської ініціативи і все більше — від вимог його майбутнього користувача. Інакше кажучи, виготовлення продукції частіше здійснюється «на замовлення» і рідше — «зі складу». Це стосується не тільки до комплектації виробу, його кількісних характеристик, а й радикальніших якісних характеристик.

Зазначена тенденція ставить перед виробником зобов'язання розвивати засоби управління конфігурацією виробу та його інформаційним оточенням.

Збереження та управління знаннями фахівців із ТПВ. Підприємства дедалі частіше створюють тимчасові проектні підрозділи фахівців на період реалізації конкретного проекту. Тож частина постійних співробітників підприємства—виготовлювача виробу поступово зменшується, а частина контрактників, найнятих тільки під даний проект, збільшується. Це змушує, з одного боку, інвестувати в навчання і профпідготовку, а з іншого — шукати засоби зниження вимог до рівня кваліфікації персоналу. Зниження кваліфікаційних вимог змушує замислюватися над можливістю перевтілення експертних знань в інші форми, менш залежні від людського фактора. Так виникло поняття «Knowledgeware» — трансформація знань з інтуїтивної форми в реальну. За допомогою цього сучасного інструменту досвід окремих провідних фахівців компанії стає надбанням усього колективу. Проте для цього потрібні сучасні розробки в галузі штучного інтелекту.

Дослідження формалізації та нагромадження знань у ТПВ деякою мірою можуть забезпечити експертні системи та використання багатоагентних технологій [2, 12—14].

Розширені підприємства. Збільшення кількості партнерів у промисловому виробництві та їх системна спеціалізація привели до появи так званих розширених підприємств (Extended Enterprises), або, як їх називають у США, віртуальних підприємств (Virtual Enterprises) [15, 16]. Поява таких підприємств є найхарактернішою тенденцією глобальної трансформації промислового виробництва. Тому розглянемо їхні особливості докладніше.

Поняття «віртуальний» (від лат. *virtus* — сила, здатність, доблесть) використовують для характеристики об'єкта, який, будучи нереальним, «удаваним», існує як відображення виконаної ним дії. У галузі нових інформаційних технологій термін «віртуальний» часто застосовують для позначення комп'ютерних моделей проєктованих виробів, технологічних і виробничих процесів. Використання терміна «віртуальний» не тільки до об'єктів і процесів, а й до організаційних виробничих структур обумовлене тим, що віртуальне підприємство не існує як юридична особа, але здатне виготовляти реальну продукцію.

На нашу думку, більш технічно відповідним є термін «розширене підприємство», який і будемо використовувати надалі. Коротко, розширене підприємство визначають як «кооперування юридично незалежних підприємств чи приватних осіб для забезпечення послуг (виробництва) на основі загального розуміння бізнесу (економічних цілей)» [10, 15]. Інакше кажучи, розширені підприємства — це групи людей, які займаються спільною виробничою діяльністю, незалежно від їхнього фактичного місця роботи та місцезнаходження, навіть від країни, де вони розташовані.

Докладніше розширене підприємство визначають як тимчасову міжвиробничу кооперацію ряду юридично незалежних підприємств, яка:

- створюється в короткий термін і підтримується за допомогою сучасних інформаційних технологій;
- шляхом інтеграції можливостей учасників розробляє й випускає актуальну продукцію чи послуги;
- обходиться без нових юридичних формувань, які замінюються гнучкою координацією [16].

Технічними передумовами появи розширених підприємств, як зазначалося вище, стали комп'ютеризація виробництва та інформаційна інтеграція. Проте є ще не менш важливі економічні передумови. Насичення промислового ринку товарами привело до того, що в конкурентній боротьбі винагороду отримував той, хто встигав швид-

ше створювати й випускати нові види виробів, які відповідають постійно зростаючим вимогам споживачів. Тому необхідністю для кожного підприємства стало збільшення гнучкості.

Гнучкість — широке поняття, під яким розуміють здатність підприємства пристосовуватися до умов ринку, що змінюються. Комп'ютерні технології проектування, управління та виготовлення, аналіз і прогнозування ринку багато в чому збільшили гнучкість підприємств. Відповідно вдосконалювалися й організаційні форми.

У численних заходах, що проводилися з метою збільшення організаційної гнучкості підприємства, розрізняють дві тенденції:

- 1) сегментація чи реорганізація великих підприємств;
- 2) кооперація малих і середніх підприємств.

У разі сегментації великих підприємств організують внутрішні виробничі мережі, в яких учасники незалежні, але їхнє об'єднання при цьому зберігається. Наприклад, учасники можуть бути об'єднані один з одним за схемою «замовник — постачальник». Сегментовані виробничі одиниці вступають у конкуренцію із зовнішніми конкурентами (наприклад, з малими спеціалізованими підприємствами), де вони повинні довести свою значущість. Сегментовані одиниці можуть погоджуватися на різні надвиробничі кооперації для участі у виробництві складної продукції.

Кооперація малих і середніх підприємств здатна використовувати сильні сторони кожного учасника з метою організації випуску нової конкурентоспроможної продукції в мінімальний термін, щоб одержати перевагу на ринку. Партнерами з кооперації можуть бути як самостійні підприємства, так і частково автономні виробничі одиниці. Ефективно організована кооперація може скласти серйозну конкуренцію навіть великим підприємствам з відомим ім'ям.

Розвиток описаних вище тенденцій (включаючи розвиток інформаційних технологій) і привів до появи нових організаційних форм виробництва у вигляді розширених підприємств. З погляду традиційного виробництва такі підприємства здатні швидко реагувати на зміни ринку за досить низьких витрат. Можна виокремити чотири типи організаційних структур розширених підприємств:

1. Організатор (чи організатори) розширеного підприємства не бере особистої участі у виробництві. Його завдання — випуск на ринок конкретного продукту в найкоротший термін. Для цього організатор здійснює підбір виробників і налагоджує зв'язки між ними (зв'язує виробників у мережі), а також реалізує функції з продажу й маркетингу. Створювані мережі виробників мають назву активних мереж.

2. Організатор не тільки підбирає партнерів для активної мережі, а й бере участь у ряді виробничих процесів, намагається керувати підбором замовлень. Він також прагне посісти своє місце у виробництві цінностей, які з певних причин не використовуються іншими підприємствами. Розширюючи сферу діяльності, організатор здобуває велику стійкість до змін ринку.

3. Організатор створює певне інформаційне й управлінське середовище для включення виробників в активні мережі. Так формуються передумови для того, щоб у короткий термін побудувати необхідну активну мережу, оскільки партнери вже мають досвід взаємних контактів і загальні мотиви для спільної роботи. У таких розширених підприємствах можуть бути реалізовані великі проекти промислового виробництва. Створювані інформаційно-управлінські структури можуть перетворитися в реальні інноваційні середовища, де замовники, постачальники й представники споріднених галузей будуть обмінюватись інформацією про потреби, техніку й технології.

4. У тих галузях, де основна частина виробництва здійснюється за допомогою обробки інформації та знань, завдяки сучасним інформаційним технологіям виникають структури, які можна назвати розширеними ринками. Відносини між учасниками цих підприємств виникають тільки завдяки використанню спеціальних інформаційних систем [15, 17, 18].

Як приклад віртуального ринку можна навести американський телекомунікаційний концерн MCI, що створив координовану, за допомогою зведення правил, мережу з 9000 вільних інженерів-раціоналізаторів. MCI тестує та оцінює раціоналізаторські пропозиції, після чого оформляє перспективні досягнення в готові послуги для продажу на ринку. Тим самим за допомогою мережі MCI створює для себе доступ до ринку ідей та інновацій, не маючи при цьому свого власного раціоналізаторського відділу.

Найважливішою властивістю розширеного підприємства будь-якого типу є висока організаційна гнучкість. Це означає, що в розширеному підприємстві досягається швидке з'єднання конкретних підприємств з певною спеціалізацією так, щоб використовувати поточні можливості ринку. Інакше кажучи, розширене підприємство встигає вчасно зробити необхідну кількість товарів чи послуг та реалізувати їх на ринку за максимального попиту на даний вид продукції.

Проте швидке об'єднання учасників розширеного підприємства в активну мережу не може відбутися саме по собі. Воно означає, що до цього забезпечувався деякий організаційний та інформаційний «фундамент», на базі якого й відбувається певне об'єднання. Цей «фундамент» має назву міжорганізаційний потенціал відносин [15],

або інформаційно-управлінське середовище. Він постійно активізує кооперації й гарантує учасникам розширеного підприємства певні пакети замовлень, а отже, забезпечує їхнє стабільне становище. Потенціал відносин не виникає сам по собі, а формується завдяки роботі окремих осіб чи колективів, безпосередньо заінтересованих у функціонуванні розширеного підприємства.

У цьому разі йдеться про суто інформаційну мережу відносин, що народжується з особистих зв'язків між співробітниками різних підприємств. За більш глибокої організації можливі централізоване поширення інформації, проведення спеціальних нарад, спільні інвестиції тощо.

Важливість інформаційно-управлінського середовища обумовлена тим, що в початковій фазі багато часу витрачається на пошук відповідних партнерів, побудову міжособових стосунків, а також на розвиток загального бачення ситуації. Дослідження показують, що на підготовчу фазу кооперування припадає до 30 % витрат, причому багато кооперацій розпадаються, так і не виникнувши [2, 15].

Ідеальний тип розширеного підприємства виникає тоді, коли на базі створеного інформаційно-управлінського середовища знову й знову формуються орієнтовані на замовлення, тимчасово обмежені активні мережі (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Об'єднання в активну мережу під час створення розширених підприємств

При цьому кількість партнерів в інформаційно-управлінському середовищі може бути набагато більшою, ніж в активній мережі, що приводить до нових конфігурацій діяльності фахівців підприємств.

Сильніший потенціал розширених підприємств порівняно зі звичайними формами кооперації полягає насамперед у початковій фазі циклу випуску нової продукції, тобто в розробленні та ТПП промислових виробів. Тут не тільки забезпечується малий підготовчий час для виходу на ринок, а й гарантуються порівняно невеликі виробничі витрати як результат ефективного використання міжвиробничого потенціалу відносин.

Створення розширених підприємств нині розглядають як один зі способів оптимізації промислового виробництва. Цей розгляд приводить до певної системи поглядів на використання звичайним підприємством своїх можливостей.

Основними термінами цієї системи поглядів є *інтелектуальні* та *фізичні ресурси підприємства*. Під інтелектуальними розуміють сукупність досвіду підприємства під час випуску конкретних видів продукції, упроваджені передові технології та раціоналізаторські пропозиції, інтелектуальний рівень і знання фахівців підприємства. Інтелектуальні ресурси — це той потенціал, який важко копіювати реальним і потенційним конкурентам. Під фізичними ресурсами розуміють структуру і склад виробничих підрозділів підприємства, види й кількість фактичного технологічного устаткування тощо.

Оптимізації промислового виробництва на підприємстві досягають завдяки раціональному використанню його інтелектуальних і фізичних ресурсів у складі розширених підприємств. Інакше кажучи, щоб забезпечити оптимальне використання своїх можливостей, підприємство має здійснювати управління інтелектуальними й фізичними ресурсами, що дасть можливість, незважаючи на певну структурну жорсткість та інерційність підприємства, швидко реагувати на динаміку змін ринку.

За допомогою управління інтелектуальними ресурсами можна швидко перебудовуватися відповідно до зміни ринкових запитів, а за допомогою управління фізичними ресурсами — здійснювати повніше завантаження виробничих підрозділів. Беручи участь у розширених структурах, підприємство використовує свої сильніші сторони, а не характерні для себе виробничі завдання передає партнерам. Крім цього, спілкуючись із партнерами, підприємство отримує доступ до нових інтелектуальних ресурсів.

Розглянуті вище процеси глобальної трансформації сучасного виробництва, що відбуваються як у світовий, так значною мірою і у вітчизняній промисловості, безпосередньо впливають на модель

бізнес-процесів підприємства в цілому і процесів ТПВ зокрема. Отже, процеси трансформації виробництва мають знайти своє відображення у функціональності АСТПВ та її архітектурі. Зокрема, сучасна АСТПВ повинна мати у своєму складі засоби й можливості для функціонування в розподіленому середовищі розширеного підприємства, мати інтегроване інформаційне середовище для всіх учасників ТПВ, бути інтегрованою, використовувати методи та технології збереження й передавання знань фахівців.

1.2. Аналіз методологічного забезпечення розробки автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва

За даними [6, 19, 20], розвиток комп'ютерної підготовки виробництва розпочався в 1966 р., коли вперше було впроваджено методологію групової технології. У 70—80 рр. минулого століття проводилися дослідження, розробки та впроваджувались автоматизовані системи для вирішення локальних завдань ТПВ [21—24 та ін.]. У 1986 р. виникло поняття CAPP (Computer Aided Process Planning) [6, 20, 25], яке фактично відповідає вітчизняному терміну АСТПВ як автоматизоване проектування технологій обробки (без технологій верстатів з ЧПК), планування та управління ТПВ. З 1987 р. починають створювати інтелектуалізовані технології ТПВ з використанням експертних систем [12, 16, 26], а в 1992 р. виникає поняття життєвого циклу виробу та комплексна автоматизація всіх його етапів [27—30 та ін.].

З цього часу починається розгляд процесів проектування, планування та управління ТПВ у поєднанні з іншими етапами життєвого циклу виробу. Сформувалося поняття спеціалізованих та інтегрованих автоматизованих систем виробничого призначення, таких як САМ, САD, САЕ, РDМ та ін., поняття CALS-технологій, розширених підприємств тощо.

Науковими центрами промислово розвинутих країн за цей час розроблено, апробовано та впроваджено у виробництво технології, які забезпечили створення комп'ютерних систем комплексної автоматизації всіх етапів життєвого циклу виробу. Розробленню теоретичних та методологічних основ комплексної автоматизації технологічної підготовки промислового виробництва і нині приділяють

значну увагу вчені США [6, 9, 31, 32], Німеччини [24, 33, 34], Японії [35, 36] та інших країн [37—41].

У зв'язку з виниклими практичними потребами комітетами й комісіями в межах міжнародних організацій було розпочато роботи щодо створення інформаційних технологій зі взаємодії підприємств і міжнародних стандартів, що їх визначають. Наприклад, у Міжнародній організації стандартизації (International Standard Organization — ISO) цими питаннями займається підкомітет SC4 комітету TC184. В SC4 є кілька робочих груп, які займаються конкретними серіями стандартів. Саме цей комітет координує стандарти з управління виробничими процесами та методологію побудови CAPP-систем. На сьогоднішній день у передових індустріальних країнах світу створено національні органи, які координують роботу в царині CALS-технологій. У міжнародному масштабі розвитком CALS крім ISO займаються й такі організації, як ICC (International CALS-congress), EIA (Electronics Industry Association), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) та ін. У Росії в рамках Держстандарту створено технічний комітет № 431 «CALS-технології».

Наприклад, американським консорціумом NIIP (National Industrial Information Infrastructure Protocols) виконуються дослідні та проектні роботи з розвитку методології створення розширених підприємств з метою об'єднання зусиль і можливостей промислових підприємств. За основу побудови інформаційної інфраструктури взято стандарт CORBA (Common Object Request Broker Architecture) [27, 42, 43] та стандарти ISO 10303 (STEP), ISO 13584 (PLIB) [44—48], які дають змогу створювати відкриті системи, працювати в інтегрованому інформаційному середовищі незалежно від автоматизованих систем, що використовуються, а також мати доступ до виробничих і проектних процесів окремих учасників проекту.

Проблемами створення глобального інформаційного середовища проектних галузевих та міжгалузевих рішень, уніфікацією цих рішень, багатогалузевим їх використанням та зближенням національних стандартів займаються в межах Європейської асоціації STEP [46, 49—51], організації EC/CALS (Японія) [28, 36], організації KS-STEP (Корея) [28, 52] та ін.

Європейський Союз у рамках четвертої та п'ятої офіційних дослідних програм фінансує та координує кілька програм у цьому напрямі за галузевим принципом [27, 37, 38]. На базі стандарту STEP розроблено методологію обміну проектною, виробничою та іншою інформацією через Інтернет, Ентранет та інші комунікаційні засоби, що дає можливість реально об'єднувати різні організації в єдине розширене підприємство [53—55].

В Японії розроблено методологію глобального середовища моделі виробу GPME (General Production Model Environment) [56, 57], яка ефективно об'єднує проектні галузеві та інші рішення в інтегроване інформаційне середовище. Для оптимізації процесів ТПВ використовують технології інжинірингу бізнес-процесів та управління потоками робіт.

Слід відзначити, що роботи з оптимального управління процесами ТПВ промислових підприємств дискретного типу в інформаційному середовищі розподілених виробничих систем як у США, Німеччині, Японії, так і в інших промислово розвинутих країнах до цього часу перебувають на стадії розроблення та наукових досліджень [3, 54, 58—62 та ін.].

У розробці теоретичних і методологічних основ побудови АСТПВ та методів управління ТПВ, великий внесок зробили радянські вчені: Р. А. Аллик [23], А. П. Гавриш [63], Г. К. Горанський [21], К. Д. Жук [64, 65], С. П. Митрофанов [19], І. П. Норенков [28, 66], В. В. Павлов [67], А. І. Петренко [68], П. О. Руденко [69], В. І. Скурихін [70], В. Д. Цветков [71], Б. Є. Челіщев [72] та багато інших. Ними закладено основи методології комп'ютеризації технологічної підготовки, що розвинулися до сучасних інтегрованих систем. Обчислювальна база, на якій будувались АСТПВ до початку 1990-х рр., відрізнялася вкрай малою за сьогоденніми мірками швидкодією й невеликими обсягами оперативної та зовнішньої пам'яті, та не мала можливостей роботи в інтерактивному графічному режимі, не давала можливостей здійснити ефективну організацію обчислювальних мереж тощо. У цих умовах було розроблено ряд принципів, на основі яких будувались АСТПВ [19, 71, 72], які принципи були орієнтовані на побудову складних програмних систем з урахуванням інструментальних засобів. Вони залишаються актуальними й зараз, однак не дають відповіді на питання — як потрібно будувати АСТПВ у сучасних умовах з урахуванням радикальних змін, що відбулися в промисловому виробництві та з урахуванням можливостей нових інформаційних технологій?

У сучасній російській науці можна виокремити значну кількість робіт, присвячених загальній методології побудови систем автоматизованої технологічної підготовки виробництва та розробленню методів її управління. Серед них можна відзначити роботи Г. Б. Євгенєва [2], В. Г. Колосова [73], П. М. Кузнецова [53, 58], Д. Д. Кулікова [19, 59], А. І. Левіна [60, 61], А. В. Мухіна [18], Б. С. Падуна [19], Є. В. Судова [60, 61] та ін. Однак у них немає докладного дослідження конкретної предметної галузі процесів ТПВ та методів її управ-

ління і, як наслідок, побудови сучасних АСТПВ для розширених підприємств.

Наукові праці українських вчених у галузі побудови АСТПВ, таких як Л. С. Глоба [74], В. Ф. Забашта [75], К. В. Кошкін [59, 76], Г. О. Кривов [4, 77], Л. С. Ямпольський [78] та ін. є значним внеском у розвиток сучасних інформаційних технологій, у машинобудівну, суднобудівну, авіакосмічну та інші галузі промисловості України. Розроблені в процесі досліджень методики та програмні засоби представляють технології автоматизованої підтримки конструктивно-технологічних рішень із використанням об'єктно-орієнтованого підходу, баз даних і знань [78, 79], методологію побудови віртуальних виробництв на основі моделювання процесів виробництва [57, 77] тощо. Під час вирішення завдань, пов'язаних з побудовою АСТПВ в умовах розширених підприємств, необхідна докладна формалізація предметної галузі для розроблення сучасних методів управління функціями ТПВ.

В Україні процеси технологічної підготовки промислових виробництв дискретного типу (машинобудування, приладобудування, авіакосмічна галузь та ін.) розроблені й функціонують згідно зі стандартами та методологією ЄСТПВ, які принципово відрізняються від методологій, за якими побудовані системи САРР та в цілому методології технологічної підготовки підприємств розвинутих країн [25, 80—84]. Чинні стандарти ЄСТПВ не відповідають сучасним вимогам інформаційних технологій, які автоматизують функції ТПВ. Насамперед це стосується проблеми управління ТПВ та інтеграції даних життєвого циклу виробу.

АСТПВ є однією з основних АС виробничого призначення на вітчизняних промислових підприємствах. Побудові й розвитку цих АС притаманні проблеми та досягнення, які вивчає нова прикладна дисципліна Software Engineering — програмна інженерія, котра досліджує теорію та практику розроблення АС. Основою цих досліджень є поняття «модель життєвого циклу» АС [85]. Узагалі модель життєвого циклу АС складається із трьох послідовних фаз:

- 1) розробка стратегії автоматизації;
- 2) створення АС та її впровадження;
- 3) супроводження.

Структуру й конкретний зміст кожної з цих фаз визначають такі існуючі моделі життєвого циклу АС [86, 87]:

- каскадна модель;
- метод швидкого прототипу;
- метод послідовного нарощування функцій;
- еволюційна модель;

- модель, сформована на повторному використанні компонентів;
- модель, утворена на автоматизованому синтезі програми;
- спіральна модель.

Коротко розглянемо особливості та можливості використання цих моделей під час побудови АСПВ.

Каскадна модель характеризується чіткою впорядкованістю всіх стадій і робіт під час реалізації життєвого циклу АС. Переваги каскадної моделі — її детермінованість і чітка регламентованість, які спрощують управління проектом. Це особливо важливо під час розроблення складних проектів, які потребують узгодженої участі кількох організації, що представляють замовника, розробників і користувачів. Історично це була перша формалізована модель життєвого циклу АС, і вона багато разів демонструвала свою досить високу ефективність. Її вадою є досить тривалий час між затвердженням замовником технічного завдання та отриманням у розпорядження користувачів готової продукції.

Метод швидкого прототипу передбачає розробку в стислі терміни діючого макета найбільш критичної до зміни вимог користувачів частини АС і проведення дослідної експлуатації макета під час переходу до розробки повномасштабного зразка. Звичайно, прототипуванню підлягає передусім інтерфейс користувача з майбутньою системою. Це дає змогу залучити кінцевих користувачів до активної співпраці на ранній стадії розробки АС і в такий спосіб уникнути вартісних доробок закінченої системи, як це часто трапляється під час використання каскадної моделі. Головне призначення прототипування — полегшити прояв усіх вимог користувачів. Тому, як правило, прототип після розробки технічного завдання більше не використовують, і в іншому модель життєвого циклу АС збігається з каскадною.

Метод послідовного нарощування функцій полягає в поетапному проектуванні та реалізації АС. На кожному етапі користувачі отримують варіант системи з дедалі багатшим функціональним наповненням. Це дає змогу різко зменшити час, необхідний для введення в дію першої черги АС та початку її експлуатації. В результаті організація-користувач досить швидко починає відчувати реальні переваги автоматизації. Тому перевагою такого підходу, порівняно з каскадною моделлю, є скорочення термінів окупності. Недоліками є труднощі планування та управління проектом в поєднанні з необхідністю дотримуватися відкритої архітектури, що дуже часто ускладнює завдання розробнику. Метод послідовного нарощування функцій досить успішно може використовуватися під час створення АС організаційного управління.

Еволюційна модель припускає доробку повномасштабного зразка АС до рівня високої якості, що задовольняє кінцевих користувачів, безпосередньо в процесі її дослідної експлуатації. При цьому реалізацію АС починають із тих функцій, про які розробники мають досить чітке уявлення. Знання щодо решти функцій системи уточнюються уже після її часткової здачі в експлуатацію. У цьому підході, який ми розглядаємо, протилежний методу швидкого прототипу, щодо якого в розробників є найбільші сумніви. Під час створення складних АС еволюційний підхід дає змогу із самого початку зосередитися на досягненні високих експлуатаційних характеристик — таких як надійність, мобільність, модифікованість тощо, чому іноді перешкоджає розробка швидких прототипів.

Повторне використання компонентів є основою так званого складального програмування, яке дає можливість істотно скоротити вартість і терміни розробки АС, а також підвищити їхню надійність за одночасного зменшення затрат на супровід. Найбільший ефект отримуємо тоді, коли значну частку завдань вдається сформулювати в термінах порівняно невеликої кількості підзавдань, яким ставлять у відповідність стандартні підпрограми. Тоді розроблення чергового завдання зводиться до написання порівняно нескладної програми, яка викликає ці підпрограми в необхідній послідовності та організовує між ними обмін даними. Такий підхід припускає дослідження понять і відношень відповідної предметної галузі та розробку пакета прикладних програм, що їх реалізує, а також технології використання останнього під час формалізації задач. Це досить зручно під час подавання об'єктивних знань. Проте унікальні алгоритми обробки інформації чи суб'єктивні знання евристики, які, наприклад, виникають під час вирішення завдань ТПВ, за допомогою стандартних програм описати навряд чи можливо. Тому модель, заснована на повторному використанні компонентів, є поки що ідеалізацією і в чистому вигляді не використовується.

Автоматизований синтез програм ґрунтується на трансформації специфікацій, складених мовою надвисокого рівня, у машинні програми. При цьому епітетом «надвисокий» упродовж історії розвитку програмної інженерії називали мовні засоби, що стояли на один ступінь вище існуючих мов програмування. Відповідно до розвитку таких мов змінився і зміст, укладений в поняття «синтез програм». Нині найвищий рівень притаманний так званим мовам четвертого покоління. Тоді очевидно, що мови «надвисокого» рівня — це існуючі мови подавання знань систем штучного інтелекту, які відносять до п'ятого покоління. Отже, концепція автоматизованого синтезу програм у сучасному її розумінні ґрунтується на подаванні знань як

про предметну галузь, так і про процес створення програмних засобів. На відміну від розглянутих вище, реалізація цього підходу потребує досить високих початкових затрат на побудову моделей знань і створення інструментальних засобів для їх підтримки, що поєднано з ризиком значного подорожчання розробки. Водночас, автоматизований синтез програм за їхніми специфікаціями дає змогу різко зменшити всі види витрат на кожен щойно розроблений зразок АС і реалізувати високу якість програмного продукту. Тому існують умови, за яких підхід, що розглядається, може виявитися досить ефективним.

Спіральна модель не має багатьох вад попередніх моделей, оскільки на кожному витку спіралі є можливість переконатися в тому, що зміну вимог враховано під час розробки наступного прототипу. Вадами спіральної моделі є складність планування та організації робіт, а також значні витрати ресурсів під час розробки великих проєктів. Тому її використовують тоді, коли масштаби проєкту невеликі, але існує велика невизначеність щодо вимог користувача. Якщо проєкт досить великий, то в ньому доводиться виокремлювати обмежену за своїм розміром підсистему, яку справді доцільно розробляти, використовуючи спіральну модель.

Розглянуті вище підходи до розробки АС породжують різні структури життєвого циклу систем. Так, наприклад, за послідовного нарощування функцій і за еволюційного підходу певні частини проєкту в будь-який момент часу можуть перебувати на різних стадіях розробки. У моделі, заснованій лише на повторному використанні компонентів, у структурі життєвого циклу не буде стадії реалізації, а за автоматизованого синтезу програм зникають навіть дві стадії — проєктування й реалізація. Зате всій розробці передуватиме утворення відповідного технологічного оточення — стандартних компонентів і моделей знань. Згадані стадії не зникають, а вироджуються, і якщо ці нові підходи використовують не в чистому вигляді, а, що більш реально, у поєднанні з традиційними методами, то склад стадій життєвого циклу залишається незмінним, хоча їхня питома вага може істотно збільшитися.

Як відомо, не всі з цих моделей життєвого циклу мають своє широке застосування на практиці, проте в цілому склад і зміст стадій побудови АС зараз уже досить зрозумілий, і всі вони з деякими варіаціями знайшли відображення як в іноземних, так і у вітчизняних стандартах. Що стосується чіткого впорядкування цих стадій, передбачених каскадною моделлю, то це питання в стандартах США, Великобританії, СРСР та інших країн було вирішено по-різному.

Для прикладу візьмемо промислово розвинуті країни — США і Великобританію, де чітко визначилася державна політика в галузі контролю та управління розробками АС. Так, у США в 1985 р. було прийнято першу редакцію військового стандарту DOD-STD-2167, який чітко регламентував виконання стадій створення АС за каскадною моделлю життєвого циклу [88]. Така жорстка регламентація викликала численні заперечення з боку розробників, і це привело до того, що вже через рік у новій редакції стандарту з'явилася застереження про те, що ці стадії можуть виконуватися не тільки в зазначеному, а й у довільному порядку, в тому числі одночасно, а також включаючи їх численні повторення. Інакше кажучи, стандарт перестав бути прив'язаним до каскадної моделі та зробив можливими альтернативні підходи.

З цієї причини на американському ринку консультаційних послуг у галузі програмної інженерії виробничих автоматизованих систем не можна виокремити одну найкращу технологію створення АС. Навпаки, нині можна нарахувати кілька таких технологій, що мають лідируюче становище і мало відрізняються одна від одної за своєю методологією й техніко-економічними показниками. Усі ці технології найчастіше називають іменами своїх засновників. Їх поділяють на дві великі категорії: функціонально-орієнтовані та об'єктно-орієнтовані. До першої категорії відносять різні версії технологій Information Engineering, Jourdan-De Marco, JSM (Jackson Structured Method). До другої категорії належать сучасніші технології, наприклад Booch, OMT (Object Modeling Technique), DSM, RUP/UML. Усі вони є інтелектуальною власністю своїх розробників, які надають консультаційні послуги з навчання персоналу фірм-клієнтів практичного застосування цих технологій. У свою чергу, організації—користувачі технологій використовують усі засоби для того, щоб їхній власний досвід залишався комерційною таємницею, щоб не створювати переваг своїм конкурентам. Відомості про ці технології опубліковано в певних книжках, проте ці видання є навчальними посібниками й містять недостатньо матеріалу для розроблення на їхній основі повного комплексу технологічної документації.

У Великобританії, на відміну від США, наприкінці 1970 р. в межах Міністерства суспільних робіт (Office for Public Affairs) було створено спеціальний загальнодержавний орган — Центральне агентство з питань обчислювальної техніки і телекомунікацій (Central Computer and Telecommunications Agency — CCTA), якому було доручено розробку і впровадження єдиної технічної політики. Більш значна, ніж у США, частка державного сектору, менші масштаби країни та різноманітність, точніше, майже відсутність на той час досить

розвинутих технологій промислової розробки АС у Великобританії в поєднанні з розумною політикою ССТА дали змогу цьому відомству за короткий час опанувати ситуацією та здійснити досить тверде централізоване регулювання в галузі розробки АС.

У 1978—1979 рр. на замовлення ССТА фірмами Model Systems Ltd і LBMS Plc було розроблено першу версію технології створення АС, яка отримала назву «Технологія структурного аналізу і проектування систем» (Structured Systems Analysis and Design Method — SSADM) [88]. Починаючи з 1980 р. рішенням уряду було затверджено вести розробки всіх АС, фінансованих держбюджетом, лише за цією технологією.

Британський стандарт SSADM, що отримав у 1993 р. статус державного, також нібито надійно прив'язаний до каскадної моделі. Треба наголосити, що стандартом SSADM встановлено не тільки послідовність виконання стадій, а й докладний опис технології їх виконання. Ознайомлення з цією технологією показує, що вона містить деякі елементи спіральної моделі. Усе це, не враховуючи зовнішню подібність із каскадною моделлю, дозволяє пом'якшити її головну ваду — порівняно високий ризик невідповідності розробленої АС вимогам користувачів. При цьому зберігається зазначена раніше перевага цієї моделі — чітка регламентованість технологічного процесу, яка полегшує управління контролем якості.

У радянських державних стандартах, що регламентують створення АС і програмних засобів (ГОСТи серії 34 — 1989 р.) [89], на жаль, така гнучкість не була передбачена, і стадії розробки було встановлено в чіткій відповідності до каскадної моделі. Назви стадій і зміст технологічних етапів, передбачених вітчизняним стандартом, дуже схожі до британського аналога. Однак на цьому аналогія закінчується, оскільки жодного конкретного технологічного наповнення для вітчизняного стандарту досі розроблено не було. Тому становище цього питання в цілому навряд чи можна вважати задовільним.

Отже, основою чинних у США і Великобританії стандартів є каскадна модель життєвого циклу, в якій певною мірою пом'якшено її вади, але збережено всі можливості реалізації її переваг. В американському стандарті цього досягнуто за рахунок відмови від чіткої послідовності виконання стадій розробки. У британському стандарті завдяки раціональному вибору змісту робіт передбачено типову технологію. На жаль, цього не можна сказати про чинні в Україні державні стандарти, в яких реалізовано каскадну модель без будь-яких застережень і рекомендацій з урахування її недоліків [90—92].

Для подальшого аналізу методологічного забезпечення розглянемо абстрактну модель АС з погляду її проектувальника. Автоматизовані інформаційні системи виробничого призначення в основному мають три складові частини: концептуальну частину; внутрішній пристрій та інтерфейс із користувачем.

Концептуальна частина є певною мірою логічною моделлю АС і відображає її цільове призначення. Внутрішній пристрій віддзеркалює всі деталі фізичної реалізації: систему програмування, СУБД, технічні засоби. Інтерфейс — це частина АС, яку бачить користувач і забезпечує її взаємодію із системою.

Така декомпозиція дає змогу розробнику по чергово зосереджувати увагу на кожній із виокремлених складових частин, розглядаючи систему відповідно з боку користувача, її цільового призначення чи деталей реалізації. Це дозволяє спростити визначення технічних вимог до побудови АС і сам процес проектування АС.

Кожна зі складових частин АС, у свою чергу, може бути піддана подальшій декомпозиції. Так, концептуальну частину можна розглядати в трьох мало залежних один від одного аспектах: функціональному, предметному і динамічному [93]. Функціональний аспект відображає функції, реалізовані в АС. Предметний аспект моделює склад і структуру об'єктів предметної галузі, а динамічний — їхню мінливість у часі.

Варто зауважити, що під час проектування інтерфейсної, внутрішньої та концептуальної частин розробнику АС доводиться вирішувати принципово різні завдання й використовувати неоднакові підходи. До того ж, побудова інтерфейсу і внутрішнього пристрою, як правило, мало залежить від цільового призначення системи, і в цій галузі можуть широко використовуватися типові технічні рішення. Що стосується концептуальної частини, то вона найбільше залежить від предметної галузі, і тому на початкових стадіях розробки саме на цій частині зосереджено основні зусилля розробників та дослідників.

У монографії [86] наведено зведені статистичні дані за виконаними проектами АС, зібрані її автором із багатьох джерел. Вони подані на рис. 1.2 і показують розподіл витрат за стадіями життєвого циклу АС.



Рис. 1.2. Розподіл витрат за стадіями життєвого циклу

Наведені дані переконливо доводять, що джерела економії треба створювати насамперед на стадії супроводу систем. До того ж передусім треба передбачати та відшукувати помилки на ранніх стадіях, коли їх усунення обходиться порівняно дешево. Основним способом підвищення якості робіт, що виконуються на ранніх стадіях, є формалізація технічних вимог й проектних рішень, які дозволяють спростити і навіть автоматизувати перевірку їхньої коректності та своєчасно усунути виявлені помилки.

1.2.1. Методологічні принципи побудови АСТПВ

Основні загальносистемні принципи побудови сучасних комп'ютерних систем ТПВ досліджено в роботах радянських [19, 21, 63, 72, 78 та ін.] і закордонних учених [5, 20, 94—97 та ін.] ще в 1970 р. До них треба віднести такі принципи: системної єдності, декомпозиції, модульності, сумісності, відкритості, стандартизації, ергономічності, орієнтації на нові досягнення. Проте, як уже зазначалося, стрімке зростання можливостей технічних засобів комп'ютеризації, комп'ютерної графіки, відповідних математичних методів моделювання обумовило розробку та впровадження так званих CALS-технологій та PLM-рішень. Суть цих понять та напрями їх використання детально розглянуто в підрозд. 1.4. Названі напрями інформаційної підтримки життєвого циклу виробу ґрунтуються на основних принципах методології CAPE (Concurrent Art-to-Product Environment) — паралельних методів та засобів створення виробів [98, 99], до яких відносять:

- використання єдиного розподіленого банку метаданих підприємства;

- застосування розподілених комп'ютерних систем і глобальної електронної та комунікаційної мереж;
- незалежність інструментальних засобів розробки комп'ютерних технологій від технічних платформ програмного забезпечення;
- використання так званих відкритих систем, які характеризуються простотою інформаційного обміну, легкістю модернізації та розвитку, простотою розширення як кола їх користувачів, так і збільшенням функцій, що виконуються;
- можливість інтеграції територіально розподілених виробництв та створення на цій основі розширених підприємств тощо.

До базових принципів побудови CAPP належать також методологічні принципи технологій електронного моделювання виробів (Electronic Product Definition — EFD) [27, 100, 101]:

- ✓ створення максимально коректної, повної та реалістичної цифрової моделі складного виробу в цілому;
- ✓ досягнення максимальної повноти та функціональності всіх етапів проектування виробу;
- ✓ використання синхронної та паралельної роботи виконавців того самого проекту;
- ✓ можливість розробки та впровадження виробу в інформаційному середовищі комп'ютерних систем моделювання та проектування ще до його реалізації у фізичному об'єкті тощо.

Використання CAPE-методології та технології EFD дає змогу створювати системи управління та зберігання даних проектів ТПВ для їх інформаційного контролю впродовж усього їхнього життєвого циклу. Паралельне середовище CAPE впорядковує роботу фахівців, процеси та технології в єдину автоматизовану систему розробки і підготовки виробництва на основі концепції розширеного підприємства. Інформаційне середовище розширеного підприємства передбачає залучення всіх виконавців у проектно-технологічний та управлінський процес. Такий колектив фахівців із ТПВ та фахівців інших етапів життєвого циклу виробу здатний значно поліпшити загальний процес розробки завдяки:

- зниженню обсягів інформаційно-технічних, управлінських та інших обмінів (наказів, розпоряджень, технічних документів тощо);
- скороченню часу виходу виробу на ринок;
- підвищенню продуктивності та якості та ін.

Справді, технології EFD дозволили розробити багато автоматизованих систем моделювання та конструювання (CAD-систем), інженерних розрахунків (CAE-систем), розробки керуючих програм для верстатів із ЧПК (CAM-системи). Вказані системи стали найпоширенішими, оскільки функціональні можливості таких систем достатньо

стандартизовані в інженерній діяльності. Це саме стосується і ERP-систем, які автоматизують процеси виробництва передусім безперервних виробництв (металургійних, хімічних, фармацевтичних тощо).

Проте практична реалізація зазначених принципів не завжди підкріплюється наявністю методологічних засад із розроблення автоматизованих систем САРР у промислово розвинутих країнах та АСТПВ на підприємствах СНД. Головною причиною такого становища є слабоформалізовані процеси ТПВ (що існують на конкретному виробництві), специфічні, а іноді й унікальні вимоги до ТПВ з боку самого виробництва, специфіка технологічних знань, їх накопичення та облік на вітчизняних промислових підприємствах, що в загальному обсязі унеможлиблює розробку універсальної інформаційної моделі ТПВ.

Отже, методологія CAPE, технологія EFD, CALS-технології, PLM-рішення та інші розробки в напрямі автоматизації інженерної діяльності, виступаючи базовою основою побудови АСТПВ для умов розширених підприємств, не ураховують специфіку предметної галузі та процесів ТПВ, що стримує розробку методології побудови АСТПВ під конкретний взаємозв'язаний процес виробничої діяльності.

Багаторічний досвід розробки процесів автоматизації АСТПВ та аналіз сучасних наукових досліджень із розробки та впровадження АСТПВ ТП на машинобудівних підприємствах свідчать про те, що крім зазначених вище причин затримки побудови сучасних АСТПВ є такі причини:

1. Методологія стандартів ЄСТПВ (які досі діють в Україні та в Росії) щодо побудови АСТПВ є відірваною від процесів глобальної трансформації промислового виробництва, від досягнень сучасних інформаційних технологій та умов конкретного виробництва.

2. Брак методологічних основ побудови АСТПВ і досліджень процесів ТПВ за допомогою сучасних технологій функціонального моделювання бізнес-процесів, методів реінжинірингу та методології розподіленого штучного інтелекту.

3. Брак методологій побудови універсальних, розрахованих на користувача, засобів адаптації та управління інформаційними потоками ТПВ, адаптації та розробки прикладних програмних модулів вирішення конкретних виробничих завдань на основі єдиної інтегрованої інформаційної системи документообігу, що дозволить конкретному підприємству побудувати свою АСТПВ, організувати ефективний інформаційний обмін між користувачами різних автоматизованих систем виробничого призначення на рівні служб підприємства та створювати на цій основі розширені підприємства.

Тому в цій роботі здійснено спробу створити методологію побудови універсальної АСТПВ під потреби вітчизняних промислових виробництв, розробити універсальні інструментальні засоби моделювання предметної галузі та процесів ТПВ, методи автоматизованого управління ТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі з урахуванням специфічних особливостей конкретних виробництв, можливістю легко пристосовуватися до змінних потоків інформації в умовах реальних виробництв та можливістю функціонувати в умовах розширених підприємств.

1.2.2. Методи моделювання об'єктів, функцій і проектних рішень ТПВ

До основних об'єктів ТПВ відносять вироби, процеси, ресурси виробництва та знання [28, 102]. Систематизації, класифікації та формалізації інформації про вироби (поверхні деталей, деталі, комплекти, вузли тощо), процеси та ресурси завжди надавали великого значення. Від методів подавання графічної та текстової інформації про вироби залежав рівень автоматизації конструкторських і технологічних, а з 1990 р. — і управлінських завдань [2, 6].

Науковими школами САПР-К, САПР-ТП і САП Радянського Союзу було створено ряд мов для опису інформації, наприклад ФТЯ [79], ТИС [19] та ін. Було розроблено рекомендації Держстандарту СРСР [103—105] про єдиний підхід до моделювання та подавання інформації про вироби, процеси та ресурси для створюваних АС виробничого призначення.

Вчені країн Західної Європи, Японії та США, також розробляли мови моделювання об'єктів ТПВ, наприклад, мова MASTRAN (Англія) [20], MICLASS (Нідерланди) [20, 25], AUTAR (ФРН) [20] та ін.

Використання з кінця 1980 р. можливостей поверхневого геометричного моделювання, каркасного моделювання, а також методів математичної логіки, булевої алгебри, матричних методів тощо привело до розробки й використання CAD/CAM та CAE-систем. З появою інтегрованих інформаційних систем виробничого призначення САPP, ERP, PDM та CAD/CAM/CAE-систем базовим у цих системах стало твердотільне (3D-моделювання) та гібридне моделювання об'єктів ТПВ.

Методам представлення знань з метою формалізації та автоматизації ТПВ теж приділялась і приділяється значна увага. Вченими в

галузі штучного інтелекту створено експертні системи, які автоматизують процеси та вирішують проектні, планові та управлінські завдання так, як би їх вирішував висококваліфікований спеціаліст [12, 106—108 та ін.].

До основних методів представлення знань відносять [26, 109]: мережеве, ієрархічне, фрейми, реляційне, продукційне, логіка предикатів, представлення нечітких множин, об'єктно-орієнтоване, багатоагентні технології.

Використання певного методу представлення знань залежить від відповідного ефективного інструментарію, який реалізує цей метод. Особливо це важливо для АСТПВ, де у зв'язку зі складністю й багатоплановістю подавання знань надзвичайно важливою є ефективна експлуатація цих систем.

Методи моделювання функцій ТПВ досліджувалися в роботах як радянських [19, 21, 53, 71, 72 та ін.], так і зарубіжних учених [5, 6, 20, 24 та ін.]. Було розроблено й формалізовано методи системно-структурного аналізу [71, 110 та ін.], функціонального моделювання [111, 112 та ін.], візуального моделювання [113, 114] тощо.

Як зазначалося в підрозд. 1.2.1, найбільш трудомісткою та слабоформалізованою під час моделювання проектних рішень ТПВ є концептуальна частина побудови АСТПВ. На сьогоднішній день уже розроблено кілька альтернативних підходів до подавання всіх трьох аспектів концептуальної частини АС в єдиній формалізованій моделі [85, 86]. Так, існуючі сьогодні методи моделювання проектних рішень АС можна розділити на три загальні групи: вербальні, формалізовані та формальні [86].

Вербальні методи застосовувалися з моменту зародження ЕОМ. Вони дають змогу скласти структурований опис побудови АС у вигляді текстових і табличних документів, можливо, супроводжуваних схематичними зображеннями, для яких не встановлені чітко формальні правила їх складання і, отже, перевірка коректності. Для забезпечення якості та попередження помилок на сьогоднішній день було розроблено різні організаційні заходи й неформальні процедури контролю. Однак добре відомі неоднозначність і нечіткість звичайної мови дуже обмежують можливості контролю за правильністю проектних документів, виконаних неавтоматизованим способом. Тому вербальні методи не цілком задовольняють зростаючі вимоги до якості та продуктивності праці під час розробки АС.

Формалізовані методи ґрунтуються на поєднанні формальних і неформальних процедур, а також евристичних прийомів і тому не мають чіткого й повного математичного обґрунтування. Незважаючи на це, багато формалізованих методів досить чіткі, що дає змогу

ще під час розробки технічного завдання забезпечити контроль формальної коректності моделей кожного з трьох аспектів концептуальної частини АС [85]. Крім цього, перспективні перевірки цих моделей на суперечливість вчасно дозволяють повно моделювати проектні рішення АС, що її проектування і реалізація перетворюється в порівняно простий і легко контрольований процес, у ході якого вноситься мінімальна кількість помилок, які можна порівняно легко виявити й усунути. Тому формалізовані методи на сьогоднішній день знайшли широке застосування в промислово розвинутих країнах, а деякі з них було навіть стандартизовано [93].

Формальні методи мають чітке математичне обґрунтування, дають змогу реалізувати автоматизований синтез програм за їхніми специфікаціями, тобто технічним завданням [85, 115]. Такий підхід робить узагалі непотрібними стадії проектування й реалізації програмних засобів. При цьому якість кінцевого продукту визначається специфікаціями й технологічними засобами синтезу програм. Тоді якість можна зробити досить високою. Наявність строгої математичної основи дозволяє автоматизувати виявлення помилок у специфікаціях та їх усунення під час розробки технічного завдання. Істотно спрощується внесення змін до програми, а отже — скорочуються витрати на їх супровід. Вказані методи поки що не досягли рівня зрілості, який дає можливість застосовувати їх у промислових масштабах. Хоча дослідження в цій галузі ведуть упродовж двох десятиліть, та на сьогоднішній день було створено лише експериментальні системи автоматизованого синтезу програм, яким притаманні певні обмеження, що перешкоджають їх широкому практичному використанню [116]. Разом з тим, ряд створених останнім часом суто формальних методів має переваги перед формалізованими й поступово знаходить застосування в поєднанні з традиційними підходами до розробки програмних засобів [115, 116]. Ідеться про методи, що дозволяють будувати приватні формальні моделі вимог, наприклад динамічного аспекту, чи строго доводити за формальними специфікаціями правильність програм, розроблених традиційним способом.

Залежно від того, якому аспекту концептуальної частини віддають перевагу під час побудови моделі проектних рішень АС, методи моделювання поділяють на функціонально-орієнтовані та об'єктно-орієнтовані [85]. Обидва підходи мають справу з тією самою сутністю — відображенням предметної галузі в моделі концептуальної частини майбутньої АС. У результаті розробки ця модель має стати програмним інформаційним забезпеченням системи. Отже, ідеться про моделювання програмних реалізацій функцій і даних, що є інформаційними образами об'єктів відповідної предметної галузі.

Якщо розробку моделі концептуальної частини почати з опису її функціонального аспекту, то основу моделі становитимуть функції АС, а збережені й оброблені дані відіграватимуть допоміжну роль. Якщо ж розпочати з аналізу предметної галузі й побудови інформаційних моделей об'єктів, з яких вона складається, то на передньому плані виявляться об'єкти, а функціональний аспект виступатиме в значенні їхніх властивостей, тобто залежатиме від предметного аспекту. Що стосується динамічного аспекту, то він стосується властивостей функцій і предметів, тому не може відігравати незалежної ролі.

Функціонально-орієнтований підхід зародився на початку 1970-х рр. і досяг своєї зрілості на кінець 1980-х [85, 86]. Він ґрунтується на подаванні моделі концептуальної частини АС у вигляді ієрархії функцій, що у процесі подальшої розробки проекту АС перетворюються в програмні компоненти. При цьому реалізується відомий принцип низхідної розробки, утворений на декомпозиції функцій АС. Модель функціонального аспекту зазвичай будують за термінами зовнішніх об'єктів, що є джерелами та (або) споживачами даних, сховищ даних, а також задач (функцій) їх обробки. Усі ці елементи мають бути належно пов'язані з потоками даних, і в цілому така модель має описувати статичну картину процесів перетворення інформації в системі на кожному ієрархічному рівні функціональної декомпозиції. Предметний аспект описують термінами моделі «сутність—зв'язок», тобто термінами інформаційних образів об'єктів предметної галузі, і між ними існують асоціативні зв'язки. Динамічний аспект зазвичай представляють термінами подій і станів інформаційних образів об'єктів, а також тимчасовим упорядкуванням завдань.

Під час переходу до проектування у відповідність подіям ставлять завдання і дії, які вони виконують над цими інформаційними образами, тобто над даними. Такий триаспектний опис моделі вимог до АС дає змогу визначити повністю всі завдання, які повинна виконати система, і виявити всі фактори, що не залежать від середовища реалізації, які варто враховувати під час її проектування. Проектування при цьому перетворюється в порівняно простий процес, в якому найскладнішим може бути вибір середовища реалізації та врахування його впливу. Ризик помилок під час проектування можна легко звести до мінімуму й забезпечити високу якість розробки при низьких трудовитратах.

Об'єктно-орієнтований підхід виник як нетрадиційний метод програмування у 1979 р. [85, 117]. З усвідомленням можливостей цього нового підходу сформувалось об'єктно-орієнтоване проектування, а трохи пізніше — і об'єктно-орієнтоване моделювання проектних

рішень АС. В основу останнього покладено модель предметного аспекту, що будується за термінами класів об'єктів і зв'язків між ними. На відміну від методу «сутність—зв'язок», підхід крім асоціацій використовує й інші види зв'язків, наприклад такі, які моделюють відносини успадкування і включення між класами, що дає змогу скласти змістовнішу модель предметного аспекту.

Головною особливістю об'єктно-орієнтованого підходу є часткове перенесення функціонального опису системи в модель її предметного аспекту наданням класам об'єктів рис функціонального поводження. Тож значна частина опису функціонального аспекту ніби розгалужуються в моделі предметного аспекту. Остання є багатозв'язною структурою класів і одиничних екземплярів об'єктів, що моделюють предметну галузь у статисти. Динамічний аспект подають у термінах станів кожного об'єкта, переходів між ними й подій, що породжують ці переходи. Автори для опису динамічних властивостей використовують більш точні методи, наприклад, засновані на мережах Петрі [118, 119], а також тимчасові діаграми, що описують зв'язки між станами різних об'єктів [120]. У певних об'єктно-орієнтованих методах збережено окреме представлення функціонального аспекту на додаток до об'єктної й динамічної моделей. Це представлення за своєю структурою нічим не відрізняється від розглянутої вище моделі інформаційних потоків, яка використовувалася за функціонально-орієнтованого підходу. Відмінність полягає лише в тому, що за об'єктно-орієнтованого підходу відповідна модель виявляється простішою, бо частина функцій системи виявляється зосередженою всередині класів об'єктів.

Обидва розглянуті підходи дають можливість побудувати функціонально еквівалентні моделі концептуальної частини майбутньої АС за рівними якість та трудовитратами. Проте об'єктно-орієнтований підхід має істотну перевагу — концептуальне об'єднання методів моделювання вимог, проектування і програмування. Це полегшує навчання фахівців і створення єдиної наскрізної технології, що підтримується CASE-засобами. Крім цього, завдяки вбудованому механізму успадкування об'єктно-орієнтований підхід набагато краще пристосований до повторного використання компонентів. Тому під час розробки кількох подібних проектів об'єктно-орієнтований підхід потенційно може забезпечити значну економію за рахунок повторного використання. Тому великою перевагою об'єктно-орієнтованого підходу, очевидно, є можливість значного зменшення витрат на супровід завдяки простішому внесенню змін до програми.

Як показано в підрозд. 1.2, витрати на супровід АС становлять основну частку всіх витрат упродовж життєвого циклу, і найбільший економічний ефект можуть принести лише ті вдосконалення в методології, які насамперед полегшують супровід, а також попереджують виникнення помилок чи дозволяють виявити їх на ранніх стадіях. Тому під час побудови АС технологічної підготовки сучасних виробництв будемо використовувати методологію об'єктно-орієнтованого підходу.

Науково-технічний прогрес та процеси глобальної трансформації промислового виробництва ставлять перед вченими нові проблеми й завдання. На сучасному етапі розвитку автоматизованих систем ТПВ визначилися такі основні напрями наукових досліджень:

- дослідження, пов'язані з розробкою методів формалізації та алгоритмізації процесів проєктування, планування й управління ТПВ для інтегрованих інформаційних середовищ автоматизованих систем типу АСТПВ (СAPP), ERP-систем та інших з метою оптимального завантаження обладнання, оптимальної продуктивності виробництва тощо;

- дослідження методів формалізації об'єктів і процесів ТПВ з метою їх математичного моделювання та використання в інтегрованому інформаційному середовищі розширених підприємств;

- розробка методів і технологій використання розподіленого штучного інтелекту в АСТПВ з метою підвищення її внутрішньої інтелектуальності, нагромадження та реалізації знань фахівців, використання багатоагентних технологій тощо;

- розробка методів управління процесами ТПВ у середовищі розширених підприємств засобами розподілених АСТПВ;

- розробка та впровадження багатомашинних комп'ютерних комплексів, які використовують розподілені алгоритми пошуку та обробки інформації, вирішення прикладних завдань ТПВ з побудовою ефективних об'єктно-орієнтованих АСТПВ;

- дослідження з метою вдосконалення програмного забезпечення й технічних засобів, СУБД та знань, інших програмних засобів.

Вказані напрями пов'язані з проблемами побудови АСТПВ, і тільки комплексне їх використання прискорить розробку ефективних методів та засобів автоматизації функцій ТПВ для потреб сучасних промислових підприємств. З огляду на це важливою є розробка відповідних методологічних принципів, а на їхній основі — інструментальних засобів для побудови автоматизованих систем та управління ТПВ.

1.2.3. Функціональні можливості сучасних АСПВ

Завдання автоматизації процесів проектування, планування та управління технологічною підготовкою виробництва на сучасному інформаційному та технічному рівні вирішують різноманітні закордонні САРР-системи та кілька систем АСПВ, які розроблені в Росії.

Як зазначалося в підрозд. 1.2, методологія побудови систем САРР принципово відрізняється від методології побудови АСПВ. Тому в наш час неможливе їх «пряме» впровадження (без принципової переробки і значних проблем під час адаптації).

До відомих САРР-систем відносять:

- систему AUTAP (розробка Аахенського технічного університету, Німеччина), яка є системою автоматичного формування необхідної технологічної та конструкторської документації, планування процесів обробки виробів та управління ТПВ [5, 6];

- систему ARPL (розробка Штутгартського університету, Німеччина), призначену для діалогового технологічного проектування та вирішення інших технологічних завдань ТПВ (нормування, планування тощо) [20];

- систему CAPSY (створена в Берлінському технічному університеті, Німеччина), яка має ефективні засоби управління процесами ТПВ, засоби їх контролю та модифікації проміжних результатів. Система орієнтована на різні типи виробництва і застосовується на підприємствах Німеччини [5, 20];

- інші САРР-системи [5, 6, 20].

Використання стандартних форматів даних типу IGES, STEP, VDA та інших дало змогу розробникам систем САРР інтегрувати 3D-моделі з технологічними і виробничими даними, створювати інтегровані АСПВ. Так, в Аахенському технічному університеті на кафедрі систематизації виробництва розроблено методологію сучасної САРР на основі центральної бази об'єктних даних. Це дозволило об'єднати системи САРР FRECON, VABCON, DETAIL 2 та AUTAP в одну потужну інтегровану систему САРР для вирішення завдань ТПВ [20].

Водночас, огляд відомих САРР дає змогу дійти висновку, що вони, як правило, використовують невисокий рівень інтелектуалізації при автоматизації процесів управління ТПВ, не застосовують експертних технологій, не орієнтовані на використання в інтегрованому ін-

формаційному середовищі та не застосовуються розширеними підприємствами [2, 13, 15].

У таких сучасних комунікаційних та інформаційних умовах завдання управління ТПВ певною мірою вирішують ERP-системи (зарубіжні аналоги АСУВ). Так, програмний комплекс mySAP фірми SAP (Голландія) охоплює Project Management для управління проектами, Configuration Management для управління конфігурацією виробу, Engineering Change Management для служби зі змін, Document and Knowledge Management для управління документами і знаннями та Workflow для управління потоками завдань.

Аналіз промислових впроваджень цього комплексу на українських підприємствах, таких як ВАТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя), ВАТ «Дніпроспецсталь» (м. Дніпропетровськ), показав, що комплекс створює інтегроване інформаційне середовище для обміну проектною та іншою документацією по контролю і відстежуванню процесу виконання проекту. Автоматизація завдань ТПВ (у тому числі функції управління) не реалізується в середовищі цієї ERP-системи, і в кращому разі програмний модуль mySAP може використовуватись як інструментальний засіб для створення АСТПВ.

Такий висновок можна також зробити з огляду на інші ERP-системи, які впроваджуються на промислових підприємствах України і в рекламно-інформаційних матеріалах яких декларується автоматизація завдань ТПВ. До таких ERP-систем належать Галактика (Росія), Ваан (Німеччина), IT-технологія (Україна) та ін.

Серед промислових ERP-систем треба виділити систему «Техно-клас» (Болгарія). Вона створена в 90-ті рр. минулого століття на базі АСТПВ для машинобудівних виробництв і реально виконує автоматизацію багатьох завдань ТПВ, інтегрує їх рішення із завданнями виробничого планування й управління виробництвом. Проте розробники, розвиваючи вирішення завдань з управління виробництвом, відстали у вирішенні завдань автоматизації ТПВ, зокрема в питаннях з управління проектами і процесами ТПВ. Система поки що не має інструментальних засобів і механізмів для управління ТПВ розширених підприємств.

Часткове вирішення цих проблем пропонується програмним комплексом «TechnologiCS» (розробник — фірма Consistent Software, Росія). Комплекс призначений для автоматизації завдань з конструкторсько-технологічної підготовки, виробничого планування й оперативного управління виробництвом. Він складається з таких програмних модулів:

- OutdoCS — система управління інженерними даними й життєвим циклом виробу, електронний документообіг;

• TechnologiCS ТПВ — система конструкторсько-технологічного проектування. Вона охоплює:

✓ управління інформацією про вироби — робота зі специфікаціями і структурою виробу, єдиною базою даних конструкторсько-технологічної інформації про вироби;

✓ технологічну підготовку — проектування технологічних процесів, матеріальне і робоче нормування, технологічні розрахунки, випуск технологічної документації;

✓ зведені розрахунки — розрахунки зведених потреб у ресурсах на виріб (замовлення), формування зведених відомостей.

Розглянутий комплекс використовується як єдина АСТПВ. Проте він не вирішує важливі для розширених підприємств завдання інтеграції технологічних даних АС у реальному режимі часу, завдання управління завантаженням обладнання підприємств і, головне, не створює інтегрованого інформаційного середовища для всіх АС життєвого циклу виробу.

Комплекс з автоматизації технологічної підготовки виробництва «ТехноПро» (фірма «Альянс — Вектор», Росія) вирішує завдання технологічного проектування, планування й управління конструкторською і технологічною документацією. Він ефективний при автоматизації технологічного проектування, пропонує технологам широкий спектр різноманітних технологічних баз даних і методів проектування. Інтеграція «ТехноПро» з САД-системою T-Flex (розробник — фірма «Топ-Системи», Росія) значно розширила межі використання системи «ТехноПро», забезпечивши єдине інформаційне середовище конструкторсько-технологічного проектування і передачі даних у PDM і ERP-системи. Проте завдання управління підготовкою виробництва, створення механізмів та інструментів функціонування АСТПВ розширених підприємств не вирішуються засобами цієї системи автоматизації ТПВ.

АСТПВ на базі САПР ТП Techcard (розробник — НВП «Інтермех», Білорусія) забезпечує вирішення завдань технологічного проектування та їх інформаційного забезпечення для різних видів виробництв. Система також пропонує технологам необхідні бібліотеки, класифікатори й довідники, автоматизує процес ведення електронного архіву документації. Інтеграція системи в інформаційне середовище PDM-системи Search, а також із системою Cadmech (розробник НВП «Інтермех», Білорусія) дозволила створити єдине інформаційне середовище спеціалістів підприємства, які працюють із цими системами. Існує можливість (через спеціально створені інтерфейси) передавати технологічні дані в зовнішні ERP-системи, САД/САМ-системи та ін. Проте АСТПВ на базі системи Techcard

потрібно віднести до систем «локального» характеру. Вона може забезпечити якісну автоматизацію там, де використовуються системи, розроблені НВП «Інтермех». За допомогою цієї системи завдання управління ТПВ і проблеми АСТПВ розширених підприємств не можуть бути вирішені.

Програмний комплекс ТПВ КОМПАС-АВТОПРОЕКТ (розробка компанії «АСКОН», Росія). Автоматизуючи роботу з технологічного проектування, комплекс також вирішує завдання нормування праці та матеріалів, виконує розрахунок режимів обробки. Інтеграція із системами, розробленими в АСКОНі, такими як PDM-система Лоцман, САД-системи КОМПАС-3D і КОМПАС-ГРАФІК, а також завдяки наявності необхідних довідників, нормалей та іншої інформації (у вигляді спеціалізованих бібліотек) забезпечує необхідне функціональне наповнення автоматизованого робочого місця технолога з технологічного проектування ТП для різноманітних видів виробництва. Недоліки попередньої системи Techcard цілком повторюються і в цьому програмному комплексі ТПВ.

Функціональне вирішення завдань ТПВ серед російських PDM-систем типу PartY PLUS і Lotsia PLM (розробник — компанія «Лоція Софт», Росія), PDM-системи Omega Production (розробник — фірма «Omega Software», Білорусія) та інших зводиться до завдань електронного технічного документообігу. Згідно із сучасними тенденціями CALS-технологій та PDM-рішень у цих системах також вирішуються завдання управління конструкторсько-технологічними даними виробів. Проте такі рішення не можуть розглядатись для АСТПВ як звичайних, так і розширених підприємств. Вони мають «локальний» характер, потребують інтеграції САПР ТП і не створюють інтегроване інформаційне середовище для всіх АС життєвого циклу виробу.

Отже, аналіз відомих САПР-систем і АСТПВ дає змогу дійти висновку, що вони, як правило, використовують невисокий рівень інтелектуалізації під час вирішення завдань управління ТПВ. Іншим висновком може бути той факт, що майже немає відомих у країнах СНД АСТПВ, які б могли вирішувати завдання ТПВ розширених підприємств в інтегрованому інформаційному середовищі АС інформаційної підтримки всього життєвого циклу виробу.

1.3. Реінжиніринг бізнес-процесів як метод підвищення ефективності управління ТПВ

Поняття реінжинірингу бізнес-процесів (business process reengineering) виникло в 1990 р. [121, 122] і з того часу має великий інтерес у різних прикладних галузях, у тому числі в технологічній підготовці промислового виробництва. Нині методи реінжинірингу взяли на озброєння майже всі провідні компанії світу.

Реінжиніринг визначають як «фундаментальне переосмислення і радикальне перепроєктування бізнес-процесів компаній для досягнення значних поліпшень у найбільш важливих показниках їхньої діяльності — вартість, якість і темпи» [121]. Необхідність реінжинірингу обґрунтовують високою динамічністю сучасного ринку промислових товарів. Безперервні та істотні зміни в технологіях, ринках збуту і потребах покупця стали звичайним явищем, і компанії, прагнучи вижити та зберегти конкурентоспроможність, змушені безперервно перебудовувати свою стратегію й тактику.

Найважливішою складовою реінжинірингу бізнес-процесів є використання нових ІТ, розвиток яких багато в чому сприяв становленню методології та практичному застосуванню реінжинірингу. В іноземній літературі неодноразово зазначалося, що без використання нових інформаційних технологій провести реінжиніринг майже неможливо [122, 123].

Загальні ідеї й методи реінжинірингу можуть бути застосовані до технологічної підготовки промислового виробництва як до одного з основних етапів ЖЦВ. Їх застосування нині особливо актуальне для вітчизняних підприємств, тому що є засобом значного підвищення ефективності управління промисловими підприємствами в умовах ринкової економіки.

Методологія реінжинірингу розглядає діяльність підприємства як таку, що може бути побудована, спроектована чи перепроєктована відповідно до інженерних принципів. При цьому радикальність перетворень відрізняє реінжиніринг від інших методів підвищення ефективності діяльності підприємств. До таких методів можна віднести вдосконалення, реструктурування, автоматизацію й управління якістю. Ці методи частково перетинаються з реінжинірингом (рис. 1.3), але за їх допомогою неможливо домогтися радикального підвищення ефективності.



Рис. 1.3. Методи підвищення ефективності діяльності підприємства

На початковій фазі реінжинірингу необхідно відповісти на фундаментальні питання про діяльність підприємства: чому підприємство робить саме те, що воно робить; чому підприємство робить це таким способом; яким бажає стати підприємство. Відповідаючи на ці питання, фахівці повинні виявити й переосмислити правила та припущення (найчастіше явно не виражені), які покладено в основу поточного способу ведення бізнесу. Найчастіше ці правила виявляються застарілими чи помилковими.

Фундаментальним принципом реінжинірингу є розгляд діяльності підприємства не з погляду функціонування його структурних підрозділів, а з погляду організації й перебігу в ньому бізнес-процесів. Бізнес-процес — це зв'язана сукупність внутрішніх видів діяльності компанії, що закінчуються створенням продукції чи послуги, необхідної споживачеві [122]. Термін «споживач» варто розуміти в широкому значенні — це може бути просто клієнт, а може бути й інший процес, що відбувається в зовнішньому оточенні, наприклад у партнерів чи субпідрядників.

Для іменування процесів зазвичай використовують дієслівні форми, наприклад «спроєктувати і виготовити сервомотор із заданими характеристиками» чи «розробити нову модель касового апарата». Процес може складатися з інших, дрібніших процесів (підпроцесів). Як приклади підпроцесів на машинобудівному підприємстві можна навести: «організувати постачання комплектуючих», «спроєктувати оснастку», «розробити технологічний процес» і т. ін. Процеси підрозділяють на зовнішні (розглянуті з погляду споживача) і внутрішні (розглянуті з погляду їх організаторів і виконавців).

Порівняно з традиційним аналізом діяльності підприємства орієнтація на аналіз процесів має численні переваги. Зокрема, важко чи неможливо виміряти ефект від проведення змін в ієрархічній струк-

турі підприємства, тимчасом як за орієнтації на процеси фахівці мають справу з такими чітко оцінованими характеристиками, як варієтність, тривалість, якість і ступінь задоволення споживача.

Орієнтація на процеси є основним чинником, що сприяє успішному реінжинірингу. Іншим, не менш важливим фактором, є перехід підприємства до використання нових інформаційних технологій. Їх застосування не означає звичайну автоматизацію існуючих процесів. Використання нових інформаційних технологій може привести не тільки до принципових змін у діяльності співробітників, а й до повної заміни існуючих бізнес-процесів.

Реінжиніринг підприємства ніколи не проводять «угору», а лише «вниз». Існують дві причини, з яких реінжиніринг не можуть успішно провести керівники (менеджери) нижнього й середнього рівнів.

Перша причина полягає в тому, що ці менеджери не мають тієї широти поглядів на діяльність підприємства, що необхідна для проведення реінжинірингу. Їхній досвід в основному обмежується знанням тих функцій, які вони виконують у своєму підрозділі. Вони, як правило, краще за інших усвідомлюють проблеми свого підрозділу, але їм важко побачити процес у цілому і розпізнати його слабкі місця.

Друга причина полягає в тому, що бізнес-процеси неминуче перетинають організаційні кордони, тобто кордони підрозділів, тому менеджери нижнього й середнього рівнів не мають достатнього авторитету для того, щоб наполягати на трансформації процесів. Більше того, радикальні перетворення існуючого процесу можуть привести до зменшення ролі та впливу певного менеджера. З цих причин менеджери середнього рівня можуть не тільки не сприяти проведенню реінжинірингу, а й перешкоджати йому.

Проект з реінжинірингу підприємства в загальному вигляді охоплює такі чотири етапи:

1. *Розроблення образу майбутнього підприємства.* На цьому етапі підприємство будує картину того, як варто розвивати бізнес, щоб досягти стратегічних цілей.

2. *Аналіз існуючого виробництва.* Проводять дослідження компанії та складають схеми її функціонування в даний момент.

3. *Розроблення нового виробництва.* Розробляють нові змінні процеси та інформаційну систему їх підтримки. Виконують моделювання й тестування нових процесів.

4. *Упровадження нового виробництва.* На цьому етапі проводяться роботи з упровадження бізнес-планів і проектів нового виробництва [122].

Необхідно підкреслити, що ці етапи виконують не послідовно, а паралельно, причому деякі етапи повторюються.

Розглянемо організаційні зміни, що відбуваються в результаті проведення реінжинірингу ТПВ.

1. Здійснюється перехід від функціональних підрозділів до команд процесів. По суті реінжиніринг поєднує в одне ціле процеси, що раніше були розбиті на окремі частини. У традиційно організованому підприємстві співробітники розподіляються за відділеннями, відділами, лабораторіями, групами тощо, у яких вони виконують службові функції (частини процесів). Ця фракційність створює безліч проблем, зокрема проблему неузгодженості й навіть суперечливості цілей різних груп людей. Реінжиніринг пропонує альтернативний підхід, що полягає не в поділі людей за підрозділами, а в об'єднанні їх у команди процесів, тобто в групи людей, що виконують спільно закінчену частину роботи — процес. Команди процесів замінюють старі функціональні підрозділи.

2. Робота виконавця змінюється від простої до багатопланової. Люди, котрі працюють у команді, відзначають, що їхня робота значно відрізняється від роботи, яку вони виконували у функціональному підрозділі. Член команди (разом з іншими членами команди) відповідає за весь процес, що вимагає вміння не тільки виконувати своє завдання, а й розуміти весь процес у цілому і вміти, у разі потреби, виконувати кілька завдань. Робота члена команди стає змістовнішою, тому що з неї усуваються зайві перевірки, узгодження, очікування, викликані подоланням меж між підрозділами традиційного підприємства. Члени команди зосереджують свої зусилля на потребах користувачів, а не керівництва.

3. Змінюються вимоги до працівників. Керівництво традиційного підприємства вимагає, щоб його працівники дотримувалися встановлених правил. Підприємство, що завершило реінжиніринг, вимагає, щоб його співробітники не чітко дотримувалися встановлених правил, а пропонували свої правила, тобто члени команди вповноважені приймати самостійні рішення.

4. Змінюються вимоги до підготовки співробітників. Традиційні підприємства готують своїх співробітників на курсах, мета яких — навчити, як виконувати деяку конкретну роботу чи як керувати певною специфічною ситуацією. У зв'язку з багатоплановістю і змінністю робіт, орієнтованих на процеси, підприємства повинні піклуватися не тільки про проведення навчальних курсів, а й про безперервну освіту своїх співробітників.

5. Змінюється оцінка ефективності роботи та оплата праці. На традиційному підприємстві схема оплати досить прямолінійна:

людям платять за відпрацьований час. Зрозуміло, що це далеко не найефективніший спосіб оплати, однак за поділу праці на прості завдання немає можливості оцінити ефективність вузького завдання. Крім цього, збільшення ефективності вузько визначеного завдання не завжди приводить до збільшення ефективності всього процесу. Після проведення реінжинірингу команда відповідає за результати процесу, і в цьому разі підприємство може виміряти ефективність роботи команди й оплатити її згідно з отриманим результатом.

6. Змінюється розподіл ролей між співробітниками підприємства. Нова організаційна структура підприємства ґрунтується на управлінні бізнес-процесами й виробничими ресурсами (рис. 1.4). У ній можна виокремити кілька типових ролей співробітників.

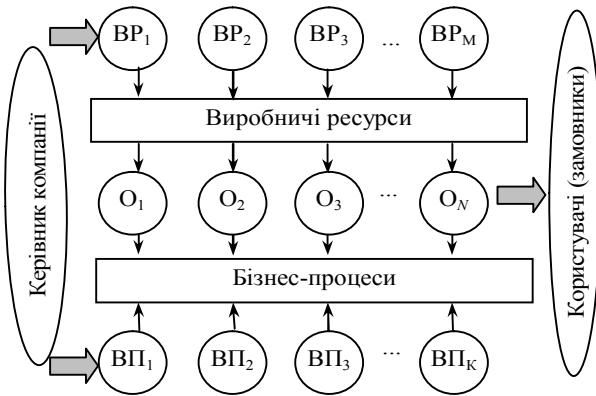


Рис. 1.4. Структура нового підприємства:

BP — власник ресурсу; VP — власник процесу; O — оператор процесу

Керівник підприємства призначає власників ресурсів і власників процесів: по одному для кожної функції та для кожного процесу (у великому підприємстві між керівником та власниками ресурсів і процесів можуть стояти посадові особи, котрі відповідають за різні сфери бізнесу).

Власник ресурсу має довгострокові права й несе довгострокову відповідальність за ресурси, що стосуються його конкретної функції.

Власник процесу несе оперативну відповідальність за ресурси, надані в його розпорядження, щоб виконати деякий конкретний процес.

Оператор процесу є виконавцем, якого власник процесу запрошує до себе на роботу і з яким укладає угоду.

Складається тристороння угода між оператором, власником процесу і власником ресурсу. Пропозиції з такої угоди надаються опе-

ратору і, якщо той погоджується з ними, усі сторони підписують і приймають угоду. Крім цього, власник процесу призначає керівника (лідера) для кожного зі своїх конкретних процесів. Цей лідер несе оперативну відповідальність за доручений йому конкретний процес.

Власник процесу «закупує» усередині підприємства ресурси й послуги у власників ресурсів. Власники процесів при цьому зацікавлені в гарній репутації своїх процесів, що дає їм право запрошувати до себе найкращих співробітників. Кожен співробітник намагається виконувати свої функції щонайкраще, щоб у власників процесів було бажання «купувати» його послуги.

У процесі аналізу існуючого бізнесу, під час розробки нового бізнесу найважливішу роль відіграє побудова моделей підприємства й бізнес-процесів, що відбуваються в ньому. Моделі можуть розрізнятися ступенем деталізації процесів, формою їх подання, урахуванням тільки статичних або також динамічних факторів тощо. Варто зазначити, що всі відомі підходи до моделювання бізнес-процесів належать до сімейства методів моделювання складних інформаційних систем [122]. Етапи розвитку методів і засобів формалізації моделей предметної галузі під час створення АСПВ розглянуто нижче.

Моделі нових бізнес-процесів знаходять своє відображення в середовищі *інформаційної системи підтримки (ІСП)* нового бізнесу. Важливість ІСП полягає не тільки в тому, що вона є необхідним елементом реінжинірингу, а ще й у тому, що найчастіше застосування ІСП багато в чому визначає технологію ведення нового бізнесу [122].

За класичного структурного підходу до розробки інформаційних систем модель, що реалізована в середовищі ІСП, розподіляють на складові частини, кожна з яких розглядають окремо від інших. Класичний підхід реалізує структурне проектування, коли розподіл (декомпозицію) системи здійснюють за принципом «униз». Створення ІСП при цьому складається з етапів аналізу, проектування, програмування, тестування й супроводу. Якщо ці етапи виконуються послідовно, то такий метод створення системи називають *каскадним*. При цьому, наприклад, програмування можна розпочати тільки після завершення аналізу та проектування. Це призводить до втрат часу, не дає змоги швидко розробляти прототипи системи. Каскадний метод не узгоджується з ітеративним характером розробки, коли на наступних етапах може виникнути необхідність внесення змін у рішення, прийняті на попередніх етапах.

Для усунення цього недоліку було розроблено *спіральний* підхід [122]. Він полягає в тому, що розробки ведуть ніби за спіраллю, причому на кожному її витку послідовно виконуються зазначені вище етапи так, що проект поступово уточнюється. Проте цей підхід

має свої недоліки — трудомісткість внесення змін, великий обсяг документації до проекту, складність компонування системи.

Найбільш сучасним і продуктивним вважається *об'єктно-орієнтований* підхід. Цей підхід реалізований у цілому ряді систем програмування та інструментальних засобів. Як відомо, основними поняттями цього підходу є об'єкт, спадкування, інкапсуляція й поліморфізм [122, 124].

Згідно з об'єктно-орієнтованим підходом під час розробки інформаційної системи виконується об'єктно-орієнтована декомпозиція предметної галузі, яка полягає в її подаванні у вигляді сукупності класів і об'єктів. Ієрархічний характер компонентів моделі відображається у вигляді ієрархії класів і підкласів, а функціонування системи розглядається як взаємодія об'єктів. При цьому зв'язки між об'єктами розглядають як самостійні сутності. З кожним об'єктом може бути пов'язане виконання деяких дій, наприклад перегляд об'єкта, його копіювання, видалення.

Цикл розробки об'єктно-орієнтованої системи містить кілька етапів, але на відміну від структурного підходу в ньому немає чіткої послідовності їх виконання. Процес має принципово ітеративний характер, що найбільшою мірою відповідає потребам завдання. У такому ітеративному процесі життєвий цикл розробки проходить певні фази, причому в кожній фазі можливі ітерації, пов'язані з переходом фази у новий стан (рис. 1.5).

Результатом ітерації є інкремент — версія системи з додатковими чи вдосконаленими функціональними можливостями порівняно з попередньою версією. У свою чергу, кожна фаза завершується віхою, що відображає результати виконання фази. Віхи дають керівникам можливість провести аналіз і прийняти потрібні рішення до того, як робота перейде до наступної фази. Зокрема, відстежуючи час і зусилля, що витрачені на чергову фазу, керівництво коригує плани й ресурси, необхідні для виконання наступних фаз. У свою чергу, кожна фаза складається з п'яти послідовно виконуваних процесів: управління вимогами, аналіз, проектування, реалізація, тестування.

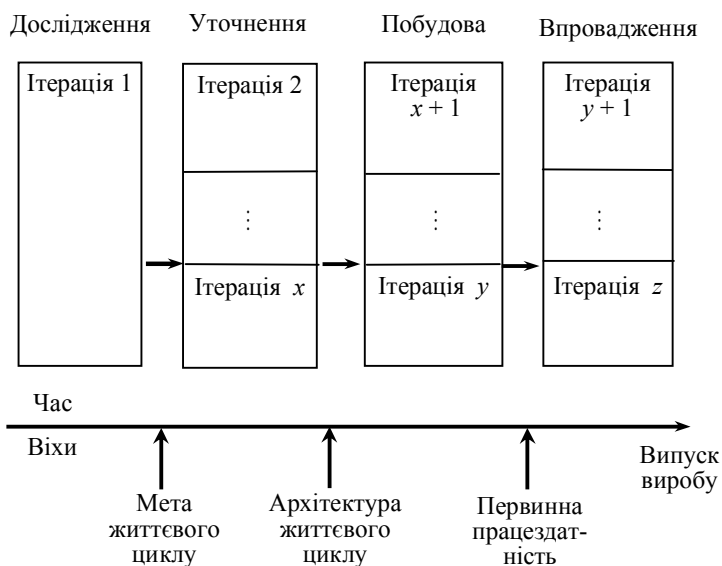


Рис. 1.5. Ітерації та віхи життєвого циклу розробки АС

Процес розробки з використанням об'єктно-орієнтованого підходу може бути розглянутий у двох вимірах (рис. 1.6) [124]. Перший вимір подає динамічний бік процесу, що виражається через фази, ітерації й віхи. Другий вимір подає статичний бік процесу — його опис через компоненти процесу, види діяльності, технологічні процеси проектування та артефакти. Криві приблизно зображують обсяги робочих процесів, що виконуються у кожній із фаз. Кожна фаза, як було показано вище, додатково розділяється на ітерації (міні-проекти).

Отже, процес аналізу та проектування можна подати як порівняльний спуск від найзагальніших моделей і представлень концептуального рівня до детальніших представлень логічного й фізичного рівнів. При цьому на кожній ітерації ці моделі послідовно доповнюються дедалі більшою кількістю деталей, що дає їм змогу адекватніше відображати різні аспекти конкретної реалізації.

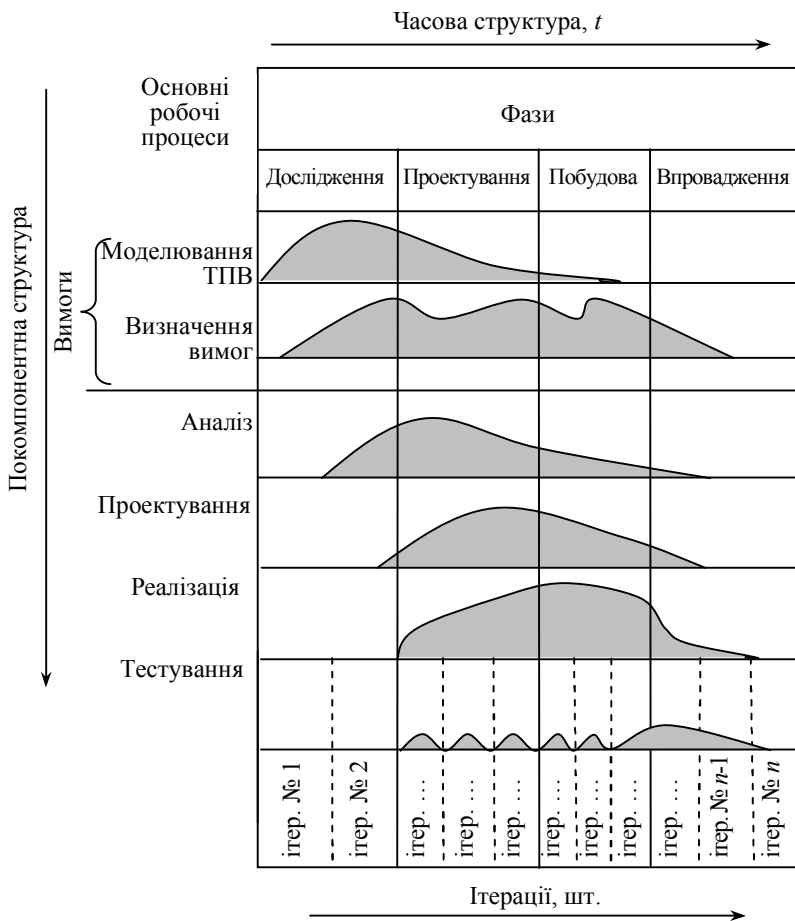


Рис. 1.6. Структура циклу розробки АС у двох вимірах

Більш конкретно переваги об'єктно-орієнтованого підходу полягають у такому:

- ✓ з'являється можливість розпаралелювання робіт;
- ✓ спрощується внесення змін у модель предметної галузі;
- ✓ забезпечується гнучкість архітектури створюваної системи;
- ✓ полегшується повторне використання вже розроблених елементів (використання типових рішень);
- ✓ забезпечується природність опису об'єктів і зв'язків між ними.

Вадою підходу є те, що він більше орієнтований на системних аналітиків і програмістів, аніж на інших учасників проекту (наприклад, конструкторів чи технологів). Тому останнім часом одержують розвиток інструментальні засоби, що містять додаткові можливості — можливість імітаційного моделювання роботи створюваної системи й можливість подавати в моделях слабоформалізовані знання про предметну галузь (інженерія знань) [122]. Проте об'єктно-орієнтований підхід і нині залишається основним під час створення складних інформаційних систем. Для його підтримки розробляються спеціальні CASE-засоби й мови, серед яких провідне місце посідає мова UML (Unified Modeling Language). Реалізація об'єктно-орієнтованого підходу з використанням нотації UML одержала назву RUP (Rational Unified Process). Методологія RUP, розроблена компанією Rational Software Corp., є методикою, що підтримує ітеративний процес створення складної інформаційної системи на основі об'єктно-орієнтованого підходу з використанням діаграм UML для візуального моделювання конкретної предметної галузі [124, 125]. Ця методологія може бути прийнята й для побудови АСТПВ як деякої складної інформаційної системи.

У цілому методологія реінжинірингу також має враховуватися під час побудови АСТПВ, тому що створення АСТПВ доцільно проводити в контексті реінжинірингу ТПВ підприємства, включаючи організаційні перетворення, заміну застарілого технологічного обладнання тощо. При цьому АСТПВ має виступати як інформаційна система підтримки нових бізнес-процесів у сфері ТПВ.

1.4. Аналіз CALS-технологій та PLM-рішень інформаційної підтримки етапів технологічної підготовки виробництва

Важливість комплексного підходу під час створення складних автоматизованих систем у промисловому виробництві почали усвідомлювати ще в 70-х рр. минулого століття. У 80-х рр. ідеї комплексності знайшли відображення в створенні гнучких виробничих систем [81]. Іншим втіленням цих ідей стала концепція єдиної інформаційної підтримки всіх етапів ЖЦВ. Поняття ЖЦВ містить у собі всі стадії життя виробу — від вивчення ринку перед проектуванням до утилізації виробу після використання. Комп'ютерна під-

римка етапів ЖЦВ стає можливою завдяки створенню єдиної бази даних про виріб (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Інформаційна підтримка етапів ЖЦВ

Фахівці з розвитку промисловості вже давно передбачали, що процеси розробки, підготовки виробництва, виготовлення, маркетингу та продажу, експлуатації й підтримки підпорядковуються одним закономірностям і можуть бути формалізовані. Тобто вони можуть об'єктивно розраховуватись і оптимізуватись. Технічно ця можливість стримувалася дефіцитом можливостей комп'ютерів і засобів комунікацій. На організаційному й науковому рівнях було досить добре описано лише деякі з процесів, а їхня системна інтеграція мала стільки ж видів і форм, скільки самих підприємств-виробників. Коли ситуація на ринку змусила їх реформувати свій бізнес, виникла потреба в нових технологіях ведення бізнесу на вищому рівні.

Комп'ютерна підтримка етапів ЖЦВ знайшла своє відображення в методології та стандартах CALS [16, 29, 30, 43, 60, 126 та ін.]. Відповідно до концептуальних положень CALS реальні бізнес-процеси відображаються у віртуальному інформаційному середовищі, в якому опис продукту подано у вигляді повного електронного опису виробу, а середовище його створення й середовище експлуатації — у вигляді систем моделювання процесів. Усі три складові (визначення продукту, середовища його створення і середовища експлуатації) не тільки взаємозалежні, а й безперервно розвиваються впродовж ЖЦВ.

Існують різні розшифровки аббревіатури CALS. Як відомо, методологія CALS зародилася в департаменті оборони США в середині 80-х рр. [28, 29 та ін.]. Ця аббревіатура розшифровувалася як «Комп'ютеризована Підтримка Логістичних Систем» (Computer-Aided Acquisition and Logistics Support) [30]. У 1988 р. з CALS було знято військові обмеження, і її стали називати «Комп'ютеризовані Постачання і Підтримка» (Computer-Aided Acquisition and Support) [30]. У цьому варіанті назви була посилена організаційна спрямованість CALS. З 1993 р. методологія CALS почала широко використовуватись у промисловості, і її почали трактувати, як «Підтримка Безперервних Постачань і Життєвого Циклу» (Computer-Aided Acquisition and Lifecycle Support) [27]. Нова назва акцентувала увагу на методології паралельного проектування, інтегрованої логістичної підтримки, управлінні конфігурацією й документообігом. Це дало змогу інтегрувати процеси впродовж усього ЖЦВ від виникнення потреби у виробі (фази аналізу) до його утилізації. Пізніше, під впливом американського військово-промислового комплексу, іноді стали називати «Бізнесом у Високому Темпі» (Commerce At Light Speed), чим підкреслювалася переорієнтація цих технологій у напрямі Інформаційних Магістралей і Електронної Комерції [28]. Нині в технічній літературі (як зарубіжній, так і вітчизняній) під терміном CALS розуміють «Безперервну Інформаційну Підтримку Етапів Життєвого Циклу Виробів» (CALS — Continuous Acquisition and Life cycle Support — Безперервна Інформаційна Підтримка Життєвого Циклу Виробу) і називають цю підтримку CALS-технологіями. У російській технічній та науковій літературі поряд з терміном CALS використовують рівнозначний російський термін ИПИ (Информационная Поддержка Изделий) [30].

У галузі ТПВ, яка охоплює конструкторське проектування й технологічну підготовку виробництва, принципи ИПИ/CALS знайшли своє відображення у створенні провідними західними розробниками ряду програмних систем, що забезпечують комплексну інформаційну підтримку етапів ЖЦВ на основі концепції PLM (Product Lifecycle Management). Цими провідними розробниками є компанії IBM/Dassault Systemes, UGS PLM Solutions та PTC (Parametric Technology Corporation) [29, 30]. Існує також ряд інших компаній, що декларують постачання PLM-рішень, однак такі рішення мають частковий, некомплексний характер [10, 30].

Зауважимо, що впровадження PLM-рішень тісно пов'язане з проведенням реінжинірингу, що є одним з основних принципів ИПИ/CALS [60].

Відповідно до визначення CIMdata, відомого у світі незалежного експерта з проблем PLM [10], «PLM — це стратегічний підхід до ве-

дення бізнесу, що використовує набір сумісних рішень для підтримки загального подання інформації про продукт у процесі його створення, реалізації та експлуатації, у середовищі розширеного підприємства, починаючи від концепції створення продукту до його утилізації — при інтеграції людських ресурсів, процесів і інформації».

На підставі цього визначення можна виокремити три основні вимоги до PLM-рішень:

- можливість універсального, безпечного й керованого засобу управління та використання інформації, що визначає виріб;
- підтримка цілісності інформації, що визначає виріб, протягом усього його життєвого циклу;
- управління й підтримка бізнес-процесів, що використовуються під час створення, розподілу й використання інформації.

Концепцію PLM було розроблено науково-дослідними центрами компанії IBM та Dassault Systemes. В основу розробки цієї концепції покладено такі вимоги [8]:

1. Інтеграція інформації етапів ЖЦВ. Усі види діяльності та предмети, що представляють компоненти ЖЦВ, мають знайти універсальне інформаційне ядро, що забезпечує єдине подавання промислового бізнесу як системи продуктів, процесів і ресурсів. Усі три компоненти повинні ґрунтуватися на єдиній схемі опису (специфікування).

2. Асоціативність. Між усіма компонентами ЖЦВ мають підтримуватися стійкі і керовані причиново-наслідкові зв'язки. Будь-який елемент опису продукту, процесу чи ресурсу має зберігати своє походження й умови існування. Це основний радикальний захід для скорочення витрат на випуск нових, конкурентоспроможних товарів.

3. Сертифікованість. Електронна модель виробу повинна мати властивості контролепридатності. Інструкція контролю — це вид процесу, що специфікований за тими самими законами, що й продукт, і є невід'ємною частиною віртуального проекту виробу. Вона має існувати й діяти на всіх етапах життєвого циклу. Дані про виріб повинні існувати й розвиватися разом із процедурами контролю, пов'язаними з ними.

4. Умовна інваріантність. Більшість виробів промислового виробництва має велику кількість версій, модифікацій, варіантів виконання, залежних від певних умов. Наприклад, якщо компонування пасажирського салону поділяється на 2 класи, то встановлюється одна знімна перегородка, а якщо на 3 класи — то дві. Це найпростіше правило комплектації вже робить проект різноманітним, додаючи ще одну категорію понять — конфігурація. При цьому кожна з конфігурацій повинна мати всі властивості цілого проекту.

Наведемо ще один приклад. Деякий тип літака перебуває в дослідному або передсерійному виробництві. У конструкції його планера є великі механічні деталі, наприклад траверси силового шпангоуту. Для їх серійного виробництва передбачено виготовлення об'ємних штампованих заготовок, спеціально призначених для цієї деталі. Проте для дослідного виробництва це економічно недоцільно, тому для них застосовують прості заготовки типу плити. Ці два варіанти виконання мають різні технологічні процеси механообробки із застосуванням різних верстатів та інструменту, з різними режимами різання, процедурами контролю й технічними умовами. При цьому у виробі обидва варіанти виглядатимуть зовсім однаково. Для електронного проекту — це теж приклад умовної варіантності, який має бути визначеним.

У всіх варіантах кінцевого продукту є загальна властивість — вони спираються на визначену умову — «якщо». Вона має бути «вмикачем» для сукупності логічних правил, що повинні бути виконані на всіх етапах, які стосуються виробництва продукту. Для цього потрібний могутній засіб, що має можливість створювати, контролювати й виконувати ці правила.

5. Різноманітність засобів подавання даних проекту. Оскільки змістовна частина проекту виробу в електронному вигляді зростає й покриває дедалі більше галузей знань, то й подавання його має бути селективним, тобто вибіркоким за певним критерієм. Відповідно до цього структура даних повинна мати ознаки (атрибути) ролі, завдання і рівня допуску користувача. Наприклад, якщо до проекту звертається представник експлуатуючої організації, то відгукуватися повинні тільки ті об'єкти та елементи їх специфікацій, що стосуються процесу обслуговування. При цьому інженерні розрахунки, складальне оснащення й зони, недоступні для обслуговування, повинні залишатися недоступними доти, доки вони не потраплять у критерій запиту.

Оскільки існують стійкі (стандартні) ролі користувачів, то має бути передбачено відповідні стандартні форми подавання проекту: інженерне — для розробників; презентаційне — для відвідувачів; експлуатаційне — для операторів; маркетингове — для публікацій та продажу тощо. Програмні додатки, що працюють над електронним проектом, повинні бути чутливі до ролі, у якій перебуває користувач.

У відносно стійкій класифікації систем, що забезпечують інформаційну підтримку різних етапів ЖЦВ, можна виокремити автоматизовані системи — CAD/CAM, CAE, PDM, MRP, MRP-II, ERP, SCM, CRM і CPC та ін. Докладніший перелік можна знайти, наприклад, у роботі [28]. Однак цей перелік і термінологія мають постійну

тенденцію до зміни. Так, поряд з терміном PDM поширюються терміни cPDM (collaborative Product Data Management) і cPDM (collaborative Product Definition management) [127, 128].

Базовими системами, що забезпечують реалізацію стратегії PLM, є системи класів CAD/CAM, CAE та PDM. Відповідно до концепції IBM/Dassault Systemes системи класів ERP (Enterprise Resource Planning — планування ресурсів підприємства), SCM (Supply Chain Management — управління ланцюгами постачань) і CRM (Customer Relationship Management — управління відносинами із замовниками) не належать до засобів підтримки PLM-рішень, а забезпечують, разом з PLM, ефективне функціонування розширеного підприємства (рис. 1.8).

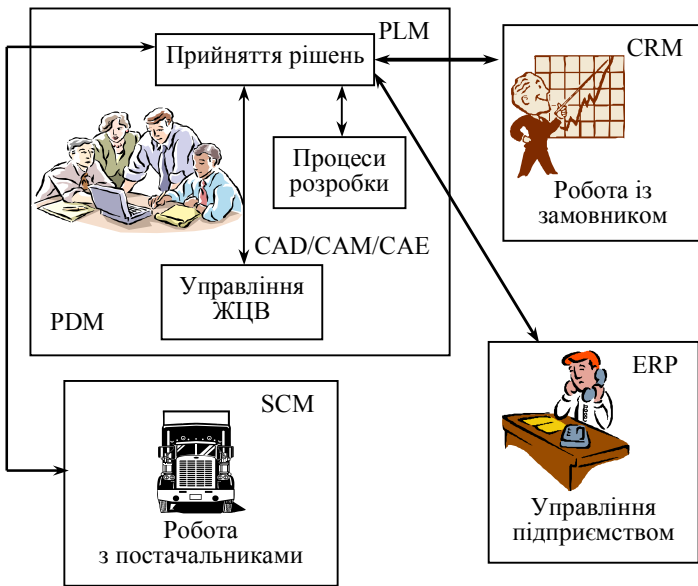


Рис. 1.8. Зв'язок PLM-рішень з іншими завданнями

Базові засоби підтримки PLM-рішень через свою універсальність можуть використовуватися на різних етапах ЖЦВ. Найхарактернішим прикладом є CAD-система, що може застосовуватись як на етапі проектування основного виробу, так і на етапі ТПВ під час проектування засобів технологічної оснастки. Цей фактор, а також сам факт широкого використання CAD/CAM, CAE і PDM-систем без їх розгляду як комплексу підсистем єдиної АСППВ привели до того, що поняття АСППВ почало розмиватися.

Такий стан речей вимагає визначити критерій, за яким АСТПВ могла б розглядатися в межах загальної стратегії PLM як цілісна самостійна система.

На наш погляд, логічною передумовою збереження АСТПВ як єдиної системи є те, що сама ТПВ є фіксованим етапом ЖЦВ. Предметна спеціалізація ТПВ, а також необхідність виконання умови з комплексності за автоматизації сфери ТПВ роблять актуальним розгляд АСТПВ саме як логічно завершеної, самостійної системи. При цьому CAD/CAM і CAE-системи стають (як підсистеми АСТПВ) засобами автоматизації виконання різних проектних процедур, а PDM-система — засобом для реалізації процесів управління ТПВ. Водночас PDM-система є базовим засобом, за допомогою якого реалізується інтегроване інформаційне середовище як для сфери ТПВ, так і для інших етапів ЖЦВ.

1.5. Розширене виробництво – сучасний рівень інтеграції ресурсів, процесів і знань

Інформаційні технології на базі CALS-технологій та PLM-рішень утворюють інформаційну структуру індустрії промислово розвинутих країн. США є безумовним лідером і розглядають сферу інформаційних технологій як основу свого панування у світі. За оцінками фахівців, розвинуті країни Європи відстають від США на 8—12 років і докладають енергійних зусиль до подолання цього відставання [3, 9, 54].

Високою активністю у сфері міжнародної інтеграції бізнесу вирізняються країни Південно-Східної Азії, лідером яких Японія. Експансію нових інформаційних технологій у бізнесі зазначених країн призупинили фінансові труднощі. Крім цього, нові інформаційні технології є експортом європейської ідеї відкритого суспільства, до прийняття якої культури багатьох держав Тихоокеанського регіону не готові.

Основний конфлікт CALS-співтовариства — необхідність перегляду національних і регіональних стандартів у процесі побудови нової системи міжнародних стандартів. Це необхідно робити на міждержавному рівні, що потребує політичної підтримки держав. До того ж перенавчання фахівців і реформування національних систем стандартизації та сертифікації потребують багато коштів. Усі розвинуті країни прагнуть мінімізувати свої витрати на впровадження

CALS-технологій, але ніхто не представляє в цьому процесі інтереси країн, що розвиваються, і країн з перехідною економікою.

У результаті розвинуті країни виходять на якісно новий рівень міжнародної інтеграції. Можна сказати, що виник «закритий клуб» країн, які опанували використання нових інформаційних технологій у промисловості. Його учасники мають можливість більш точної координації зусиль, швидкої кооперації й мобілізації ресурсів, що забезпечує їм істотні переваги в конкурентній боротьбі на всіх промислових ринках з іншою частиною світу.

Переваги використання можливостей промислових ІТ розуміють і в Росії. Там створено міжгалузеві центри та державні інститути, які адаптують стандарти ISO та CALS-технології до реалій промислових потреб своєї країни.

Темпи реалізації Національної програми інформатизації України, розробки й адаптації українських стандартів, гармонізованих із міжнародними стандартами ISO, у край низькі. Необхідні інші механізми інформаційної інтеграції з промисловим міжнародним співтовариством. Особливо це важливо за міжнародної кооперації наукомісткої продукції для авіації та космосу, а також під час підготовки фахівців для цих галузей.

Українська авіакосмічна галузь переходить до проектування, виготовлення та експлуатації техніки за допомогою електронних (інформаційних і телекомунікаційних) технологій із заміною паперової конструкторської, технологічної й експлуатаційної документації електронним описом виробу. Упровадження й використання комп'ютерних технологій дає можливість приймати проектні, планові й управлінські рішення на підприємствах на рівні моделей. При цьому реальні об'єкти і процеси стають своєрідним відображенням «віртуальних» об'єктів і процесів у зовнішньому середовищі, тобто відбувається «віртуалізація» сучасного підприємства, що створює передумови організації розширених підприємств.

Основою сучасної інтеграційної економіки стає підприємство, яке не має фіксованої організаційної й територіальної структури. Розширене підприємство створюється шляхом добору необхідних людських, організаційно-методичних і технологічних ресурсів з різних підприємств та їхньої комп'ютерної інтеграції, що приводить до формування гнучкої, динамічної організаційної системи, найбільш пристосованої до якнайшвидшого випуску нової продукції та її оперативного постачання на ринок. Взаємодія реально наявних фахівців і підрозділів різних підприємств у віртуальному просторі за допомогою новітніх інформаційних та комунікаційних технологій забезпе-

чує підвищення рівня кооперації та координації партнерів і, як результат, конкурентоспроможність виробленої ними продукції.

Аналіз інформації про розробки та впровадження розширених підприємств показав [8, 18, 53, 55], що термін «розширене підприємство» розкриває організаційні, а не функціональні аспекти діяльності підприємств. Тому в подальшому будемо використовувати термін «розширене виробництво», який може відображати як рівень використання сучасних інформаційних технологій, так і динаміку розвитку самого підприємства. Розширені виробництва можуть створюватись як на базі одного розширеного підприємства, так і на базі кількох.

На думку багатьох закордонних експертів у галузі інформаційних технологій, саме розширені виробництва забезпечать у найближче десятиліття зростання міждержавної кооперації та інтеграції [3, 8, 54]. Отже, актуальними для української промисловості є розробка та впровадження методів і технологій створення розширеного виробництва.

На нашу думку, розширене виробництво (РВ) є організаційним і функціональним об'єднанням матеріальних, інформаційних, трудових та інших ресурсів підприємств (підприємства), їхніх бізнес-процесів та знань, яке забезпечує випуск продукції в єдиному інтегрованому інформаційному та інтернет-комунікаційному середовищі [129].

Уведемо таку класифікацію РВ:

- РВ першого рівня — реалізує розробку та випуск продукції за допомогою АС, які забезпечують інформаційну підтримку окремих етапів ЖЦВ та створюють «локальні» інформаційні середовища. Виробництва цього рівня функціонують на ряді підприємств України — ВАТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя), ВАТ «СМНВО ім. М. В. Фрунзе» (м. Суми), ВАТ «Кременчуцький колісний завод» (м. Кременчук) та ін.

- РВ другого рівня — реалізує розробку проектів, технічну підготовку, виробництво продукції в єдиному інформаційному та інтернет-комунікаційному середовищі й забезпечує, за рахунок своїх інтегрованих автоматизованих систем, повну інформаційну підтримку всього ЖЦВ. До другого рівня в Україні наближається підприємство АНТК ім. О. К. Антонова (м. Київ).

- РВ третього рівня — реалізує весь ЖЦВ і всі бізнес-процеси в єдиному інформаційному середовищі за допомогою екстрамереж, тобто захищеного комунікаційного каналу поверх звичайного Інтернету. При цьому єдина вузлова система, що складається зі спеціального програмного забезпечення й сервера, структурує взаємодію підрозділів РВ, що використовують екстрамережу. Наприклад, ком-

панія RedBack Networks (США) виготовляє інтелектуальні мережеві пристрої; компанія Pair Gain Technologies (США) — системи для цифрових абонентських ліній.

РВ має забезпечувати реалізацію всього виробничого циклу виробу. При цьому портфель замовлень може змінюватися в короткий термін так само, як і склад організацій, що беруть участь у його виконанні. Тому організація РВ потребує наявності спеціальної інфраструктури. Типову інфраструктуру розширеного виробництва в загальному вигляді подано на рис. 1.9.

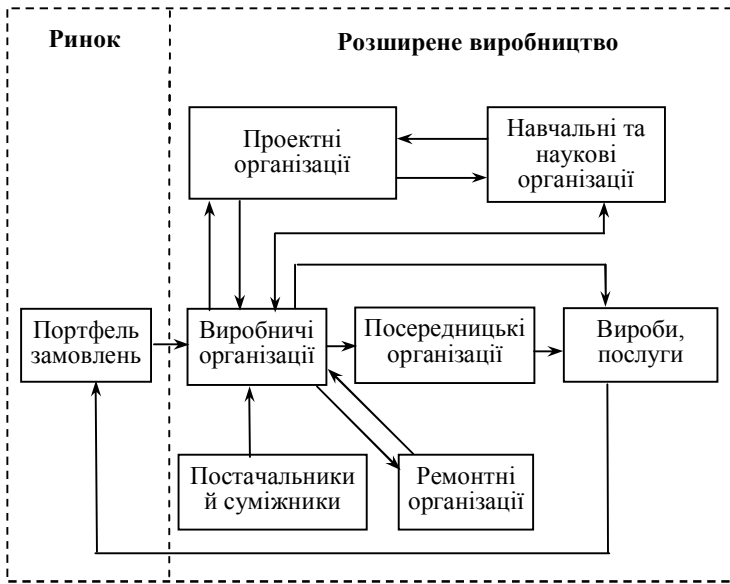


Рис. 1.9. Типова інфраструктура розширеного виробництва

Створення розширеного підприємства означає інтеграцію унікального досвіду, виробничих можливостей та передових технологій ряду підприємств-партнерів навколо проекту, який вони не можуть виконати окремо. Створення такого підприємства з неоднорідних учасників може забезпечити взаємну компенсацію їхніх недоліків і посилення переваг та об'єднати потенціал великих підприємств (могутніх, але таких, що мають велику інерційність і повільно реагують на зміни проектів чи ринку) і малих підприємств (що мають недостатньо ресурсів, але здатні швидко реагувати на зміни й перебудуватися).

За оцінками експертів, у найближчі 10 років майже 90 % бізнес-організацій в економічно розвинутих країнах будуть використовувати у своїй діяльності інтернет-технології та промислові інформаційні технології [10, 18, 54]. Отже, певною мірою вони стануть учасниками інтеграційної економіки. З іншого боку, конкуренція стане жорсткішою й вимагатиме додаткових зусиль для освоєння нових принципів виживання в інтеграційній економіці. Варто також очікувати появи нового фактора соціально-економічної нерівності: ті, хто мають кращий доступ до розширеного підприємства і краще адаптовані до його особливостей, матимуть переваги над іншими.

1.6. Проблеми впровадження автоматизованих систем у промислове виробництво України

Промисловому виробництву в Україні в даний час доступні РВ тільки 1-го і частково 2-го рівня (згідно з класифікацією в підрозд. 1.5). І це стосується насамперед підприємств, що випускають наукомістку продукцію. Стримуючих факторів багато: низька платоспроможність підприємств, доступність «піратських» копій АС, слабка вітчизняна нормативна, методична та методологічна база з інтегрованих інформаційних технологій тощо.

Для більшості українських підприємств характерним є низький рівень застосування АС і брак реального досвіду та практики використання ІС підприємств. Це призводить до типових проблем і помилок, що мають місце під час вибору АС та їх упровадження [130—133].

До таких проблем і помилок насамперед варто віднести:

- неправильну оцінку пріоритетності й важливості автоматизації та реорганізації існуючих бізнес-процесів;
- брак кваліфікованого обстеження бізнес-процесів підприємства, виявлення «вузьких» місць;
- брак базових галузевих методичних посібників і стандартів з вибору, упровадження й експлуатації АС з урахуванням таких головних критеріїв:
 - ✓ функціональність та ефективність вирішення завдань;
 - ✓ наявність і коректність реалізації стандарту ISO 10303;

- ✓ сумісність за вхідними і вихідними даними, наявність інтерфейсів із програмним забезпеченням, що використовується як усередині підприємства, так і партнерами по бізнесу;
- ✓ оцінка рівня та надійності підтримки систем;
- ✓ оцінка «достатності», тому що майже всі АС складаються з набору модулів і розглядати потрібно функції, необхідні й достатні для вирішення конкретних завдань;
- ✓ оцінка «еволюційності», тобто система повинна забезпечувати перехід з нижніх рівнів автоматизації на вищий рівень (чи мати відповідні інтерфейси).

Це далеко не повний перелік проблем. Проте з нього видно, що більшість із них пов'язана з нормативно-технічним і методичним забезпеченням.

Українським підприємствам необхідна не тільки наявність певних АС, а й методичне та інформаційне забезпечення, адаптоване до міжнародних стандартів у галузі цифрових і об'ємних моделей об'єктів виробництва, з інтеграції АС і створення на їхній основі розширених виробництв. Це саме повною мірою стосується і питань забезпечення і управління якістю продукції відповідно до стандартів ISO 9000 і т. ін.

Розв'язання зазначених проблем пов'язане з реалізацією комплексної програми забезпечення промислових підприємств нормативною та методичною базою з інформаційної взаємодії користувачів АС. Це міжгалузеве державне завдання з розробки, адаптації та впровадження відповідних стандартів і керівних матеріалів.

Нині більшість вітчизняних підприємств і організацій не усвідомлюють актуальності якнайшвидшого впровадження CALS-технологій та PLM-рішення у промислове виробництво. Сьогодні в українській промисловості інформаційні технології застосовують в основному для вирішення окремих завдань конструювання, розробки технологій підготовки виробництва, управління виробництвом. Водночас деякі провідні НДІ і підприємства впевнені, що вони давно й успішно займаються CALS-технологіями. Однак застосовувані CALS-технології не відповідають міжнародним стандартам ISO. Головна проблема полягає в недооцінці складності переходу від використання ІТ на окремих етапах життєвого циклу продукції до роботи в середовищі CALS-технологій, яке охоплює всі етапи життєвого циклу продукції.

Досвід розвинутих країн світу показує, що шлях від усвідомлення необхідності застосування CALS-технологій та PLM-рішень до одержання реальних результатів упровадження таких технологій у промисловість займає п'ять—сім років. Це дає можливість припустити,

що і в Україні процес кваліфікованого застосування промислових інформаційних технологій потребує значно більшого часу. Надмірна затримка з впровадженням CALS-технологій та PLM-рішень у промисловість України може призвести до втрати зовнішнього ринку наукомісткої продукції та до труднощів участі в ринку промислової кооперації. Тому одними з найважливіших державних завдань у науково-технічній політиці, які визначають у найближчі роки рівень економічної і національної безпеки України, мають бути:

- організація широкого комплексу НДР і ДКР з розробки і впровадження CALS-технологій, PLM-рішень та стандартів ISO;
- створення ринку продуктів і послуг у галузі CALS-технологій та PLM-рішень, що забезпечить їх ефективне застосування в різних галузях промисловості.

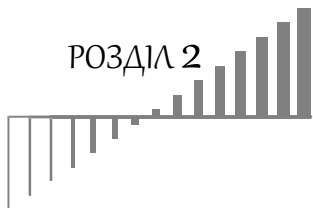
Для виключення залежності вітчизняних розробників і виробників наукомісткої продукції від західних фірм необхідно використовувати не тільки запропоновані на міжнародному ринку програмно-технічні засоби, а й створювати аналогічні власні рішення, насичуючи ними вітчизняний ринок. Зрозуміло, що вітчизняні програмно-технічні засоби мають відповідати міжнародним стандартам, для чого необхідна система їх відповідної сертифікації.

Для забезпечення ефективності впровадження і використання CALS-технологій та PLM-рішень конкурентоспроможна вітчизняна промисловість повинна мати критичну масу інженерних кадрів, що вирішують завдання проектування, створення і експлуатації техніки з масовим використанням електронних технологій. Це складний і наукомісткий процес, пов'язаний із вирішенням ряду взаємозалежних наукових, інженерних, організаційно-технічних та кадрових завдань.

На нашу думку, проблема впровадження сучасних інформаційних технологій має бути пріоритетною в державній освітній політиці.

Для розв'язання цієї проблеми необхідно:

- реалізувати державну програму реорганізації інженерної освіти на основі сучасних ІТ і забезпечити її реальне фінансування;
- здійснити перехід від локальної стратегії інформатизації інженерної освіти до стратегії заміщення традиційної освіти освітою на базі інформаційних CALS-технологій для загальнотехнічних і спеціальних дисциплін;
- забезпечити створення відповідного типового навчально-методичного та інформаційного забезпечення навчальних процесів інженерної освіти;
- забезпечити створення міжвузівського CALS-центру для підготовки й навчання викладачів вищих навчальних закладів [129, 134].



МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

2.1. Принципи побудови архітектури АСТПВ з урахуванням характеристик сучас- ного виробництва та нових інформа- ційних технологій

Як було зазначено в розд. 1, нині однією з найперспективніших методологій побудови складних інформаційних систем визнано методологію RUP (Rational Unified Process), яка підтримує ітеративний процес створення складної інформаційної системи на основі об'єктно-орієнтованого підходу з використанням діаграм UML для функціонального моделювання предметної галузі [124, 135—137].

Застосування цієї методології для побудови АСТПВ буде розглянуто в третьому та наступних розділах цієї роботи. Однак спочатку потрібно виявити принципи побудови АСТПВ, обумовлені не тільки обраною методологією, а й іншими «глобальними» факторами. На наш погляд, до таких глобальних факторів, крім методології побудови системи, варто віднести характеристики предметної галузі та інструментальні засоби, що використовуються (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Глобальні фактори, що враховуються під час створення АСТПВ

Інформаційна система за побудовою істотно залежить від характеристик того об'єкта, для автоматизації якого вона призначена. Що стосується інструментальних засобів, то цей фактор набуває істот-

ного впливу через велику розвиненість та різноманітність таких засобів стосовно предметної галузі підготовки виробництва. Ідеться про системи класів PDM/CAD/CAM/CAE, що, як було показано в підрозд. 1.3, є базовими інструментальними засобами побудови АСТПВ. Важливо підкреслити, що ці засоби одночасно є елементами PLM-рішень, які реалізують стратегії ИПИ/CALS єдиної інформаційної підтримки етапів ЖЦВ.

Отже, проєктована АСТПВ є функцією трьох глобальних факторів:

$$A = F(Q, M, S), \quad (2.1)$$

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 характеристик.

Відповідно до матеріалу, викладеного в розд. 1, конкретизуємо вектори характеристик зазначених глобальних факторів, істотних для побудови АСТПВ. При цьому матиме на увазі, що наведені в підрозд. 1.1 характеристики сучасного виробництва рівною мірою стосуються сфери ТПВ.

До таких істотних характеристик (локальних факторів чи просто факторів) предметної галузі належать такі:

1. Фактор q_1 — швидка змінюваність виробів і участь замовника у формуванні технічних вимог.

2. Фактор q_2 — проєктування й підготовка виготовлення нових виробів у середовищі розширеного підприємства.

3. Фактор q_3 — можливість швидкого передавання процесів ТПВ і процесів виготовлення виробів з одного підприємства на інше.

4. Фактор q_4 — швидка змінюваність інженерно-технічного персоналу у сфері проєктування й підготовки виробництва.

5. Фактор q_5 — системна спеціалізація підприємств під час випуску нових виробів.

6. Фактор q_6 — можливість віддаленого доступу підприємств-субпідприємств до обчислювальних ресурсів головного підприємства.

7. Фактор q_7 — можливість вилученого доступу замовника до інформаційних ресурсів реалізованого проєкту за умови захисту конфіденційної організаційної та технічної інформації.

Важливо зауважити, що ці фактори не є деякою вихідною базою даних — у цьому разі проблему автоматизації ТПВ було б уже розв'язано. Вони являють собою тенденції розвитку сучасного виробництва, які, з одного боку, обумовлені розвитком нових ІТ, а з іншого — змушують ІТ вдосконалюватися в певному напрямі. Саме

в цьому значенні ці фактори варто враховувати під час побудови АСПВ.

Відповідно до матеріалу, викладеного в підрозд. 1.3, для загальної методології побудови АСПВ як складної інформаційної системи використовуємо методологію RUP. Ще раз підкреслимо, що ця методологія, розроблена компанією Rational Software Corp., є методикою, яка підтримує ітеративний процес створення складної інформаційної системи на основі об'єктно-орієнтованого підходу, з використанням діаграм UML для візуального моделювання предметної галузі. Отже, факторами методології побудови АСПВ як складної інформаційної системи є такі:

1. Фактор m_1 — представлення статичної моделі предметної галузі ТПВ у вигляді системи класів і підкласів об'єктів цієї галузі.
2. Фактор m_2 — візуальне моделювання бізнес-процесів ТПВ у прийнятій у RUP нотатції (функціональні діаграми UML).
3. Фактор m_3 — ітеративний характер побудови АСПВ відповідно до принципів об'єктно-орієнтованого підходу.

Інструментальні засоби, що використовуються під час побудови АСПВ, визначаються, як було показано в підрозд. 1.4, PLM-рішеннями — програмними засобами підтримки стратегій CALS. Ці PLM-рішення є комплексом високорозвинених, інформаційно сумісних (інтегрованих) PDM/CAD/CAM/CAE-систем.

Аналіз можливостей існуючих PLM-рішень (незалежно від їх конкретного варіанта) дає змогу виявити такий ряд факторів, які істотно впливають на архітектуру АСПВ, що створюється.

1. Фактор s_1 — організація ІС засобами PDM-системи для забезпечення ефективної, спільної, узгодженої роботи конструкторів, технологів та інших фахівців ТПВ.

2. Фактор s_2 — центральна роль 3D-моделі створюваного виробу. Ця модель розробляється в CAD-системі та є джерелом геометричної інформації для всіх основних завдань ТПВ, таких як проектування нестандартного обладнання, технологічних процесів, КП для верстатів із ЧПК тощо.

3. Фактор s_3 — можливість віртуального моделювання технологічних процесів (засобами CAM- і CAE-систем) для контролю, а також для скорочення вартості й термінів проектування складної формуювальної оснастки.

4. Фактор s_4 — можливість формалізації й подальшого використання корпоративних знань для поліпшення якості та скорочення термінів проектування, а також для зменшення залежності служб ТПВ від невеликої кількості висококваліфікованих кадрів.

5. Фактор s_5 — відкритість архітектури PLM-рішень і наявність засобів розробки додатків, що дає можливість виконувати адаптацію систем до умов конкретного підприємства й реалізовувати ті проектні процедури ТПВ, що не підтримуються стандартними можливостями PLM-рішень.

Переходячи від факторів, важливих для побудови архітектури АСТПВ, до основних принципів побудови АСТПВ, зазначимо, що кожен із цих принципів обумовлюється сукупністю ряду факторів, що належать одночасно до Q , M і S . Причина цього полягає в тому, що зміни в сучасному виробництві одночасно є наслідком розвитку ІТ (що охоплюють як методології побудови інформаційних систем, так і набір інструментальних засобів класу PDM/CAD/CAM/CAE) і причиною, яка впливає на розвиток цих технологій. Така сама взаємозалежність спостерігається між самими методами побудови інформаційних систем і розвитком інструментальних засобів (рис. 2.2). Тому встановити чітку логічну залежність певного принципу від конкретного фактора дуже складно.

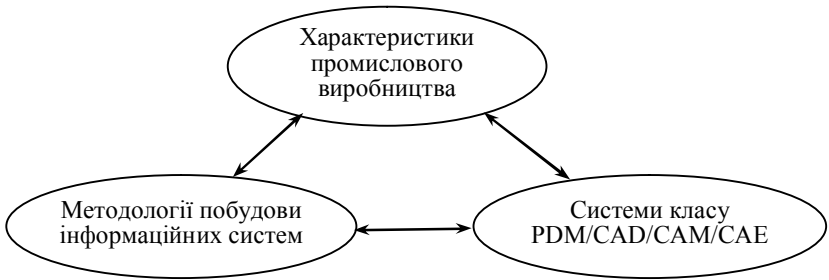


Рис. 2.2. Взаємозалежність між глобальними факторами

Проведений аналіз показує, що основними принципами побудови архітектури АСТПВ з урахуванням сучасних тенденцій розвитку промислового виробництва й нових ІТ є такі:

1. Організація роботи конструкторів, технологів та інших фахівців в інтегрованому інформаційному середовищі ТПВ. Інтегроване інформаційне середовище ТПВ реалізується засобами PDM-системи та використовує як платформу мережу АРМ, що дає змогу:

- приймати і зберігати проект виробу в електронному вигляді;
- ефективно відстежувати поточний стан ТПВ виробу;
- забезпечувати цілісність, несуперечність і брак дублювання даних;
- організовувати швидкий авторизований перегляд моделей і документів;

- забезпечувати оперативний обмін інформацією між користувачами;
- забезпечувати швидке проведення конструкторських і технологічних змін;
- автоматизувати процеси управління потоками виробничих завдань у сфері ТПВ;
- забезпечувати інформаційну узгодженість роботи всіх підсистем АСТПВ;
- підтримувати відкритість АСТПВ, зручність адаптації до змінних умов виробництва;
- забезпечувати інформаційний обмін із системами, що виконують підтримку різних етапів ЖЦВ.

ПС ТПВ містить:

- ✓ інформацію про деталі і складальні одиниці виробу;
- ✓ інформацію про технологічні процеси виготовлення виробу;
- ✓ інформацію про обладнання й засоби технологічної оснастки;
- ✓ нормативно-довідкову інформацію;
- ✓ планово-облікову інформацію.

Інтегроване інформаційне середовище є основою АСТПВ, тому що в його середовищі реалізуються як цільові, так і власні функції АСТПВ (цільові функції відповідають тим завданням, для рішення яких створюється АСТПВ, а власні функції — завданням, які мають вирішуватися в АСТПВ для забезпечення цільових функцій [138, 139]).

2. Використання об'єктно-орієнтованої моделі ТПВ. Як було показано в підрозд. 1.2, об'єктно-орієнтований підхід забезпечує гнучкість створюваної системи, зручність її модифікації та розвитку. Це, у свою чергу, сприяє урахуванню таких факторів, як швидка змінюваність виробів і можливість швидкого передавання процесів ТПВ і процесів виготовлення виробів з одного підприємства на інше. Крім цього, використання об'єктно-орієнтованої моделі прискорює сам процес створення АСТПВ завдяки ітеративному характеру процесу розробки.

3. Орієнтація на нові організаційні форми ТПВ. Варто врахувати можливість підготовки виробництва на основі сучасних форм кооперації з іншими підприємствами (у середовищі розширеного підприємства) за використання ними ПС ТПВ. Урахування нових організаційних форм ТПВ дасть можливість забезпечити ефективну взаємодію головного підприємства із замовниками, постачальниками та субпідрядниками і тим самим скоротити терміни випуску нового виробу.

4. Урахування центральної ролі 3D-моделі виробу. Як зазначалося вище, тривимірна комп'ютерна модель виробу є джерелом інформації для вирішення всіх основних проектних завдань ТПВ. Урахування центральної ролі 3D-моделі виробу дає змогу правильно

побудувати об'єктно-орієнтовану модель предметної галузі та як найкраще організувати бізнес-процеси ТПВ у середовищі як звичайного, так і розширеного підприємства.

5. Використання PLM-рішень як інструментальних засобів.

На відміну від періоду створення перших АСТПВ, нині немає потреби програмувати всю систему «з нуля», використовуючи лише такі інструментальні засоби, як високорівневі мови програмування й СУБД. PLM-рішення на базі PDM/CAD/CAM/CAE-систем надають могутній набір засобів для організації ІС, управління процесами ТПВ, автоматизації конструкторсько-технологічного проектування, інженерного аналізу й моделювання технологічних процесів, розробки КІ для верстатів із ЧПК. Використання PLM-рішень багато в чому зводить завдання побудови АСТПВ до правильного вибору й конфігурування інструментальних засобів, їх адаптації до умов конкретного підприємства, налагодження баз даних і баз знань, розробки необхідних додатків, визначення кількості та видів АРМ, організації бізнес-процесів ТПВ із використанням механізмів управління потоками виробничих завдань (Workflow).

Конкретні методи й форми врахування зазначених вище принципів розглядаються в наступних розділах цієї роботи.

2.2. Організаційні аспекти створення АСТПВ

з урахуванням використання методів реінжинірингу та об'єктно-орієнтованого підходу

Завдання створення АСТПВ за рівнем складності належить до категорії трудомістких проектів, де поняття «проект» розуміють у широкому значенні як деякий вид цілеспрямованої діяльності. Відповідно до визначення, наведеного в [33], проект — це «обмежена в часі, цілеспрямована зміна окремої системи із заздалегідь чітко визначеними цілями, досягнення яких визначає завершення проекту, із установленими вимогами до термінів, якості результатів, ризику, установленими рамками витрат засобів, ресурсів і конкретних форм організації». У контексті розгляду АСТПВ як інформаційної системи підтримки нових бізнес-процесів ТПВ створення АСТПВ можна віднести до інноваційних проектів [73, 74].

Обґрунтовуючи методологію побудови АСТПВ, необхідно проаналізувати організаційні аспекти дослідження. Нині на більшості

вітчизняних підприємств усвідомлюють необхідність реорганізації ТПВ, зокрема важливість упровадження нових інформаційних технологій і створення АСТПВ. На багатьох з них істотно підвищений рівень комплексного вирішення проектних завдань. Інформація про розроблений виріб приймається в електронному вигляді і є вихідними даними для розгортання процесів ТПВ. Автоматизовано вирішення комплексу завдань з проектування і виготовлення оснастки виконується комп'ютерним моделюванням технологічних процесів лиття з пластмас, штампування, обробки на верстатах із ЧПК тощо. Деякі підприємства близькі до вирішення завдань комплексної автоматизації процесів ТПВ, тобто до проблеми побудови АСТПВ. На жаль, лише в окремих випадках створення АСТПВ розглядається в контексті методології реінжинірингу як побудова інформаційної системи підтримки нових бізнес-процесів ТПВ підприємства.

Успіх проекту зі створення АСТПВ багато в чому визначається позицією, яку займає керівництво підприємства щодо проведення інноваційної діяльності. Вище зазначалося, що процес створення АСТПВ не може бути відірваний від інших заходів із технічного переозброєння виробництва (що відповідає принципам реінжинірингу). Тому керівництво підприємства має бути готовим до витрат на придбання сучасного устаткування з ЧПК, контрольно-вимірювальних машин, нових термопластавтоматів, установок для швидкого прототипування виробів (Rapid Prototyping), до витрат на освоєння і впровадження сучасних вискоєфективних технологій. Важливою є готовність керівництва до перебудови роботи підрозділів підприємства згідно з організаційними принципами реінжинірингу. На відміну від промисловості західних країн, керівництво вітчизняних машинобудівних підприємств далеко не завжди розуміє зазначені проблеми, тому одне з найважливіших завдань керівника проекту полягає в тому, щоб досягнути необхідного ступеня розуміння й підтримки.

Нині однією з найскладніших проблем вітчизняного машинобудування є порушення спадковості поколінь інженерного персоналу, нестача кваліфікованих фахівців (конструкторів, технологів, системних аналітиків, прикладних програмістів та ін.), присутність яких необхідна для успішної реалізації проекту створення АСТПВ. У зв'язку з цим реалізація проекту має виконуватися за участю спеціалізованих сторонніх організацій.

Розглянемо детальніше склад учасників проекту зі створення АСТПВ, включаючи як задіяні в проекті підрозділи служб підприємства, так і сторонні інжинірингові фірми. З боку підприємства участь у проекті беруть дві групи фахівців:

1. Фахівці, що займаються специфікою предметної галузі ТПВ та є потенційними користувачами АСТПВ.

2. Фахівці, що володіють питаннями створення, підтримки й експлуатації складних інформаційних систем.

Найбільший обсяг робіт і загальне управління процесами ТПВ на підприємстві покладається, як правило, на відділ головного технолога (ВГТ), тому склад першої групи фахівців зазвичай комплектується з найбільш кваліфікованих співробітників ВГТ. Друга група фахівців комплектується зі співробітників відділу ІТ чи іншого підрозділу (наприклад, інжинірингового центру), у веденні якого перебувають зазначені вище питання.

До сторонніх організацій (інжинірингових фірм), що беруть участь у проекті зі створення АСТПВ, належать:

1. Фірми — постачальники CAD/CAM, CAE і PDM-систем (які здійснюють не тільки постачання, а й навчання та супровід).

2. Фірми, що спеціалізуються в галузі проведення реінжинірингу бізнес-процесів і методологій, які забезпечують підтримку, реінжиніринг, у тому числі постачання засобів моделювання бізнес-процесів.

3. Інжинірингові фірми, що виконують різні види робіт у галузі проектування й підготовки виробництва (наприклад, геометричне моделювання складних виробів, віртуальне моделювання та аналіз технологічних процесів формоутворення, розробка КП для багатокоординатного устаткування з ЧПК тощо).

Однак розгляд складу учасників проекту на рівні переліку задіяних підрозділів, підприємства і сторонніх фірм є недостатнім, тому що не дає змоги говорити про організацію управління проектом. Як показано в [122], для здійснення складних проектів, пов'язаних з реінжинірингом бізнес-процесів, необхідним є такий склад учасників:

- *лідер проекту* — член керівництва підприємства, який очолює організацію і проведення робіт, пов'язаних із проектом;

- *власники процесів* — менеджери (керівники підрозділів), які відповідають за бізнес-процеси, що оновлюються;

- *керівний комітет* — комітет, утворений із представників керівництва підприємства з метою визначення загальної стратегії та контролю виконання робіт згідно з проектом;

- *менеджер проекту* — провідний спеціаліст підприємства, який відповідає за підтримку методик та інструментаріїв реалізації проекту й виконує оперативне управління проектом;

- *команда проекту* — група фахівців (співробітники підприємства, а також сторонні експерти й розробники), що беруть участь у реалізації проекту.

Лідер проекту призначає власників процесів і ресурсів, що залучають команду проекту для автоматизації цих процесів. Розробка здійснюється за участю менеджера проекту і під контролем керівного комітету. Комітет очолює лідер проекту. Структуру управління подано на рис. 2.3.

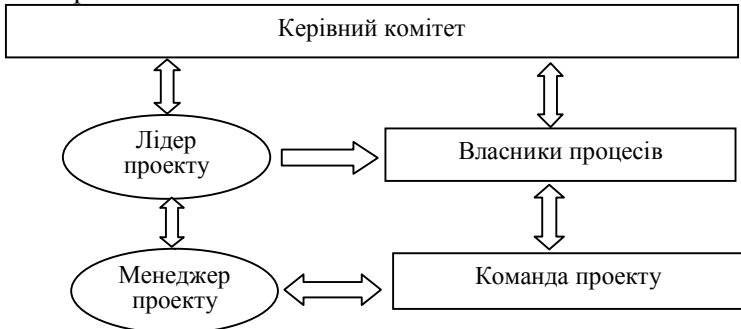


Рис. 2.3. Структура управління проектами, які пов'язані з проведенням реінжинірингу

Розглянемо, як ця рольова структура відображається на складі учасників проекту зі створення АСТПВ. Лідером проекту може бути, наприклад, головний інженер, його заступник, головний технолог — це залежить від особистих якостей, рівня повноважень, взаємин з керівником підприємства, ступеня підготовленості до ведення інноваційних проектів. У будь-якому разі це має бути співробітник підприємства, який особисто відповідає перед керівником за здійснення проекту. Ступінь реальної участі лідера в управлінні проектом залежить від складу й розподілу ролей у керівному комітеті. Як зазначено в [122], до складу керівного комітету можуть входити власники основних процесів, менеджер проекту, основні працівники команди проекту. Завдання комітету полягає не в здійсненні оперативного управління проектом, а у виробленні стратегії та контролю за ходом робіт.

Менеджером проекту може бути керівник (провідний спеціаліст) інжинірингового центру чи відділу ІТ. Однак, з урахуванням існуючих на вітчизняних машинобудівних підприємствах кадрових проблем, рівень підготовки менеджера проекту може виявитися недостатнім для управління командою проекту. У цьому разі доцільно ввести у структуру додаткову роль *Консультанта проекту*, запро-

шеного зі сторонньої інжинірингової фірми. Цей консультант повинен урахувати недоліки підготовки менеджера проекту, здійснювати методичне керівництво й навчання в процесі реалізації проекту.

Власниками процесів ТПВ можуть виступати керівники чи провідні спеціалісти технологічних бюро, КБ оснастки, бюро ЧПК та ін. До складу команди проекту входять співробітники відділу ІТ і фахівці сторонніх організацій (інжинірингових фірм), що беруть участь у реалізації проекту. Ці фахівці здійснюють постачання САД/САМ, САЕ і РДМ-систем, засобів візуального моделювання бізнес-процесів, виконують навчання й супровід. Побудова моделей бізнес-процесів, розробка структури та створення єдиної бази даних виконуються в команді проекту співробітниками відділу ІТ і фахівцями інжинірингових фірм.

У зв'язку з цим важливою є класифікація діяльності інжинірингових фірм, яка б дала змогу підприємству оперативно оцінити рівень запропонованих послуг і зробити на підставі такої оцінки вибір на користь певної фірми. На рис. 2.4 запропоновано схему такої класифікації.

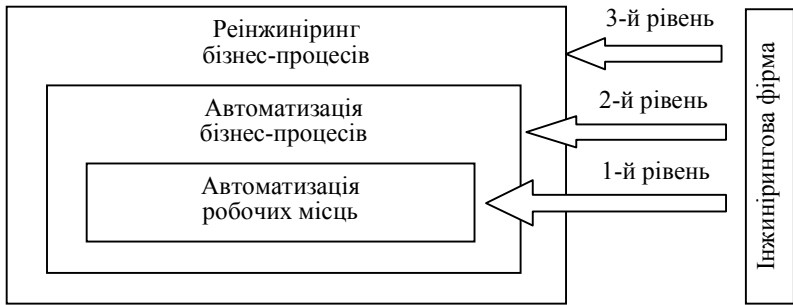


Рис. 2.4. Рівні послуг, які пропонуються інжиніринговими фірмами

Автоматизація робочих місць охоплює постачання САД/САМ і САЕ-систем з відповідним навчанням і супроводом. Крім цього, на етапі дослідної експлуатації систем інжинірингова фірма може виконувати вирішення окремих завдань ТПВ (геометричне моделювання складних виробів, віртуальне моделювання та аналіз технологічних процесів формоутворення, розробка КП для багатокоординатних верстатів із ЧПК тощо).

Постачання РДМ-системи безпосередньо пов'язане з автоматизацією бізнес-процесів і належить до сервісних робіт другого рівня. Як було зазначено вище, упровадження РДМ-системи вимагає розробки структури ІС ТПВ, створення єдиної бази даних, розробки

додатків засобами API, побудови графіків Workflow. Тому якщо інжинірингова фірма здійснює постачання PDM-системи, то вона повинна вирішувати ці питання тією мірою, якою це потрібно підприємству-замовнику.

Важливо зауважити, що завдання вибору конкретних CAD/CAM, CAE і PDM-систем не є частиною робіт, пов'язаних із постачанням, а належить до елементів реінжинірингу бізнес-процесів ТПВ. Справді, для того щоб виставити вимоги до зазначених базових систем, визначити кількість і склад робочих місць, необхідно мати моделі нових бізнес-процесів, побудова яких є завданням реінжинірингу. Для того щоб брати участь у вирішенні цього завдання, інжинірингова фірма не повинна обмежуватися постачанням окремих систем, а щонайменше володіти інформацією про можливості конкуруючих програмних продуктів. Оскільки інжинірингові фірми зазвичай є постачальниками конкретних систем, то завдання вибору базових засобів АСТПВ в основному покладається на підприємство.

Правильний вибір базових систем є досить складним завданням. У цьому питанні варто посперечатися на досвід інших підприємств, на самостійні напрацювання й на різні аналітичні дані. Так, у світі існують організації, що вважаються незалежними експертами з проблем CAD/CAM, CAE і PDM. До них належать CIMdata, Daratech, Gartner-Group, Dataquest та ін. Ці організації займаються аналізом і вивченням тенденцій розвитку CAD/CAM, CAE і PDM-систем, розробкою рекомендацій за їх вибором. У регулярних звітах публікується рейтинг провідних систем і рекомендується, в якій галузі їх найефективніше застосовувати. При цьому використовують різні джерела даних і методи збирання інформації — опитування користувачів, публікації, прес-релізи фірм-розробників.

Однак, незважаючи на існуючу в розпорядженні аналітичну інформацію, процес вибору конкретних базових систем вимагає, як правило, проведення додаткового комплексу робіт, у якому беруть участь провідні спеціалісти різного профілю. Це обґрунтовано, тому що придбання систем спричиняє зміни в організаційних структурах, у структурі персоналу та у загальній культурі підприємства [133].

На великих підприємствах може бути створено спеціальну комісію, до якої входять фахівці всіх заінтересованих служб. До завдань комісії належать розробка критеріїв вибору системи, оцінка різних систем і постачальників, розробка планів освоєння і впровадження системи, передбачається період дослідно-промислової експлуатації [140].

Під час планування етапів впровадження CAD/CAM-системи та оцінки її ефективності підприємство має враховувати залежність

продуктивності роботи з CAD/CAM-системою від етапів її освоєння, подану на рис. 2.5.

Інжинірингова фірма на третьому рівні сервісу може брати також участь у побудові моделей бізнес-процесів ТПВ за допомогою діаграм UML чи в постачанні засобів моделювання (системи Rational Rose) і навчанні фахівців підприємства роботі з нею на прикладах складання діаграм конкретних бізнес-процесів. Однак ці роботи забезпечують лише інформаційно-методологічну підтримку реінжинірингу ТПВ і не стосуються складніших проблем, пов'язаних з організаційною перебудовою служб підприємства, оптимізацією бізнес-процесів, упровадженням нових технологій тощо.

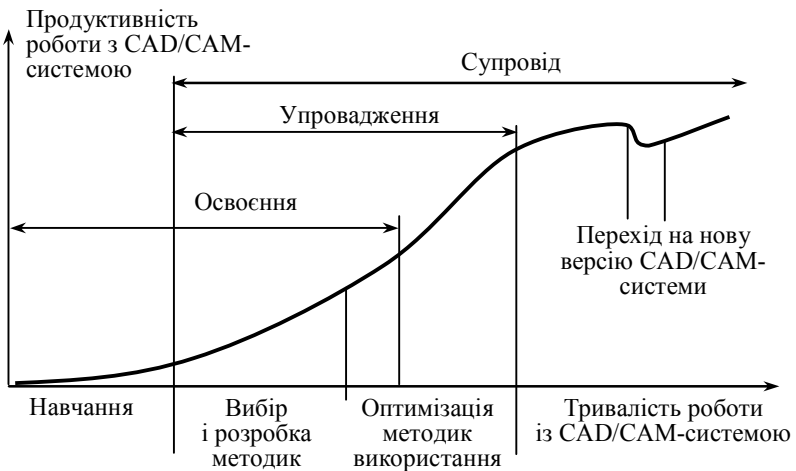


Рис. 2.5. Етапи та ефективність використання CAD/CAM-системи

Отже, успішна реалізація проектів створення АСТПВ на підприємствах вітчизняного машинобудування можлива тільки за виконання таких умов:

1. Визначення лідера проекту і створення організаційної структури управління проектом (див. рис. 2.3).

2. Залучення сторонніх інжинірингових фірм для участі в проекті та оптимальний розподіл ролей між фахівцями підприємства й фахівцями інжинірингових фірм.

Зрозуміло, що ці умови належать до категорії необхідних, але не достатніх. Не менш важливими є такі загальні умови, як правильна постановка цілей проекту, наявність належного фінансування, високий кваліфікаційний рівень учасників проекту тощо. На початково-

му етапі реалізації проекту підприємство має провести якнай докладніший аналіз своїх можливостей і сформулювати відповідно до них мету проекту.

Як зазначалося вище, під час розробки та впровадження проектів АСТПВ вітчизняним машинобудівним підприємствам потрібен досить широкий спектр послуг інжинірингових фірм. При цьому підприємство зацікавлене в тому, щоб здійснювати контакт із якнай меншою кількістю таких фірм, тому що в цьому разі полегшується управління проектом. Отже, при виборі підприємством співвиконавців проекту переваги будуть надаватися тим інжиніринговим фірмам, які мають найбільший перелік послуг.

Класифікація діяльності інжинірингових фірм, яку було наведено на рис. 2.4, побудована на розподілі завдань за рівнями складності, які вирішуються під час створення АСТПВ. Також є корисною інша класифікація, яка ілюструє види підтримки проектів створення АСТПВ (рис. 2.6).

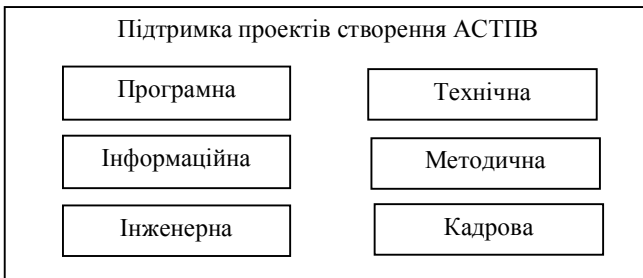


Рис. 2.6. Класифікація діяльності за видами підтримки проекту

Програмна підтримка охоплює постачання CAD/CAM, CAE і PDM-систем, розробку додатків, створення баз даних тощо. Сюди ж належить постачання засобів візуального моделювання бізнес-процесів ТПВ.

Технічна підтримка охоплює постачання засобів, що утворюють технічну платформу АСТПВ (сервери, комп'ютери АРМ, засоби обчислювальних мереж). Ця підтримка може вирішуватися інжиніринговою фірмою завдяки встановленню партнерських взаємин із фірмами — постачальниками комп'ютерної техніки.

Інформаційна підтримка забезпечує підприємство інформацією, необхідною для прийняття організаційно-технічних рішень проекту (порівняльні характеристики різних систем, інформація про хід проектів АСТПВ на інших підприємствах тощо).

Методична підтримка охоплює передавання підприємству різних методичних матеріалів з реалізації проекту (наприклад, методику використання мови UML для моделювання бізнесів-процесів, методики вирішення різних завдань ТПВ за допомогою САД/CAM і САЕ-систем, методику побудови єдиної бази даних ТПВ) та проведення відповідного навчання.

Інженерна підтримка допомагає підприємству оперативніше виконувати впровадження компонентів АСТПВ за рахунок безпосереднього вирішення інжиніринговою фірмою окремих завдань ТПВ за допомогою програмних систем, що поставляються (наприклад, проектування конкретної прес-форми в САД/CAM-системі, моделювання процесу гарячого штампування заданої деталі в САЕ-системі).

Кадрова підтримка допомагає підприємству у вирішенні питань з підготовки фахівців, необхідних для участі в проєкті АСТПВ. Таку допомогу може надавати інжинірингова фірма, зокрема завдяки тісному контакту (партнерським відносинам) з кафедрами вищих навчальних закладів, які забезпечують підготовку студентів за потрібними спеціальностями.

У своїй діяльності інжиніринговий центр повинен проводити технічну політику, спрямовану на впровадження найсучасніших рішень. З урахуванням проведення реінжинірингу впровадженням PLM-рішень на машинобудівному підприємстві передбачається виконання таких дій:

- проведення реінжинірингу бізнес-процесів ТПВ на підприємстві з використанням методів візуального моделювання;
- оптимальний вибір і конфігурування програмних засобів САД/CAM/САЕ для автоматизації проєктних конструкторських і технологічних процедур, їх упровадження, навчання фахівців;
- вибір PDM-системи і створення на підприємстві групи фахівців для налагодження системи на умови підприємства, навчання фахівців;
- побудова ІС засобами PDM-системи для організації колективної узгодженої роботи фахівців і управління бізнес-процесами ТПВ;
- упровадження нових методів роботи фахівців у ІС підприємства [133, 141].

Певні з цих дій можуть виконуватися паралельно в часі, як це показано на рис. 2.7.

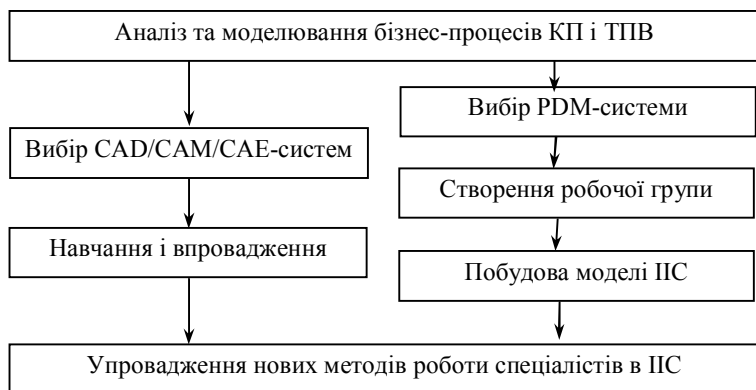


Рис. 2.7. Паралельні процеси при впровадженні PLM-рішень

При виборі CAD/CAM/CAE/PDM-систем для автоматизації підприємств інжинірингова фірма має керуватися такими правилами:

1. Варто використовувати найсучасніші рішення, перевірені світовою й вітчизняною практикою.

2. Варто використовувати, по можливості, мінімальну кількість різних найменувань систем, урахувавши при цьому необхідну функціональність і вартість кожної системи.

3. Варто забезпечити, по можливості, максимально повну автоматизацію робочих місць, виключивши виконання проектних процедур «ручним» методом.

4. Варто забезпечити необхідну інформаційну інтеграцію всіх фахівців конструкторських і технологічних служб підприємства.

5. На корпоративному рівні варто використовувати PLM-рішення провідних світових розробників, що забезпечить надалі максимально повну інформаційну інтеграцію підприємства із замовниками й субпідрядниками.

Брак ІС і використання 3D-моделей за великої кількості різних CAD/CAM/CAE-систем на підприємстві (рис. 2.8) призводить до втрати асоціативності між різними етапами ТПВ, що, у свою чергу, зменшує загальну продуктивність, збільшує кількість помилок, терміни проходження змін.

За наявності асоціативності між етапами ТПВ (рис. 2.9) досягаються прискорене проходження змін, скорочення помилок у документах, розроблених на основі 3D-моделей, прискорення всього процесу розробки за рахунок інформаційної інтеграції всіх учасників процесу й розпаралелювання робіт.

Крім використання асоціативності робота в ІС вимагає створення відповідної комунікаційної інфраструктури: організації обчислю-

вальних мереж, підготовки обслуговуючого персоналу та навчання фахівців колективної паралельної роботи.

Варто мати на увазі, що порівняно з 2D і 3D CAD-системами PLM-рішення забезпечують максимальну продуктивність, однак вимагають при цьому значних тимчасових витрат на їх освоєння (рис. 2.10) [142]. Тому під час проведення робіт з комплексної комп'ютеризації процесів ТПВ доцільна реалізація графіка, який установлює поетапне (послідовне) досягнення підприємством базового й розширеного рівнів автоматизації.

Метою базового рівня автоматизації є:

- вирішення широкого спектра першочергових завдань, які потребують порівняно невеликої задіяності інженерного персоналу на освоєння нових методів;
- одержання швидкого економічного ефекту від упровадження.

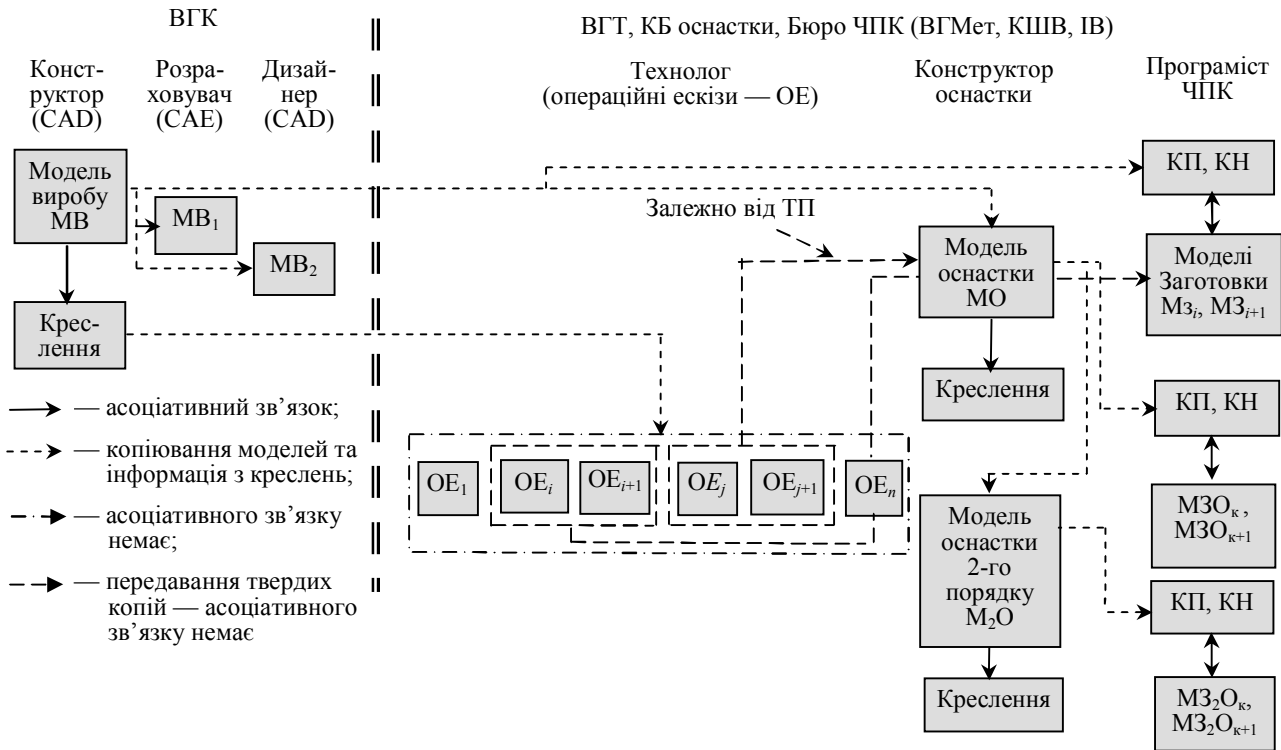


Рис. 2.8. Використання 3D-моделей за відсутності асоціативного проектування в ТПВ:

ВГК — відділ головного конструктора; ВГТ — відділ головного технолога; ВГМет — відділ головного металурга; КШВ — кувалдно-штампувальне виробництво; ІВ — інструментальне виробництво; КП — керуючі програми; КН — карти налагодження; МЗ — модель заготовки

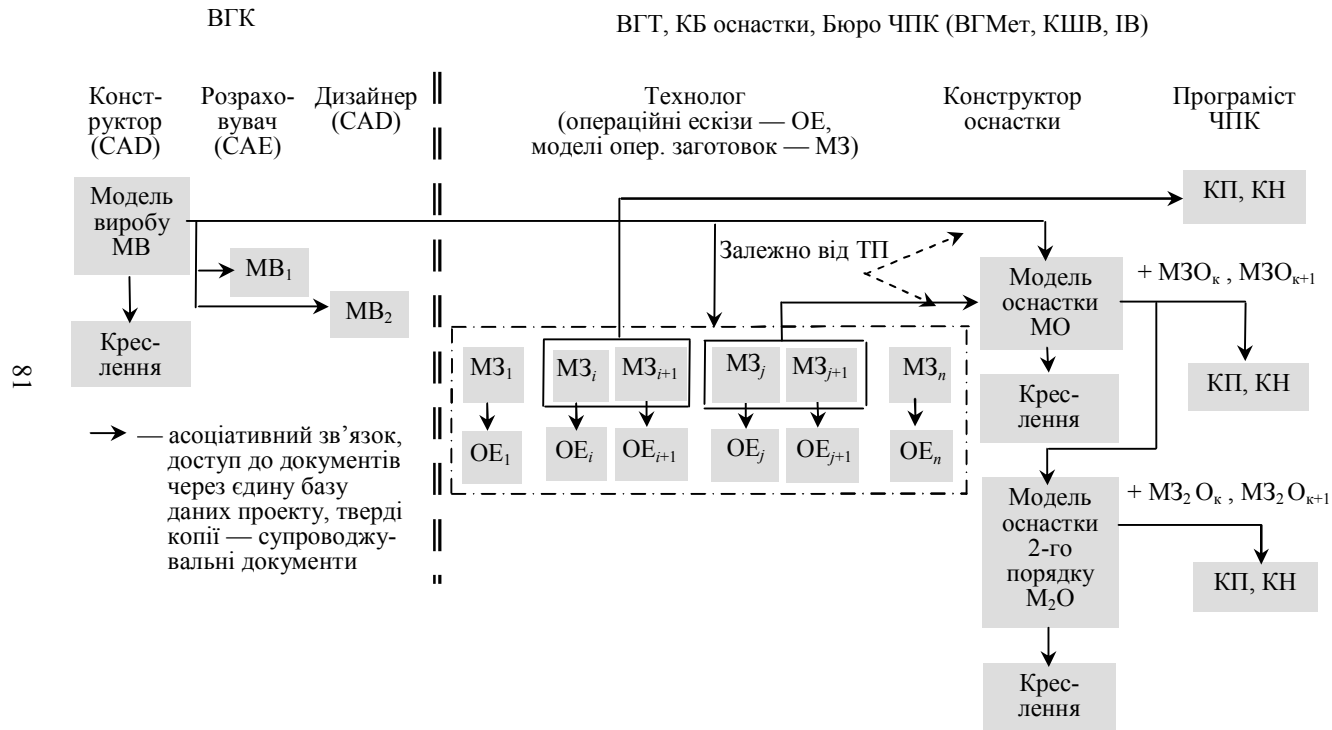


Рис. 2.9. Використання 3D-моделей при асоціативному проектуванні в ТПВ

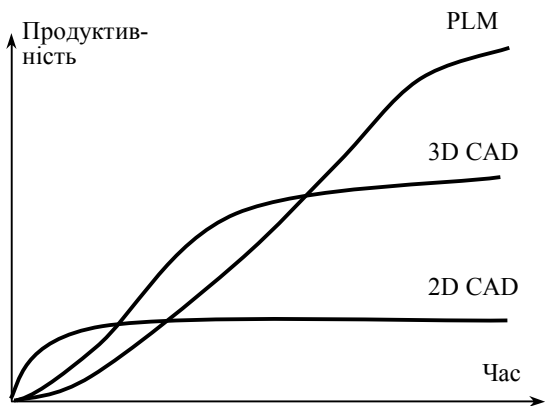


Рис. 2.10. Ефективність різних видів автоматизації

Метою розширеного рівня автоматизації є:

- ✓ перехід на найвищий рівень автоматизації проектування основних виробів, що відповідає світовому рівню;
- ✓ досягнення комплексності та інформаційна інтеграція робочих місць у ІС;
- ✓ автоматизоване управління потоками виробничих завдань у сфері ТПВ.

До завдань базового рівня автоматизації належать:

- проектування всіх видів виробів з використанням методів 3D-моделювання й формування креслярсько-конструкторської документації;
- проектування технологічних процесів із формуванням необхідної технологічної документації;
- проектування формоутворювальної оснастки та інтегроване формування КП для обробки формоутворювальних елементів на верстатах із ЧПК;
- вирішення окремих, найактуальніших завдань інженерного аналізу;
- розробка КП для обробки деталей на верстатах із ЧПК.

До завдань розширеного рівня автоматизації належать:

- проектування основних виробів з формуванням і використанням цифрового макета виробу (DMU — Digital Mock Up);
- 3D-проектування комунікаційних підсистем основних виробів (трубопроводи, кабелепроводи, електроджгути тощо);
- використання корпоративних знань під час проектування виробів (за умов їх можливої формалізації);
- вирішення широкого спектра завдань інженерного аналізу проєктованих виробів і технологічних процесів;
- побудова ІС засобами PDM-системи;

- організація спільної узгодженої роботи фахівців служб ТПВ у ІС;
- організація управління потоками виробничих завдань за допомогою засобів Workflow PDM-системи;
- організація інтерфейсу між PDM-системою і ERP-системою, яка використовується на підприємстві.

Вирішення завдань базового й розширеного рівнів автоматизації не має бути чітко послідовним. Так, реалізація пілотного проекту з впровадження PDM-системи в одному з підрозділів підприємства може бути розпочата ще до завершення робіт базового рівня. Конкретні тимчасові межі кожного етапу робіт на базовому й розширеному рівнях мають визначатися відповідним графіком, складеним з урахуванням специфіки конкретного підприємства й наявного фінансування.

Важливу роль під час проведення комплексної автоматизації процесів ТПВ відіграє управління персоналом підприємства. Під персоналом у цьому разі розуміють фахівців — користувачів впроваджуваних CAD/CAM/CAE/PDM-систем. Крім навчання і супроводу з боку постачальників цих систем необхідні план впровадження і твердий контроль за його виконанням з боку керівників підприємства. Кожен користувач повинен мати протягом робочого дня фіксований мінімальний часовий інтервал (наприклад, дві години) для освоєння нових засобів з гарантією того, що це освоєння не буде перериватися поточними виробничими завданнями. Крім цього, кожен користувач повинен бачити свою перспективу в нових умовах і бути заінтересованим у загальному успіху проекту автоматизації підприємства.

2.3. Методи моделювання процесів управління технологічною підготовкою розширених виробництв

2.3.1. Методологія побудови імітаційних моделей ТПВ

Автоматизовані системи промислових підприємств управляють сотнями різноманітних станків і персональних комп'ютерів, об'єднаних в електронні мережі різного рівня для створення ІС, і є сукупністю програмних та апаратних засобів, які виконують функції збирання та обробки інформації, оптимального планування й формування сигналів управління.

Інформація про технологічний процес та його характеристики, отримані за допомогою моделювання, важлива з погляду аналізу основних властивостей процесу. Тому методи моделювання є досить потужним засобом дослідження процесів.

Під час дослідження складних процесів, до яких належить також і ТПВ, найважливішими завданнями є завдання аналізу та синтезу, які полягають у виборі структури і значень параметрів, що обумовлюються заданими властивостями досліджуваних процесів.

Під час вирішення завдань, пов'язаних із дослідженням процесів ТПВ та побудовою ефективних методів автоматизованого управління цими процесами, завдання синтезу та аналізу тісно переплітаються й визначаються загальним задумом досліджень, який може бути спрямований, наприклад, на досягнення гнучкості в роботі виробництва як одного з необхідних заходів щодо збереження конкурентоспроможності в умовах постійних змін на ринках збуту.

У теорії проектування сучасних інформаційних систем виокремлюють два основні підходи — структурний та процесний [143]. Перший ґрунтується на використанні організаційної структури підприємства. Проектування інформаційної системи відбувається за структурними підрозділами. Технології діяльності всього підприємства в цьому разі формалізуються та описуються через технології роботи його відділів [143]. Головним недоліком цього підходу є прив'язка до організаційної структури, яка досить часто змінюється. Тому і в проект інформаційної системи також доводиться вносити зміни.

За використання процесного підходу підприємство розглядається як сукупність взаємозв'язаних і взаємозалежних бізнес-процесів [144, 145]. Процеси ТПВ, на відміну від організаційної структури ВГТ та інших структурних підрозділів підприємств, змінюються досить рідко.

Тому для досягнення гнучкості побудова АСТПВ має здійснюватися за принципом процесного підходу [146]. Відповідно до нього технологічні процеси розглядаються як сукупність взаємозв'язаних процесів, а кожен процес — як сукупність цілеспрямованих операцій, що перетворюють «входи» процесу у «виходи», мають своїх «постачальників» і «споживачів». Процесний підхід дає змогу:

- виявити та ідентифікувати існуючі процеси;
- проаналізувати і, у разі потреби, спроектувати нові або перепроектувати існуючі процеси;
- установити чітку відповідальність за процеси (а не за функції та елементи);
- організувати ресурсне забезпечення процесів, визначити зовнішніх і внутрішніх постачальників та споживачів;

- визначити критерії ефективності виконання процесів, побудову системи вимірювання та аналізу параметрів процесів [144].

Процесний підхід до аналізу, моделювання бізнес-процесів та подальшої побудови АСТПВ дає змогу оперативно змінювати й розробляти відповідні програмні модулі, модернізувати автоматизовані системи в процесі їх промислової експлуатації. Тому на перше місце в процесі побудови технології підготовки виробництв та АСТПВ виходить коректна побудова моделей бізнес-процесів, що дає можливість провести аналіз та синтезувати ефективні методи автоматизованого управління. Моделі можуть розрізнятися за ступенем деталізації процесів, за формою їх подання, ураховувати лише статичні або динамічні фактори тощо. Треба зазначити, що всі відомі підходи до моделювання виробничих процесів належать до сімейства методів моделювання складних інформаційних систем [115, 147]. Основою побудови АСТПВ, як правило, є формалізовані моделі виробництва, які дозволяють зробити аналіз та синтезувати оптимальні, з погляду продуктивності, системи управління як виробництвом у цілому, так і ТПВ.

Модель ТПВ у загальному випадку може бути представлена сукупністю функціональної, організаційної та інформаційної моделей [148, 149].

Функціональна модель описує сукупність функціональних підсистем та зв'язків, що регламентують порядок взаємодії підсистем під час функціонування підрозділів, які реалізують функції ТПВ. З погляду методології моделювання складних інформаційних систем за допомогою мови візуального моделювання UML функціональна модель може бути описана сукупністю діаграм прецедентів, діаграм діяльності та діаграм послідовності.

Організаційна модель описує склад і структуру підрозділів та служб компанії. Для опису організаційної моделі використовують діаграми класів.

Інформаційна модель описує потоки інформації, які існують у функціональній та організаційній моделях, представляється діаграмами станів і кооперації. Варто зазначити, що відповідно до методології RUP тільки наявність усіх зазначених діаграм дає змогу цілком описати складне інформаційне середовище з погляду функціонування, організаційної структури та інформаційних потоків.

Розглянемо деякі фундаментальні поняття, необхідні для подальшого опису методів моделювання процесів управління ТПВ.

У методології RUP/UML **функція (або прецедент)** є одним з основних елементів діаграми прецедентів і визначає дії, які має виконати система під час взаємодії з відповідною зовнішньою сутністю системи (програма, інша система тощо) [113, 135].

Друге фундаментальне поняття — *модель*. Як відомо, слово «модель» походить від латинського *modus* — образ. *Модель є образом реального об'єкта (оригіналу), який створено за допомогою певного набору засобів*. У нашому випадку набором засобів для створення *образів* — *моделей* реальних систем та процесів є згадана вище графічна мова UML.

Оскільки надалі йтиметься про моделі, створені в обчислювальному середовищі, то можна стверджувати, що модель є відображенням об'єкта реального світу в інформаційний світ. У цьому розумінні модель є інформаційним об'єктом.

Модель та оригінал пов'язані між собою деякими умовами відповідності. Виконання зазначених умов — це *адекватність* моделі оригіналу. Можна стверджувати, що модель та оригінал перебувають між собою у відношенні гомоморфізму. Це означає, що все, що є в моделі, неодмінно є і в оригіналі. Зворотнє твердження помилкове: не всі властивості та елементи оригіналу знаходять віддзеркалення в моделі. Тепер можна сформулювати визначення функціональної моделі.

Функціональна модель — це образ реальної системи (оригіналу), описаний графічною мовою і такою, що відображає функції, які виконує система та відносини (зв'язки) між ними.

Методологія RUP/UML призначена для функціонального моделювання з урахуванням інформаційних потоків та організаційної структури виробництва, тобто для моделювання виконання функцій об'єкта, шляхом створення описової графічної моделі, яка показує всі процеси, що відбуваються в межах функціонування підприємства. Функціональна модель є структурованим зображенням функцій виробничої системи або середовища, інформації та об'єктів, що зв'язують ці функції. Методологію RUP/UML як основу візуального моделювання предметної галузі бізнес-процесів ТПВ буде докладно розглянуто в розд. 4.

Розглянемо класифікацію функцій процесів ТПВ.

Основою для всіх методів моделювання бізнес-процесів та методів автоматизованого управління ними є створення типових рішень, які могли б використовуватися різними організаціями. Для створення типових моделей запропоновано класифікацію функцій, орієнтовану на досить широке коло організаційно-економічних і виробничо-технічних систем. Класифікація поділяє всі функції таких систем на чотири основні типи.

1. Діяльність (синоніми — *справа, бізнес*) — сукупність процесів, які виконуються (відбуваються) послідовно та (або) паралельно й перетворюють множину матеріальних та (або) інформаційних потоків у множину матеріальних та (або) інформаційних потоків з іншими властивостями. Діяльність здійснюється відповідно до зазда-

легідь визначеної й постійно коригованої мети, з використанням фінансових, енергетичних, трудових і матеріальних ресурсів за виконання обмежень з боку зовнішнього середовища.

Моделювання великих, багатопрофільних структур (організацій, підприємств, технологічних процесів тощо) за своїм статусом охоплює різні види діяльності, останні є представниками класу «діяльність». Загальна модель такої складної структури може складатися з ряду часткових моделей, кожна з яких стосується конкретного виду діяльності.

2. Процес (синонім — *бізнес-процес*) — сукупність операцій, які виконуються послідовно та (або) паралельно й перетворюють матеріальний та (або) інформаційний потік у відповідні потоки з іншими властивостями. Процес відбувається відповідно до директив управління, які формуються на основі цілей діяльності. Під час процесу використовують фінансові, енергетичні трудові та матеріальні ресурси, ураховують обмеження з боку інших процесів та зовнішнього середовища.

3. Операція — сукупність дій, які виконуються послідовно та (або) паралельно й перетворюють об'єкти, що входять до складу матеріального та (або) інформаційного потоку, у відповідні об'єкти з іншими властивостями.

4. Дія — перетворення будь-якої властивості матеріального або інформаційного об'єкта в іншу властивість. Дія виконується відповідно до команди, яка є частиною директиви на виконання операції зі споживанням необхідних ресурсів та з дотриманням обмежень, які накладаються на здійснення операції.

Уведена вище класифікація утворює природну ієрархію блоків у UML-діаграмах за декомпозиції, передбачаючи чотири рівні останньої.

Рівні декомпозиції, які деталізують дії, природно вважати такими, що складаються з елементарних або простих функцій. З рівнями декомпозиції тісно пов'язана ієрархія функціональних моделей (рис. 2.11).

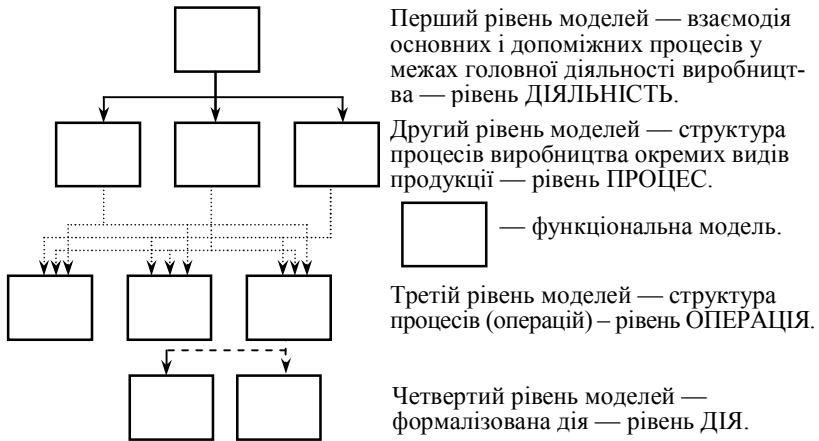


Рис. 2.11. Ієрархія функціональних моделей

Стрілки на рис. 2.11 характеризують обов'язковий зв'язок моделі верхнього рівня з моделлю нижчого рівня.

Отже, виокремимо групи моделей, що входять до кожного рівня.

Модель першого рівня описує процеси управління структурними підрозділами ТПВ і взаємодії основних та допоміжних (підтримуючих) процесів.

Для цієї групи моделей цілі моделювання будуть такими:

1.1. Виявити процеси, що реалізують відповідальність керівництва підрозділів, тобто групу процесів управління підрозділом загалом у межах діяльності підприємства.

1.2. Виявити процеси управління ресурсами підрозділу, у тому числі процеси створення інфраструктури структурного підрозділу.

1.3. Виявити взаємодію основних і допоміжних процесів у межах діяльності підприємства.

1.4. Виявити основні види інформації, способи її обробки й аналізу для ухвалення управлінських рішень.

1.5. Визначити межі відповідальності власників основних і допоміжних процесів.

1.6. Сформулювати передумови для створення оптимальної структури централізованого управлінського апарату структурних підрозділів.

Моделі другого рівня описують структуру процесів ТПВ. Особливістю моделей цього рівня є обов'язкова побудова моделі на основі життєвого циклу кожної функції ТПВ. Мета моделювання:

2.1. Виявити процеси управління ресурсами для виконання конкретної роботи, у тому числі створення структури процесу.

2.2. Виявити операції власне ТПВ, у тому числі всі контрольні операції, операції збирання та обробки даних.

2.3. Виявити взаємодію основних і допоміжних операцій усередині процесу.

2.4. Виявити основні види інформації, способи її обробки й аналізу для ухвалення рішень з управління процесом.

2.5. Визначити межі відповідальності власників основних і допоміжних операцій у межах процесу.

2.6. Виявити операції взаємодії з замовником (споживачем).

2.7. Виявити операції вдосконалення системи управління в межах процесу.

2.8. Сформувати передумови для створення оптимальної структури управління процесом ТПВ.

Моделі третього рівня описують операції елементів життєвого циклу ТПВ. Це насамперед операції відпрацювання виробів на технологічність, проектування технологічних процесів, проектування технологічної оснастки, обробки й аналізу інформації тощо. Повний перелік процесів (операцій) формується для кожного підприємства індивідуально. Ці групи процесів докладно описано в методичних і робочих інструкціях, стандартах підприємств. Мета моделювання:

3.1. Виявити процеси управління ресурсами для виконання операції.

3.2. Виявити всі операції, у тому числі всі контрольні операції та операції збирання (обробки) даних про ТПВ.

3.3. Виявити взаємодію основних і допоміжних дій усередині операції.

3.4. Виявити основні види інформації, способи її обробки й аналізу для ухвалення рішень з управління операцією.

3.5. Визначити межі відповідальності власників взаємозв'язаних операцій.

3.6. Виявити операції взаємодії з постачальниками початкових матеріалів і споживачами результатів процесу (у тому числі внутрішніми постачальниками та споживачами).

3.7. Виявити дії вдосконалення управління в межах операції.

3.8. Сформувати передумови для створення оптимальної структури управління процесом.

Моделі четвертого рівня описують дію певної одиниці обладнання або спеціаліста з ТПВ у межах операції. Ідеться про функціональні моделі, які дають можливість формалізувати математичний опис роботи обладнання чи спеціаліста.

Усі функції, що входять до наведеної вище класифікації, перебувають між собою у взаємозв'язках ієрархічної підлеглості за принципом «зверху вниз»: діяльність — субдіяльність — процес — підпроцес — операція — дія.

Згідно з методологією PUR/UML кожна функція (прецедент) виконується за допомогою актора (спеціаліст, технічний пристрій, ме-

ханізм тощо). У більшості систем, аналізованих за допомогою функціональних моделей, такими акторами слугують організаційно-технічні структури. Одним із концептуальних принципів функціонального моделювання є «відокремлення організації» від «функцій». Водночас аналіз показує, що між ієрархією функцій (перетворень) та ієрархією акторів існує відповідність (рис. 2.12).

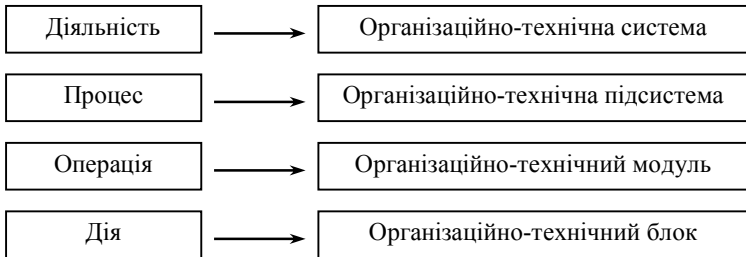


Рис. 2.12. Взаємозв'язки між функціями та акторами

Використовуючи наведену вище ієрархію функціональних блоків, дамо визначення елементів ієрархії акторів.

Організаційно-технічна система — організаційна структура, персонал і комплекс технічних засобів (обладнання), необхідні для здійснення діяльності.

Організаційно-технічна підсистема — частина організаційно-технічної системи, яка забезпечує перебіг процесу (субдіяльності).

Організаційно-технічна підсистема — частина організаційно-технічної системи, яка забезпечує перебіг процесу (субдіяльності).

Організаційно-технічний комплекс (модуль) — частина організаційно-технічної підсистеми, призначена для виконання операції.

Організаційно-технічний блок — частина організаційно-технічного комплексу, яка забезпечує виконання дії.

Отже, за коректної побудови моделі (без апріорної прив'язки до «організації») з'являється можливість зв'язати її блоки на різних рівнях декомпозиції з об'єктами організаційно-технічної структури, які виступають у значенні акторів. У цьому разі *організаційно-технічна структура* стає результатом функціонального моделювання.

Можливість отримати зв'язок між об'єктами організаційно-технічної структури та структурними підрозділами підприємства (його організаційною моделлю) дає змогу завершити створення імітаційної моделі ТПВ.

Розглянемо цей зв'язок (рис. 2.13).

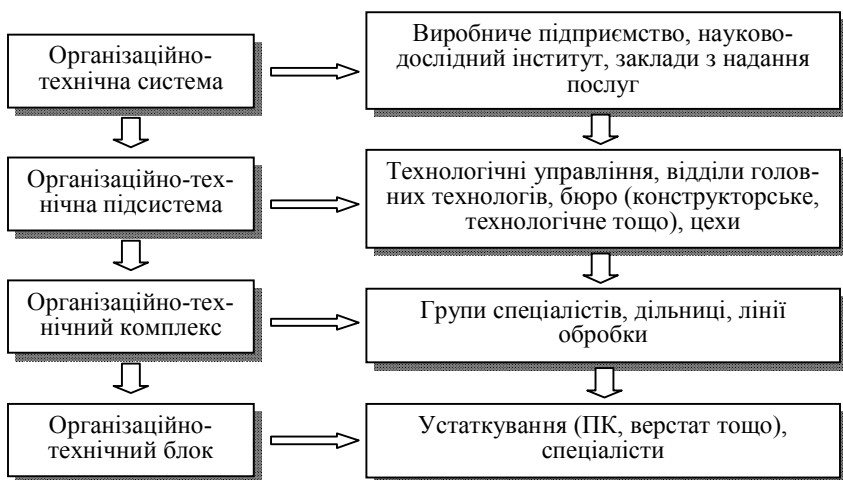


Рис. 2.13. Зв'язок між об'єктами організаційно-технічної структури та структурними підрозділами підприємства

Блок № 1 можна віднести до моделей першого рівня, блоки № 2, № 3 — до моделей другого та третього рівнів відповідно, блок № 4 — до моделей четвертого рівня.

Розглянемо алгоритм побудови імітаційної моделі ТПВ, який дасть можливість вирішити завдання аналізу, виявити основні закономірності функціонування технологічної підготовки та синтезувати АСТПВ. Цей алгоритм реалізується такими кроками:

1. Розробка функціональної моделі ТПВ із заданою деталізацією процесів, використовуючи графічну мову UML. Необхідно мати всі три рівні функціональних моделей ТПВ згідно з рис. 2.11.

2. Здійснити перехід від блоків на різних рівнях декомпозиції до організаційно-технічної структури, а далі, використовуючи схему (див. рис. 2.13), перейти до структури ТПВ, створивши її організаційну модель.

3. Щоб завершити імітаційну модель ТПВ, необхідно розглянути інформаційну модель ТПВ, яка дасть можливість ефективніше реалізовувати концепцію CALS-технологій.

Варто зазначити, що не можна чітко розмежувати розглянуті моделі (рис. 2.14), а алгоритм можна доповнити в процесі розроблення структури ТПВ конкретного підприємства.

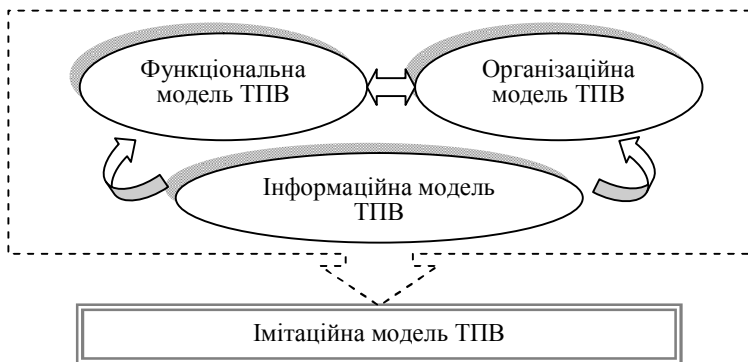


Рис. 2.14. Зв'язок між різними видами моделей

Коректно розроблені функціональні моделі 1—3 рівнів дадуть змогу визначити структуру ТПВ із конкретною кількістю підрозділів, відділів, бюро, виробничих ліній та устаткування, а головне — визначити оптимальну кількість спеціалістів.

2.3.2. Математичне моделювання процесу управління інформаційними потоками в АСТПВ

Методологія функціонального моделювання є чітко формалізованим підходом у створенні структурних схем досліджуваної системи ТПВ підприємства. Схеми будуються за ієрархічним принципом із необхідним ступенем деталізації та допомагають вирішувати завдання аналізу. Сукупність схем (діаграм) створює функціональну модель системи, яка має якісний, декларативний характер. Вона принципово не може відповісти на питання про те, як відбуваються процеси в системі за часом і в просторі, які їхні характеристики і якою мірою вони задовольняють (чи не задовольняють) вимоги, що висувують до системи. Усі ці питання виникають після того, як у процесі функціонального моделювання досягнуто нижчого рівня декомпозиції, тобто побудовано функціональні моделі третього та четвертого рівнів (див. рис. 2.12). Розглянуті узагальнені функціональні моделі ТПВ є базовими для ефективної побудови фізичних, анало-

гових та математичних моделей, призначених для відповіді на поставлені запитання та побудови АСТПВ.

Під час розрахунку складних систем автоматизованого управління широке застосування знаходять різні методи фізичного й математичного моделювання, особливо метод статистичного моделювання. Для автоматизації управління ТПВ необхідно передусім виявити закономірності, характерні для даного виробництва, та отримати уявлення про методи управління, які будуть максимально відповідати завданням ТПВ.

Як зазначалося раніше, після побудови функціональних та організаційних моделей необхідно описати потоки інформації (інформаційну модель), що циркулюють у системі у зв'язку з процесом управління, формалізувати процес ТПВ, описавши математично співвідношення, які пов'язують параметри процесу з його характеристиками.

Класифікацію потоків інформації можна подати у вигляді двох груп: вхідна інформація та управляючі сигнали й команди.

Після опису потоків інформації необхідно вирішити одну з головних завдань аналізу — визначити інформацію, важливу для управління. Для того щоб побудувати оптимальні системи управління, необхідно виокремити таку мінімальну кількість інформації, яка забезпечить задану якість управління ТПВ. Для оцінки якості управління вибирають спеціальні критерії. Практичні підходи до вибору критеріїв ефективності буде розглянуто в наступних розділах.

Описавши інформацію, яка циркулює в системі, та визначивши критерій якості, можна переходити до розгляду можливої структури АСТПВ. Головним питанням цього етапу є оцінка оптимальної централізації (децентралізації) управління. Під централізацією управління розуміють тенденцію використовувати єдину PDM-систему в спільному центрі управління. У разі децентралізованої системи обробка інформації здійснюється на місцях та передається в головну PDM-систему. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки. Крім цього, урахуємо те, що в умовах розширених виробництв має бути автоматизовано управління розподіленими АСТПВ виробничих та інших структурних підрозділів.

Отже, основними завданнями, які виникають у зв'язку з автоматизацією управління ТПВ, є:

1. Опис та математична формалізація потоків інформації в ТПВ підприємств з різними рівнями деталізації залежно від завдань, які буде вирішувати проектована АСТПВ.

2. Вибір методу математичного моделювання процесу управління ТПВ та критерію якості функціонування АСТПВ. Формалізацію цієї задачі наведено в підрозд. 2.4.

3. Вибір структури АСТПВ для підтвердження обраного критерію якості. Результати досліджень і структуру розробленої АСТПВ наведено в розд. 6.

Розглянемо докладніше перше завдання.

Деякі процеси ТПВ та управління ними можна досліджувати методами теорії масового обслуговування. Предметом теорії масового обслуговування є розробка ймовірно-статистичних методів вирішення завдань з обслуговування великої кількості однорідних об'єктів, наприклад, надходження заготовок до ліній обробки, робота ліній обробки, проектування технологічних процесів. Моделі масового обслуговування дають змогу оцінити продуктивність блоків (функцій, прецедентів), які виконують перетворення матеріальних та інформаційних потоків, визначити реальну пропускну спроможність каналів (наприклад, ліній обробки), за якими ці потоки передаються, виявити вузькі місця та резерви, оцінити залежність продуктивності від надійності елементів та витрати ресурсів.

Уведемо деякі поняття, необхідні для подальшого викладу матеріалу [150].

Потік одиниць, що обслуговується незалежно від його конкретної природи, називають *потокм заявок*.

Потік однорідних подій — це певна послідовність подій, однорідних за фактом здійснення або нездійснення події в певний момент часу.

Моменти здійснення цієї події можуть бути чітко визначеними, тимчасом як інтервали між моментами здійснення подій є випадковими величинами. Значно частіше трапляються випадки, коли інтервали між моментами здійснення подій і самі моменти не визначені та є випадковими величинами. У цьому разі потік буде визначеним, коли відомий закон розподілу моментів здійснення даної події, тобто для будь-яких значень t_1, t_2, \dots, t_k і будь-якого k відома функція [150]

$$F(t_1, t_2, \dots, t_k) = P \{t^{(1)} < t_1, t^{(2)} < t_2, \dots, t^{(k)} < t_k\}, \quad (2.2)$$

де $t^{(k)}$ — k -й момент здійснення події, що визначає потік.

Потік заявок у теорії масового обслуговування якраз і є деяким потоком однорідних подій.

Система масового обслуговування (СМО) — сукупність обладнання, спеціалістів та організації самого процесу обслуговування [151].

У процесі обслуговування заявка займає на деякий час певний канал. Цей час називають часом зайнятості каналу. За кількістю ка-

налів СМО може бути одноканальною чи багатоканальною. Залежно від організації обслуговування СМО класифікують за трьома типами [151].

Система з відмовами. Заявка, яка надходить до системи в той час, коли всі канали зайняті, покидає систему без обслуговування.

Система з очікуванням. Заявка, яка надійшла в систему, де всі канали зайняті, не покидає систему, а очікує, коли звільниться будь-який канал, і тоді обслуговується.

Система з обмеженим очікуванням. Механізм обслуговування такий, як і в разі системи з очікуванням, але на час очікування накладено обмеження, після якого заявка отримує відмову в обслуговуванні.

Розглянемо математичну модель багатоканальної СМО з обмеженим очікуванням як найскладніший випадок. Будемо вважати, що всі n каналів системи однаково досяжні для всіх заявок.

Основним показником роботи системи з обмеженим очікуванням є ймовірність відмови $p_{\text{від}}(t)$ та асимптотична поведінка цієї величини за $t \rightarrow \infty$. Для багатоканальної системи доведено [150], що існує $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{\text{від}}(t) = p_{\text{від}}(t)$.

За функціонування системи можливі такі стани:

0) усі канали вільні;

1) один канал зайнятий, а $n - 1$ каналів вільні;

..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ...

k) k каналів зайняті, а $n - k$ каналів вільні;

..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ...

n) всі n каналів зайняті, але черги немає;

$n + 1$) усі n каналів зайняті й одна заявка в черзі;

..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ...

$n + s$) усі n каналів зайняті і s заявок у черзі.

Визначимо через $p_k(t)$ ймовірність того, що система в момент часу t перебуває в стані k . Тобто $\lim_{t \rightarrow \infty} p_k(t) = p_k(t)$. Величину p_k можна пояснити як ймовірність застати систему в стані k у стаціонарному режимі.

Розглянемо кілька випадків, коли можливе аналітичне вирішення завдання. Для всіх випадків вхідний потік заявок вважається найпростішим із параметром λ (інтенсивність) і з кількістю каналів n .

1. Вважаємо, що час зайнятості каналу t_3 і час очікування $\tau_{\text{оч}}$ розподілені за показниковими законами з параметрами $M(t_3) = \frac{1}{\mu}$ та

$M(\tau_{оч}) = \frac{1}{\nu}$ відповідно. За показникового закону розподілу рядка очікування пропускну спроможність не залежить від того, як обслуговується заявка — за чергою чи випадково. Ураховуючи наведені припущення та аналітичне дослідження [151], для p_k було отримано такі залежності:

$$p_k = \frac{\frac{\alpha^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}} \quad \text{за } (0 \leq k \leq n); \quad (2.3)$$

$$p_{n+s} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}} \quad \text{за } (s \geq 1), \quad (2.4)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\lambda}{\mu}, \quad \beta = \frac{\nu}{\mu}. \quad (2.5)$$

Імовірність відмови визначається як відношення середньої кількості заявок, які вибувають із черги за одиницю часу, до середньої кількості заявок, які надходять за одиницю часу. Якщо $M(s)$ — математичне очікування кількості заявок, що перебувають у черзі, тоді, ураховуючи (2.5),

$$p_{від} = \frac{\nu M(s)}{\lambda} = \frac{\beta}{\alpha} M(s). \quad (2.6)$$

$M(s)$ визначають за формулою

$$M(s) = \sum_{s=1}^{\infty} s p_{n+s} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}. \quad (2.7)$$

Ураховуючи (2.6) та (2.7), отримуємо формулу для ймовірності відмови:

$$p_{\text{від}} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)}}. \quad (2.8)$$

Припускаючи, що в формулах (2.3), (2.4) та (2.8) $\frac{1}{v} \rightarrow 0$, отримуємо формули для ймовірності станів та ймовірності відмови в СМО з відмовами:

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} \text{ за } (0 \leq k \leq n); \quad (2.9)$$

$$p_{\text{від}} = \frac{\alpha^n}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}}. \quad (2.10)$$

Формули (2.9) та (2.10) мають назву формул Ерланга і справедливі за будь-якого закону розподілу часу обслуговування. Обмеження накладаються тільки на вхідний потік заявок, який повинен бути найпростішим.

2. Припустимо, що час зайнятості системи t_3 є випадковою величиною, розподіленою за показниковим законом із параметром μ , а час очікування — детермінованою величиною:

$$\tau_{\text{оч}} = \tau = \frac{1}{\nu}.$$

Обслуговування здійснюється в порядку черговості надходження заявок у систему. За цих умов для ймовірності p_k отримаємо такі формули:

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} p_0 \text{ за } 1 \leq k \leq n;$$

$$p_k = \frac{\alpha^k}{n!n^{k-n}} p_0 e^{-\frac{n}{\beta}} \sum_{j=k-n}^{\infty} \frac{\left(\frac{n}{\beta}\right)^j}{j!} \text{ за } k > n.$$

Значення p_0 знаходимо з рівняння $\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1$:

$$p_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-\alpha)} \left(1 - e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} \right) \right]^{-1} \text{ за } \alpha \neq n; \quad (2.11)$$

$$p_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!\beta} \right]^{-1} \text{ за } \alpha = \beta.$$

Якщо $\tau = 0$ ($\beta \rightarrow 0$), то всі ймовірності p_k за $k > n$ перетворюються в нуль і отримуємо рішення Ерланга. Визначимо ймовірність відмови $p_{\text{від}}$. Для цього введемо величину c_s , яка є щільністю відмови за умови, що кількість заявок, які очікуються, дорівнює s . Маємо:

$$c_s = \frac{n\mu \left(\frac{n}{\beta}\right)^{s-1} e^{-\frac{n}{\beta}}}{\int_0^{n/\beta} z^{s-1} e^{-z} dz}.$$

Середню щільність відмови в такому разі розраховують так:

$$c = \sum_{s=1}^{\infty} c_s p_{n+s} = \frac{\mu \alpha^{n+1}}{n!} e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} p_0. \quad (2.12)$$

Імовірність відмови визначається співвідношенням [152] $p_{\text{від}} = \frac{c}{\lambda}$. Ураховуючи (2.12) та останню формулу, маємо:

$$p_{\text{від}} = \frac{\alpha^n}{n!} e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} p_0.$$

3. Якщо t_3 та $\tau_{\text{оч}}$ описуються, як у попередньому випадку, а обслуговування здійснюється за умови випадкового вибору заявок із черги, тобто будь-яка заявка може обслуговуватись з ймовірністю $1/s$:

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} \text{ за } 1 \leq k \leq n,$$

$$p_k = \frac{\alpha^k}{n! n^{k-n}} \prod_{j=1}^{k-n} \left(1 - e^{-\frac{n}{\beta j}} \right) p_0 \text{ за } k > 1.$$

Значення p_0 , як і в попередньому випадку, знаходимо з рівняння

$$\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1:$$

$$p_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha}{n} \right)^s \prod_{j=1}^s \left(1 - e^{-\frac{n}{\beta j}} \right) \right]^{-1}.$$

Для визначення ймовірності відмови введемо величину c_s для зроблених припущень. Тобто

$$c_s = \frac{n \mu e^{-\frac{n}{\beta s}}}{1 - e^{-\frac{n}{\beta s}}}.$$

Визначивши необхідні змінні, знаходимо середню щільність та ймовірність відмови:

$$c = \sum_{s=1}^{\infty} c_s p_{n+s} = \frac{\lambda \alpha^n}{n!} p_0 \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha}{n} \right)^{s-1} e^{-\frac{n}{\beta s}} \prod_{j=1}^s \left(1 - e^{-\frac{n}{\beta j}} \right); \quad (2.13)$$

$$p_{\text{від}} = \frac{\alpha^n}{n!} p_0 \left[e^{-\frac{n}{\beta}} + \sum_{s=1}^{\infty} e^{-\frac{n}{(s+1)\beta}} \left(\frac{\alpha}{n} \right)^s \prod_{j=1}^s \left(1 - e^{-\frac{n}{\beta j}} \right) \right]. \quad (2.14)$$

За $\tau=0$ ($\beta \rightarrow 0$), як і в попередніх випадках, отримаємо розв'язок задачі Ерланга. Приклади 2 та 3 показують, що обслуговування заявки (дисципліна черги) впливає на показники системи, але можна розглянути питання вибору вільного каналу для обслуговування з-поміж вільних. Представимо варіанти такого підходу.

1. Усі канали мають свої номери, і заявка після надходження до системи обирає канал з найменшим номером.

2. Канали, які звільнюються, організовують чергу в порядку звільнення моментів від обслуговування. Тобто заявка буде обслуговуватися каналом, першим у черзі (з максимальним часом простою).

3. Заявка займає будь-який з вільних каналів за випадковим законом розподілу.

Критерій вибору одного або деякої комбінації наведених варіантів залежить від конкретної ситуації. Так, якщо всі канали рівноцінні за вартістю або надійністю, то краще вибрати перший варіант. Другий варіант краще вибирати, коли всі канали рівноцінні, але бажано, щоб ступінь старіння був приблизно однаковим у момент часу t .

Варто зазначити, що описана СМО є однофазною для певного спрощення. Розподілені АСТПВ для розширених виробництв є багатофазними, складаються з кількох однофазних систем, і заявки від однієї системи переходять в іншу. У такому разі здійснюється декомпозиція системи із заданою деталізацією та будуються математичні моделі для кожної фази.

2.4. Метод оптимального динамічного управління процесами ТПВ

Управління ТПВ в умовах розширених виробництв та інтегрованого інформаційного середовища вимагає врахування багатьох факторів, які характеризуються великою кількістю елементів і зв'язків між ними та змінюються як у просторі, так і в часі. При цьому виникає завдання вибору найраціональнішого варіанта з можливої множини відповідно до заданого критерію якості, тобто вирішення завдання оптимізації.

Під оптимізацією розуміють процес знаходження екстремуму деякої кількісної величини (параметра) проєктованого об'єкта, поданої у вигляді функції. Оптимальним рішенням є найкраще з деякої множини рішення, яке забезпечує задані характеристики якості виробу найпродуктивнішим способом за мінімальних витрат, тобто виконання двох головних критеріїв якості: максимальної продуктивності виробництва та мінімальної вартості (оптимізація витрат).

Як було розглянуто в пункті 2.3.2, під час розробки інтегрованої АСТПВ конкретного виробництва першочерговим завданням є визначення мінімально необхідної інформації, яка дасть змогу ефективно (не нижче заданого рівня якості) вирішувати завдання управління ТПВ, тобто виконувати роботи щодо створення класифікаторів і стандартів, які зменшують значну кількість технологічної та техніко-економічної інформації.

Комплексне та ефективне вирішення завдань управління ТПВ значною мірою залежить від злагодженості функціонування його підсистем, забезпечення стійкої розробки оптимальних процесів ТПВ. Ав-

томатизована система має забезпечувати оптимальність прийнятих рішень. Загальним критерієм функціонування такої системи є критерій оптимізації витрат.

За традиційної постановки задачу можна звести до задачі нелінійного програмування [153, 154]. Тобто $\min_{d, x} \Phi(d, x, \theta)$ з обмеженнями

$$h(d, x, \theta) = 0, \quad g(d, x, \theta) \leq 0,$$

де Φ — загальна цільова функція, яка виражає економічну ефективність управління; d — вектор проектних параметрів; x — вектор станів функції управління; θ — вектор керованих параметрів; h — вектор-функція моделей управління; g — вектор-функція обмежень на систему.

За такої постановки задачі вектор керованих параметрів θ передбачається незмінним. Однією з можливостей уключення до завдання управління змінних параметрів є припущення про ймовірний розподіл θ . Однак такий підхід не дає гарантій знаходження стану x у припустимій області, яка визначається моделлю h та обмеженнями g .

Рішення задачі $\{d^*, \theta^*\}$ забезпечує припустимість станів тільки для значення параметрів θ^* . На практиці, якщо $\theta = \theta^*$, виникає ситуація, коли стани системи будуть перебувати в неприпустимій області, що призведе до порушення деяких обмежень та невиконання деяких функцій управління ТПВ.

Тому тривалість вирішення завдань такого класу істотно зростає навіть за невеликого збільшення розмірності системи. Водночас, в умовах динаміки сучасного виробництва, коли конкурентоспроможність виробництва визначається його здатністю швидко реагувати на всі зміни ринків збуту та перебудовувати виробництво відповідно до вимог ринку, оперативно вносячи зміни в номенклатуру продукції, що випускається, автоматизовані системи ТПВ мають бути модульними з можливістю нарощування.

Варто зазначити, що вибір функціонала якості для вирішення завдань оптимізації залежить від конкретних завдань виробництва, але його загальний вигляд, з погляду оптимізації витрат на виробництво, можна подати інтегральною функцією управління ТПВ у вигляді мінімізації витрат на виробництво виробів [155]:

$$\sum_{n \gg 1}^n M_t^{\text{дол}} + \sum_{n \gg 1}^n Z_t^{\text{дол}} + \sum_{n \gg 1}^n A_t^{\text{дол}} \rightarrow \min, \quad (2.15)$$

де $M_t^{\text{дол}}$ — дольова технологічна матеріалоемність виготовлення t -го виробу на n -й операції; $Z_t^{\text{дол}}$ — дольова технологічна ємність по заробітній платні; $A_t^{\text{дол}}$ — дольова технологічна амортизаційна ємність виготовлення t -го виробу на n -й операції.

Розглянемо докладно вирішення завдання оптимального управління процесом технологічного проектування [156]. Найскладнішим у проектуванні технології є проектування механічної обробки корпусних деталей на обробних центрах багатощільового типу [157].

Машинний час обробки деталі описується виразом

$$T_M = t_p + t_{x,x}, \quad (2.16)$$

де t_p — час робочого ходу інструмента; $t_{x,x}$ — час холостих ходів інструменту.

У свою чергу,

$$t_p = \frac{L_p}{S_{M_p}}; \quad (2.17)$$

$$t_{x,x} = \frac{L_{x,x}}{S_{M_{x,x}}} + T_3 + T_{\text{поз}},$$

де $L_p, L_{x,x}$ — довжина траєкторії переміщення інструмента на робочому та холостому ходу відповідно; $S_{M_p}, S_{M_{x,x}}$ — хвилинні подачі робочого та холостого переміщення інструмента; T_3 — час на заміну інструмента; $T_{\text{поз}}$ — час позиціонування стола—супутника станка.

Об'єднуючи складові T_M стосовно послідовної обробки однієї деталі кількома інструментами, отримуємо загальний машинний час

$$T_M = \sum_{p=1}^{\kappa} \sum_{p=1}^p \left(\frac{L_p}{S_{M_p}} + \frac{L_{x,x}}{S_{M_{x,x}}} + T_3 + T_{\text{поз}} \right)_{pk}, \quad (2.18)$$

де κ — кількість інструментів, які використовуються для обробки виробу під час одного позиціонування; p — кількість позиціонувань під час обробки виробу.

Виходячи з теорії продуктивності машин [63, 157], фактична продуктивність обробки для однопоточного процесу визначається виразом

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{T_M + T_{x,x} + T_{\Pi}}, \quad (2.19)$$

де $T_{x,x}$ — середній час холостих ходів; T_{Π} — час простою.

Фактично управляти продуктивністю обробки виробу можна за допомогою заміни складової T_M , оскільки час T_{Π} не може бути керованим на стадії проектування технології, а час $T_{x,x}$ у конструкціях багатоцільових станків ураховано. У цілому, машинний час обробки виробу T утворює лінійний однорідний простір $t \in T$. Маємо систему рівнянь:

$$t_{pib} = \frac{L_{pib}}{S_{M_{pib}}}, \quad i = \overline{1, I}, \quad b = \overline{1, B};$$

$$t_{x,jb} = \frac{L_{x,jb}}{S_{M_{x,jb}}} + T_{3jb}, \quad j = \overline{1, J}; \quad (2.20)$$

$$t_{x,xgl} = \frac{L_{x,xgl}}{S_{M_{x,xgl}}} + T_{3gl} + T_{\text{поз } gl}, \quad l = \overline{1, L}; \quad g = \overline{1, G},$$

де $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$, $g = \overline{1, G}$ — множина індексів робочих ходів і технологічних переходів відповідно; b — кількість інструментів, які використовуються під час одного позиціонування. Сукупність рівнянь (2.20) задає послідовність розподілу простору T на підмножини, які створюють σ -алгебру в таку T , що

$$\frac{1}{Q} = \sum_{l=1}^L \sum_{b=1}^B \left(\frac{L_p}{S_{M_p}} + \frac{L_{x,x}}{S_{M_{x,x}}} + T_3 + T_{\text{поз}} \right) bl \leq T \leq T_M^3, \quad (2.21)$$

де T_M^3 — заданий машинний час обробки виробу.

Треба розрахувати ймовірність події P_1^T , за якої технологічний процес буде спроектований за заданої σ -алгебри в просторі t так, що час обробки $T \leq T_M^3$. Тобто необхідно забезпечити оптимальність параметрів t_p і $t_{x,x}$, які забезпечать максимальне значення ймовірності $P^T(t)$, що є задачею оптимального динамічного управління [158].

Припустимо, що P_1^T — імовірність того, що параметри простору t в спроектованому технологічному процесі знаходяться в інтервалі $\mu(T_1, T_M^3) = |T_1 - T_M^3|$. Тоді

$$P_1 = \frac{\mu(T_M^3, T_1)}{\mu(T_M^3, T_K)},$$

де μ — символ міри в просторі $T = \{t_p; t_{x,x}\}$, а $\mu(T_M^3, T_K) = T \leq T_M^3$; T_K — час, який задаватися технологом, котрий управляє складовими $L_{x,x}$ та $S_{M_{x,x}}$ на кожному з кроків проектування.

Очевидно, що технологічний процес буде спроектований оптимально тільки тоді, коли [159]

$$g_i = 1 - P_i^T = 1 - \frac{\mu(T_M^3, T_i)}{\mu(T_M^3, T_K)}. \quad (2.22)$$

Тоді можемо записати, що

$$g_K = 1 - P_M^T = 1 - \frac{\mu(T_{K-1}, T_K)}{\mu(T_M^3, T_K)}. \quad (2.23)$$

Послідовність $\{g_k, k = \overline{1, K}\}$ у цьому разі є мірою, яка характеризує якість процесу управління проектуванням технологічного процесу. Отже, можемо говорити про подію завершення процесу управління проектуванням і про ймовірність цієї події θ .

Ураховуючи теорему про суму ймовірностей [159], узагальнену характеристику θ , яка описує якість процесу проектування оптимальної за продуктивністю технології, можна розрахувати за формулою

$$\theta = g_{i1} + g_{i2} + \dots + g_{ih} - \sum_{i_1 < i_2} g_{i1} g_{i2} + \sum_{i_1 < i_2} g_{i1} g_{i2} g_{i3} + (-1) \sum_{l=1}^k i_{l-1} \sum_{i_1 < \dots < i_k} g_{i1} \dots g_{ik}. \quad (2.24)$$

Отже, функціонал (2.24) є функцією своїх аргументів і може розглядатися як критерій, який характеризує задану на T співвідношеннями (2.20) та (2.21) σ -алгебру. Тепер, управляючи параметрами $L_{P(x,x)}$ та $S_{M_{p(x,x)}}$, необхідно забезпечити максимальне значення функції Q .

Під час проектування технологічного процесу час t_p визначає технолог, призначаючи робочі ходи. Для математичного розв'язання цієї оптимізаційної задачі введемо функцію [158]:

$$I_K = \theta^2. \quad (2.25)$$

Тоді за заданого критерію якості проектування (2.25) та лінійних обмежень (2.20) на параметри технологічного процесу можна отри-

мати процес, оптимальний із погляду найбільшої ймовірності отримання максимальної продуктивності процесу обробки.

Сукупність співвідношень (2.20), (2.21), (2.25) визначають оптимальну модель управління технологічним проектуванням для конкретного випадку проектування технологічного процесу.

Як показали автори робіт [158, 159], існує єдине рішення отриманих співвідношень. Це рішення шукають, перебираючи варіанти значень $L_{p,x}$, $S_{M_{p,x}}$ та $L_{x,x}$, $S_{M_{x,x}}$. Для кожного фіксованого значення керованих параметрів задачу розв'язано в теорії оптимального динамічного управління. Задаючи варіанти керованих параметрів $L_{p(x,x)}$ та $S_{M_{p(x,x)}}$, отримаємо максимальне значення функціонала (2.25) і, отже, оптимальний за продуктивністю технологічний процес. При цьому можна використати різноманітні методи розв'язання оптимізаційної задачі (2.20), (2.21) та (2.25). Отримана продуктивність обробки деталі є оптимальною за заданих обмежень і виробничих умов. Тож виконано математичну постановку завдання й запропоновано метод оптимального динамічного управління процесами ТПВ.

Аналогічний підхід можна використати у вирішенні інших завдань з управлінням ТПВ. Наприклад, на рівні управління плануванням ТПВ, виходячи з його функцій, можемо формувати та коригувати оперативне й поточне планування. У цьому разі буде розглядатися лінійний однорідний простір дольових витрат на виготовлення деталі $c \in C$. Система рівнянь

$$\begin{aligned} Z_t^{\text{дол}} &= \frac{3^t}{P^t}, \quad t = \overline{1, T}, \\ M_t^{\text{дол}} &= \frac{M^t}{P^t}, \\ A_t^{\text{дол}} &= \frac{A^t}{P^t} \end{aligned} \quad (2.26)$$

задає множини простору $c \in C$, які утворюють σ -алгебру в таку C , що

$$\sum_{n \gg 1} M_t^{\text{дол}} + \sum_{n \gg 1} Z_t^{\text{дол}} + \sum_{n \gg 1} A_t^{\text{дол}} \leq C \leq C_0, \quad (2.27)$$

де $M_t^{\text{дол}}$, $Z_t^{\text{дол}}$, $A_t^{\text{дол}}$ — затрати матеріалів, заробітної платні та амортизаційних відрахувань на виготовлення t -го виробу на n -й операції; C_0 — задане значення дольових витрат; P^t — кількість виготовлених деталей.

У свою чергу, $Z^t = T_t \tau$, $A^t = \Phi_n A$, де T_t — витрати на виготовлення t -ї деталі; τ — тарифна ставка на виготовлення виробу; Φ_n —

вартість обладнання; A — норма амортизаційних відрахувань з обладнання на повне оновлення.

Очевидно, що задачі (2.26) та (2.27) поставлено в загальному вигляді. Під час реалізації запропонованого методу оптимального управління необхідно розв'язувати задачу поетапно, використовуючи метод оптимізації за кожним із показників дольових витрат окремо.

2.5. Технічні вимоги до інформаційного забезпечення автоматизованих систем

Великий китайський стратег і мислитель, автор спеціальних трактатів і настанов, присвячених мистецтву ведення групового та індивідуального бою, Сунь Цзи в V ст. до н. е. писав: «Причиною перемоги освіченого государя і мудрого генерала над супротивником кожен раз, як вони починають похід, є наявність у них інформації про цього супротивника. Хто ще до бою перемагає попереднім розрахунком, у того шансів багато; хто ще до бою не перемагає розрахунком, у того шансів мало» [160].

Минуло багато років, але стародавня мудрість залишається актуальною й нині. Важлива інформація про якість, надійність і ринки збуту виготовлених товарів стала життєво необхідною для провідних підприємств світу в безупинній економічній боротьбі за їх продаж.

Якість продукції доцільно закладати ще на початкових стадіях її виготовлення, а саме — на етапі дослідження, проектування, прототипування і не пізніше, ніж під час одержання експериментального зразка.

Авіаконструктор А. Н. Туполев зазначав, що чим далі від дошки конструктора виявляється несправність, тим дорожче вона обходиться. Виправлення помилки на етапі дослідження потребує вдесятеро більше витрат під час проектування, у 100 разів — у процесі виготовлення експериментального зразка, у 1000 і більше разів — за серійного випуску. Тому сучасні принципи забезпечення якості продукції передбачають проведення основних дій у досягненні якості на початкових етапах ЖЦВ.

Інформаційне забезпечення АС виступає «ключовим» фактором у забезпеченні як якості виробів, так і прибутків підприємств. Основною й обов'язковою технічною вимогою до інформаційного забезпечення під час створення РВ є побудова інтегрованого інформаційного середовища.

Уявлення про ІС як основу інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ) було введено задовго до появи САІS-технологій. Ще в 1983 р. японський учений Н. Окіно опублікував роботу, у якій стверджував, що виробництво матеріальних об'єктів і супутні до нього процеси проектування, технологічної підготовки й управління настільки відрізняються від інших видів діяльності людини, що їм має відповідати особлива архітектура програмно-методичного, математичного та інформаційного забезпечення. На думку Н. Окіно, принципова різниця між обробкою інформації в ІАСУ та при інших застосуваннях обчислювальної техніки в основному зводиться до двох положень.

1. Виробництво і всі процеси в ньому належать фізичному світові, а процеси, що відбуваються в комп'ютері, — до світу інформації. Отже, необхідне перетворення виробничих проблем в інформаційні проблеми, а також зворотне перетворення зі світу інформації у фізичний світ. По суті, це проблема адекватного моделювання, тобто встановлення відповідності (по можливості взаємно однозначної) між фізичним та інформаційним простором. Під час створення традиційного математичного забезпечення для розв'язання обчислювальних задач ставиться єдина математична модель проблеми, яка через прикладний інтерфейс адаптується до різних сфер застосування.

Такий підхід до вирішення виробничих завдань майже неможливо реалізувати, оскільки єдина модель, що описує всі виробничі проблеми, не може бути створена через їхню складність і різноманітність.

2. Традиційний підхід використовують під час розрахунків, пошуку інформації, кількісної або логічної обробки даних тощо. Однак у процесі проектування й розробки технологій доводиться генерувати й обробляти безліч даних з проектування і виробництва. Такий підхід і засноване на ньому математичне забезпечення не задовольняють потреб розробників сучасних АС. У зв'язку з цим пропонується відкинути стратегію єдиної моделі й перейти до стратегії, сутність якої показано на рис. 2.15. Тут роль ядра системи відіграє не модель, а **загальна (інтегрована) база даних (ЗБД)**, до якої можуть звертатися різні проблемно-орієнтовані моделі [109].

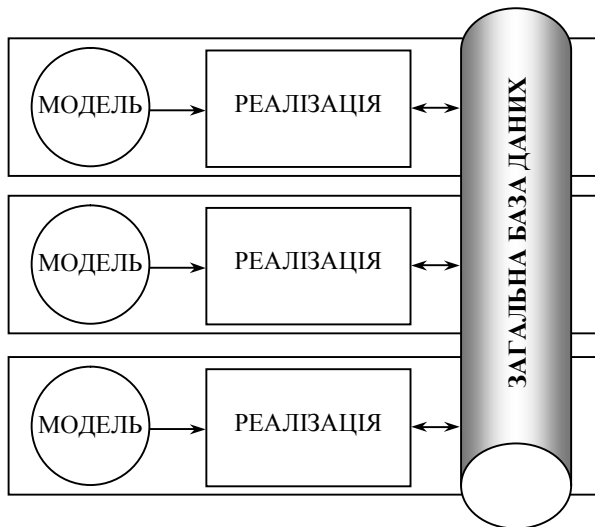


Рис. 2.15. Модель математичного забезпечення із загальною базою даних

Передбачається, що в ЗБД зберігаються ІО, які адекватно відображають в інформаційне середовище сутності фізичного світу: предмети, матеріали, вироби, процеси й технології обробки, різноманітні документи, фінансові ресурси, персонал і підрозділи підприємства, устаткування тощо.

Моделі, які описують конкретні застосування в проблемних галузях, звертаються до ЗБД, знаходять у ній необхідні ІО, обробляють їх і поміщають у ЗБД результати цієї обробки. Можна стверджувати, що Н. Окіно якоюсь мірою передбачив появу об'єктно-орієнтованого підходу до програмування, запропонувавши розглядати все, що відбувається в інформаційному світі на основі дуалізму «об'єкт—операція».

Подальший розвиток ІТ привів до появи об'єктно-орієнтованого програмування. Це дало змогу адекватно перевести процеси, які відбуваються на підприємстві, у віртуальний інформаційний простір. Проблематика, пов'язана з використанням CALS-технологій, стала актуальною. Сказане стосується, зокрема, процесів конструкторської й технологічної підготовки виробництва, у ході яких створюється технічна документація різних видів і призначення, процесів управління на всіх рівнях, у яких доводиться мати справу з великими інформаційними потоками. Нині ці процеси значною мірою склада-

ються з логістичних операцій (створення, перетворення, транспортування і збереження інформаційних об'єктів у межах ІС).

Відповідно до викладеного вище ІС є сховищем даних, в якому зберігаються всі відомості, що створювались й використовувались всіма підрозділами і службами підприємства в процесі їхньої виробничої діяльності. Це сховище в разі потреби має складну структуру та різноманітні зовнішні і внутрішні зв'язки. ІС має охоплювати щонайменше дві бази даних: загальну базу даних про виріб (вироби) і загальну базу даних про підприємство.

При реалізації процесів, які охоплюють ЖЦВ підприємства, як вихідні дані використовують інформацію, яка зберігається в ІС. Інформаційні об'єкти, які створюються в ході цих процесів, повертаються в ІС для збереження й подальшого використання в інших процесах (рис. 2.16).

Цей факт відображено на схемі подвійними стрілками. Із загальною базою даних підприємства (ЗБДП) має інформаційні зв'язки з процесами технологічної й організаційно-економічної підготовки виробництва та власне виробництвом (включаючи процеси відвантаження та транспортування готової продукції).

Отже, усі процеси ЖЦВ відображаються в ІС за допомогою ІО. Під час створення нового виробу і технологічній підготовці його виробництва засобами CAD/CAM/CAE-систем у ІС створюються ІО, що описують структуру виробу, його склад і всі вхідні компоненти: деталі, вузли, агрегати, матеріали тощо.

Кожен ІО має набір характеристик (атрибутів), що описують властивості реального фізичного (матеріального) об'єкта, відображенням якого є ІО. Такими характеристиками є технічні вимоги й технічні умови, які має задовольняти реальний об'єкт, геометричні (розмірні) параметри, масогабаритні показники, параметри, що характеризують міцність, надійність, ресурс, та інші експлуатаційні властивості виробу і його компонентів.

Інформаційні об'єкти в складі ЗБДВ містять у довільному форматі інформацію, необхідну для випуску і підтримки технічної документації, потрібної на всіх стадіях ЖЦВ для всіх виробів, що випускаються підприємством. Кожен ІО ідентифікується унікальним кодом і може діставатись із ЗБДВ для виконання роботи над ним. ЗБДВ забезпечує інформаційне обслуговування й підтримку діяльності:

- замовників (власників) виробу;
- розробників (конструкторів, технологів), персоналу підприємства-виробника;
- експлуатаційного й ремонтного персоналу замовника та спеціалізованих служб.



Рис. 2.16. Інтегроване інформаційне середовище

Докладніше склад ІО, що входять у ЗБДВ, показано на схемі рис. 2.17. Відповідно до цієї схеми в складі ЗБДВ можна (умовно) виокремити три розділи:

- 1) нормативно-довідковий;
- 2) довгостроковий;
- 3) актуальний.

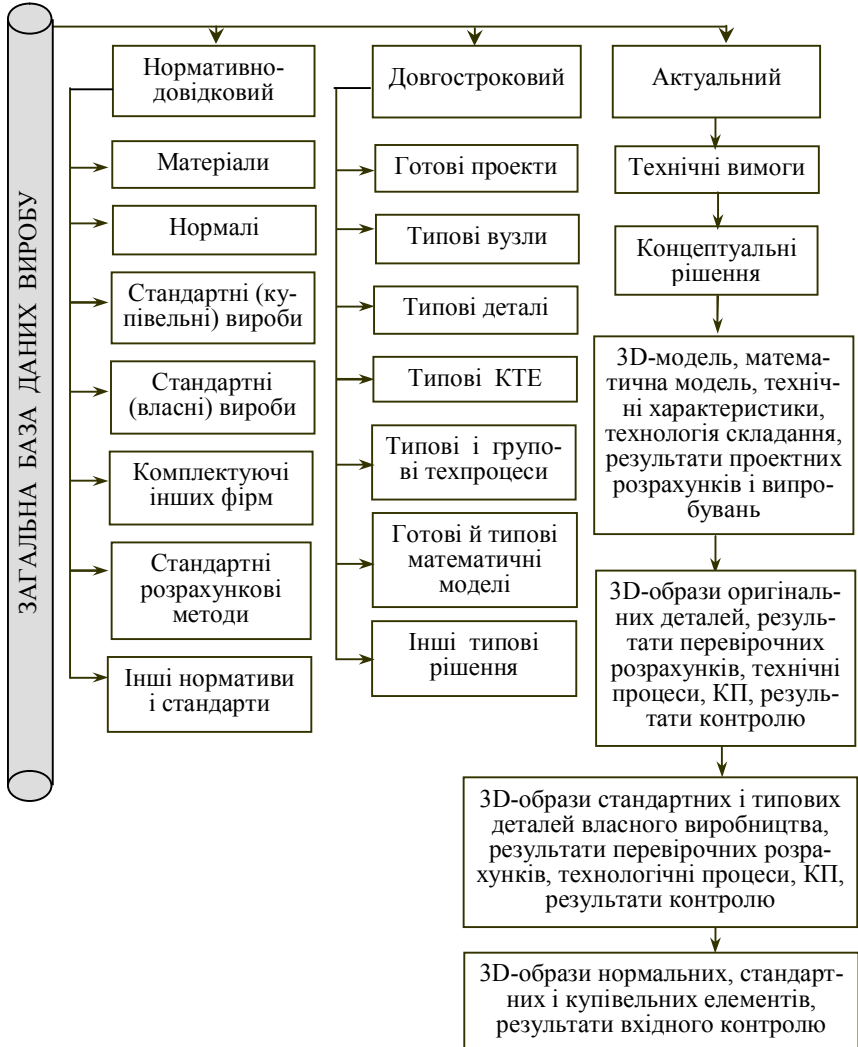


Рис. 2.17. Склад інформаційних об'єктів загальної бази даних виробу

У **нормативно-довідковому розділі** мають зберігатись ІО, що містять дані про:

- конструкційні матеріали;
- нормалізовані деталі (нормалі);
- стандартні (купівельні) комплектуючі вироби;
- стандартні деталі власного виготовлення;
- стандартні розрахункові методи;
- державні, міжнародні та внутрішні стандарти;
- інші нормативні документи.

Зміст нормативно-довідкового розділу ЗБДВ оновлюється у разі надходження нових і скасування чинних нормативних документів.

У **довгостроковому розділі** мають зберігатись ІО, які містять дані, що акумулюють власний досвід підприємства, у тому числі дані про:

- раніше виконані готові проекти (архів);
- типові вузли, агрегати й деталі власного виробництва;
- типові конструктивно-технологічні елементи (КТЕ) деталей;
- типові конструктивно-технологічні елементи (КТЕ) деталей;
- типове технологічне оснащення й інструмент;
- готову й типову розрахункову методик, математичні моделі виробів власної розробки;
- інші готові та типові рішення.

Довгостроковий розділ ЗБДВ доповнюється й оновлюється зі створенням нових технічних рішень, визнаних типовими та придатними для подальшого використання.

В **актуальному розділі** (очевидно, найбільшому за обсягом і найскладнішому за структурою) мають зберігатись ІО з даними про вироби, які перебувають на різних стадіях ЖЦВ:

- про конструкцію і версії «поточних» виробів;
- технології виготовлення виробів;
- конкретні екземпляри й партії виробів у виробництві;
- конкретні екземпляри й партії виробів, які перебувають на післявиробничих стадіях ЖЦВ.

Структура цього розділу згідно з рис. 2.17 є лише першим наближенням і вимагає розвитку й уточнення, у тому числі — розподілу на додаткові підрозділи (класифікаційні рівні).

Як уже зазначалося, крім ІО, які стосуються (прямо або опосередковано) виробів, у ІС зберігається інформація про підприємство: про виробничу й управлінську структуру, технологічне й допоміжне устаткування, персонал, фінанси тощо. Уся сукупність цих даних утворює ЗБДП, яка складається з кількох розділів.

У розділі, присвяченому економіці і фінансам, мають зберігатись ІО, що містять відомості:

- про кон'юнктуру ринку виробів підприємства, включаючи ціни та їхню динаміку;
- про стан фінансових ресурсів підприємства;
- про ситуації на фондовому й фінансовому ринках (курси акцій підприємства, біржові індекси, процентні ставки, валютні курси тощо);
- про реальний і прогнозований портфель замовлень;
- інші відомості фінансово-економічного й бухгалтерського характеру.

У розділі, присвяченому зовнішнім зв'язкам підприємства, мають зберігатись ІО, які містять відомості про фактичних і можливих постачальників, споживачів (замовників); розділ формується і використовується в процесі маркетингових досліджень.

У розділі виробничо-технологічного середовища підприємства мають зберігатись ІО, що містять інформацію:

- про виробничу структуру підприємства;
- про технологічне, допоміжне й контрольно-вимірювальне устаткування;
- про транспортно-складську систему підприємства;
- про енергозабезпечення підприємства;
- про кадри;
- інші дані про підприємство.

У розділі, присвяченому системі якості, мають зберігатись ІО, що містять дані:

- про структуру системи якості, яка діє на підприємстві;
- про стандарти якості, які діють на підприємстві;
- про міжнародні і вітчизняні стандарти якості;
- про посадові інструкції в галузі якості;
- інша інформація із системи якості.

У разі потреби з ІС можна взяти різні документи, необхідні для функціонування підприємства. Документи можуть бути подані як в електронному, так і (за необхідності) у традиційному паперовому вигляді (рис. 2.18). Наведені вище склад і зміст розділів є попередніми й підлягають уточненню в процесі побудови РВ.

Різноманітність ІО в складі ІС, складність логічної та фізичної структури та ряд інших факторів визначають необхідність його поетапного створення. Визначаючи етапи розробки і вибираючи раціональний склад програмно-технічних засобів, варто брати до уваги такі обставини:

1. ІС має бути системою, яка розвивається, має програмно-методичне ядро, що допускає формування і приєднання нових даних без зміни вже існуючих.

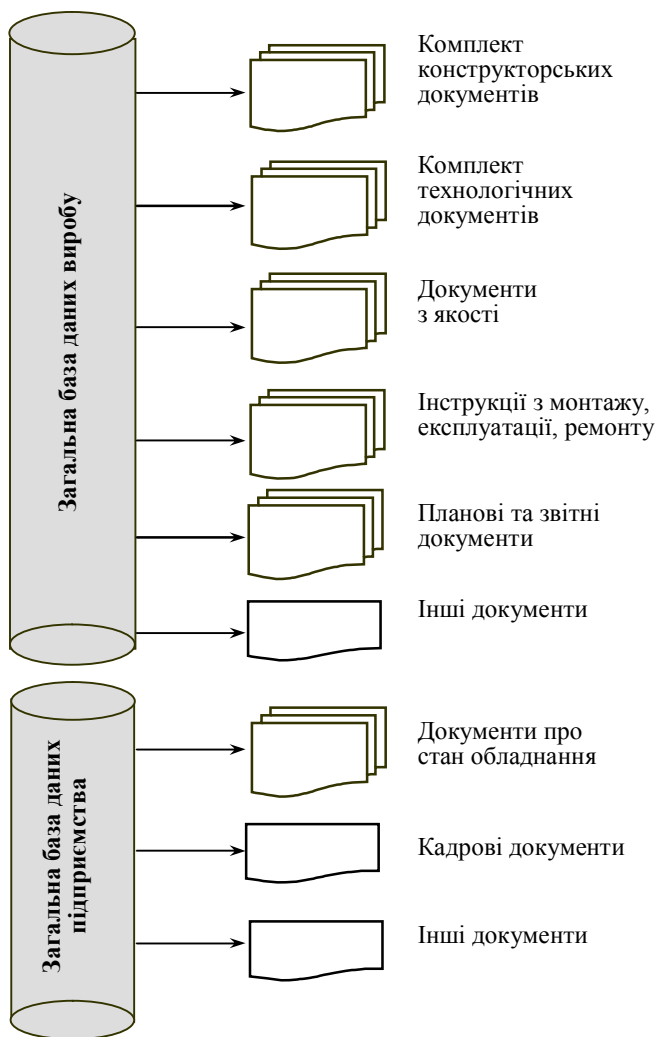


Рис. 2.18. Склад документації підприємства в інтегрованому інформаційному середовищі

2. ПС має бути системою, яка розвивається, має програмно-методичне ядро, що допускає формування і приєднання нових даних без зміни вже існуючих.

3. ПС має забезпечувати цілісність даних, що містяться в ньому, за будь-яких перетворень цих даних на різних стадіях ЖЦВ.

4. ПС має забезпечувати й підтримувати чітку та однозначну регламентацію прав доступу до даних, що утримуються в ньому.

5. ПС має забезпечувати дружній користувальницький інтерфейс і мати засоби інтерактивного обміну даними з різними додатками.

6. ПС має забезпечувати можливість включення у свій склад уже наявних на підприємстві даних, які створені та використовуються в межах раніше встановлених систем і підсистем (CAD/CAM, PDM і т. ін.).

7. ПС має забезпечувати взаємодію із засобами електронного цифрового підпису.

На сьогоднішній день очевидно, що програмно-методичним ядром ПС і, отже, основою застосування CALS-технологій на розширеному виробництві мають бути системи класу PDM (Product Data Management). Як показує навіть поверхневий аналіз, ці системи прямо або з доробками здатні задовольнити зазначені вище вимоги.

На вітчизняному ринку програмних засобів можна знайти кілька програмних продуктів класу PDM-систем: PDM STEP Suite (НДЦ «Прикладная Логистика», Росія), IMAN (Unigraphics Solutions, США), Windchill (PTC, США), Enovia (IBM Corp, США), SmarTeam (IBM/Dassault Systemes, США/Франція) та ін. Ці продукти відрізняються один від одного набором виконуваних функцій і в основному вирішують завдання інтеграції та управління даними під конкретні АС.

З появою розширених виробництв до PDM-систем висуваються такі специфічні технічні вимоги:

1. Можливість використання структури даних, регламентованих стандартами групи ISO 10303 (STEP).

2. Можливість управління конфігурацією виробів і процесами внесення змін.

3. Можливість управління функціями персоналу підприємства, принаймні у процесах технічної підготовки й управління виробництвом.

4. Можливість управління документообігом.

5. Можливість інформаційного забезпечення логістичної підтримки виробів на післявиробничих стадіях ЖЦВ.

6. Можливість генерування і супроводу різноманітних специфікацій, відомостей тощо.

7. Можливість управління даними не тільки про виріб, а й про підприємство.

8. Можливість управління потоками завдань під час розроблення технічної документації та внесення змін до документів (Workflow).

Вивчення іноземного досвіду створення РВ дає змогу зробити висновок про те, що інформаційне забезпечення РВ може бути організовано різними способами, однак за його основу неодмінно буде взято принцип єдності і відкритості інформаційного простору РВ, у

межах якого організується взаємодія всіх його учасників. Це можливо тільки за умови єдності інформаційного уявлення про виріб: необхідно сформулювати й підтримувати єдину інформаційну модель упродовж усього ЖЦВ.

У такий спосіб визначається головне завдання побудови інформаційного забезпечення РВ і створення інтегрованого інформаційного середовища ЖЦВ або його частини. Вирішувати ці завдання необхідно за допомогою стандартів ISO, упровадження CALS-технологій та PLM-рішень.

Тож для побудови АСТПВ під час створення розширених підприємств необхідно вирішити такі завдання:

1. Всеосяжна комп'ютеризація всього аспекту інженерних задач у проектуванні і підготовці виробництва з вибором базових CAD/CAM/CAE-систем, які підтримують відповідні формати даних для обліку конструкторської й технологічної документації.

2. Організація єдиної бази даних проекту для підтримки всіх стадій ЖЦВ, комп'ютеризація управління проектуванням і підготовкою виробництва на основі PDM-системи [161].

Варто зазначити, що CAD/CAM/CAE-системи та PDM-системи, які використовуються на підприємстві, повинні підтримувати структуру формату даних, регламентованих ISO-стандартами. При цьому прикладні програми має бути подано в стандарті CORBA (The Common Object Request Broker Architecture), що дасть змогу використовувати дані, які одержуються через Інтернет і представлені відповідно до ISO-стандартів. Під час створення загальної інфраструктури мова IDL (Interface Definition Language (ISO 14750)), яка застосовується у CORBA, поєднується з мовою опису даних EXPRESS (стандарт ISO 10303). Тут IDL описує інтерфейси роботи з прикладними програмами, а об'єктно-орієнтована мова EXPRESS слугує для отримання нормалізованих моделей даних.

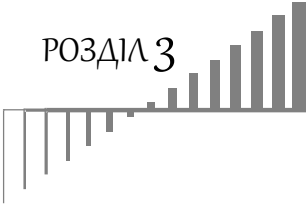
Розв'язання проблеми коректної інтеграції між CAD і PDM-системами полягає у використанні CAD-систем, які підтримують PDM Enablers interface стандарт. Це дає їм змогу взаємодіяти з більшістю PDM-систем, які використовуються на промислових підприємствах.

PDM Enablers interface — це стандартизований інтерфейс додатків Application Programming Interface (API), розроблених у середовищі IDL, що робить сервіси, які надаються PDM-системами, доступними в середовищі CORBA іншим системам, таким як CAD/CAM/CAE-системи і навіть іншим PDM-системам [162].

3. Розроблення та впровадження корпоративних стандартів ППВ розширених виробництв. Основними корпоративними стандартами мають бути:

- стандарти з організаційно-штатної структури розширеного підприємства;
- кодифікатор і класифікатор продукції та виробничих ресурсів розширеного виробництва;
- кодифікатор і класифікатор субпідрядників, створений з урахуванням цілей аналізу потоків виробничих ресурсів;
- корпоративні стандарти процедур основних функціональних операцій ТПВ, викладених у вигляді процедур згідно зі стандартом ISO 9000;
- місцева (філіальна) політика складування по кожному виробу тощо.

Отже, основою всієї інформаційної інтеграції АС є стандарт STEP. Завдяки своєму нейтральному механізму опису даних він є головним інтегруючим засобом у гетерогенних системах, які складаються з компонентів підтримки, різноманітних програмно-апаратних архітектур і технологій інтеграції. У зв'язку з цим STEP — це дещо більше, ніж промисловий стандарт; він є основою нової сучасної методології й філософії побудови виробничих автоматизованих систем та розширених виробництв.



3.1. Методологія RUP/UMI як основа для функціонального моделювання предметної галузі та бізнес- процесів ТПВ

Історія створення графічної мови UML починається з 1994 р., коли Г. Буч (G. Booch) і Дж. Рамбо (J. Rumbaugh) з Rational Software Corp. розпочали систематизацію виконаних раніше розробок. Цього ж року до них приєднався А. Джекобсон (I. Jacobson) зі шведської компанії Objectory AB. Результатом їхньої спільної праці стало опублікування в 1997 р. версії 1.0 нової уніфікованої мови візуального моделювання UML, а згодом — чергової версії [113, 124, 125, 137].

Мова UML призначена для моделювання систем, що реалізують об'єктно-орієнтований підхід. При цьому термін «уніфікований» у назві мови не є випадковим і має два аспекти. З одного боку, він фактично усуває багато неістотних розходжень між створеними раніше мовами моделювання й методиками побудови діаграм. З іншого боку, UML створює передумови для уніфікації різних моделей та етапів їх розробки для широкого класу систем, не тільки програмного забезпечення, а й бізнес-процесів. Семантика UML зорієнтована так, що не перешкоджає подальшим удосконаленням під час утворення нових концепцій моделювання. Більше того, закладені в UML потенційні можливості можна використати не тільки для об'єктно-орієнтованого моделювання, а й для подавання знань в інтелектуальних системах, якими, по суті, стануть у перспективі складні програмно-технічні комплекси.

Графічна мова UML охоплює вісім типів канонічних діаграм, які описують бізнес-процеси чи складну інформаційну систему. До цих діаграм належать:

- діаграма прецедентів (*use case*);
- діаграма класів (*class*);
- діаграма станів (*statechart*);
- діаграма діяльності (*activity*);
- діаграма послідовності (*sequence*);

- діаграма кооперації (*collaboration*);
- діаграма компонентів (*component*);
- діаграма розгортання (*deployment*).

В українському перекладі існує неоднозначність назв діаграм. Наприклад, для діаграм use case є такі переклади, як діаграма прецедентів [113] та діаграма варіантів використання [137]. Далі ми будемо дотримуватися перекладу, використаного у наведеному вище списку.

Сукупність зазначених діаграм UML має властивість уміщувати всю інформацію, необхідну для реалізації складної системи, тобто діаграми UML утворюють інтегровану модель складної інформаційної системи, що розробляється (рис. 3.1).

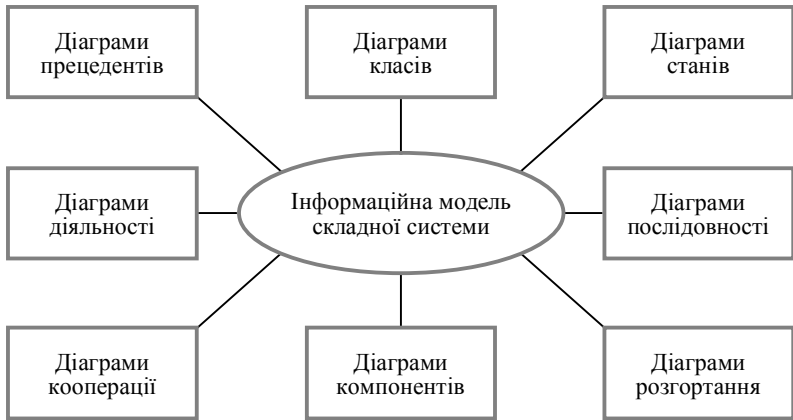


Рис. 3.1. Інтегрована модель складної системи в нотатції UML

Методологія послідовної побудови різних видів діаграм під час моделювання складної системи є невід’ємною складовою методології RUP (див. підрозд. 1.3). Важливим фактором, який сприяє практичному використанню методології RUP/UML, є розробка інструментальних засобів (наприклад, систем Rational Rose [113] та ARIS [163]), що дають змогу не тільки автоматизувати процеси побудови діаграм з подальшим документуванням, а й реалізувати ідеї автоматичного формування програм на основі загального опису моделі предметної галузі.

Методологія RUP установлює такий порядок (послідовність) розробки діаграм UML, який сприяє просуванню від загального до часткового, тому діаграми мають розроблятися в тій послідовності, у якій вони перелічені вище. Насправді діаграми прецедентів (перші в

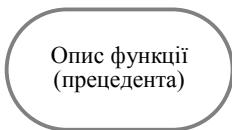
списку) описують систему на найвищому, концептуальному рівні абстракції, тимчасом як діаграми розгортання (останні в списку) визначають склад і структуру обчислювальних засобів, які використовуються для реалізації інформаційної системи. Це не означає, що на будь-якому з етапів неможливо повернутися до розроблених раніше діаграм, уточнити їх і модифікувати. Декларований у RUP ітеративний підхід поширюється й на загальний процес моделювання за допомогою діаграм.

Розглянемо призначення, характеристики та основні правила графічного зображення діаграм UML у порядку, зазначеному в наведеному вище списку. При цьому будемо створювати приклади діаграм для предметної галузі ТПВ.

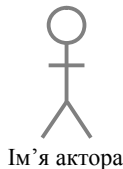
Діаграми прецедентів. Цей вид діаграм описує функціональне призначення системи. Діаграми прецедентів є вихідним концептуальним представленням чи концептуальною моделлю системи і мають такі цілі:

- визначити загальні межі та контекст предметної галузі, що моделюється на початкових етапах проектування системи;
- сформулювати загальні вимоги до функціональної поведінки проєктованої системи;
- розробити вихідну концептуальну модель системи для її подальшої деталізації у вигляді логічних і фізичних моделей;
- підготувати вихідну документацію для співпраці розробників системи з її замовниками й користувачами.

Основними елементами діаграми прецедентів є функції або прецеденти (*use case*), зовнішні суб'єкти або актори (*actor*), відношення між акторами і прецедентами та коментарі (*notes*). Прецеденти, актори й коментарі зображуються так, як показано на рис. 3.2, а відношення ілюструють різними з'єднувальними лініями (вид лінії залежить від типу відношень).



a



б



в

Рис. 3.2. Елементи діаграми прецедентів:
а — прецедент; б — актор; в — коментар

Прецедент визначає дії, які має виконати система під час взаємодії з відповідним актором. *Актор* — це певна зовнішня сутність системи, яка з нею взаємодіє. Актором можуть бути людина, технічний пристрій, програма чи інша система. *Коментар* вносить у діаграму необхідні пояснення і з'єднується пунктирною лінією з тим елементом діаграми, для якого він призначений.

На рис. 3.3 наведено приклад діаграми прецедентів, що описує систему ТПВ підприємства в загальному вигляді (припустимо, що постачальники і субпідрядники взаємодіють безпосередньо зі службами ТПВ, а не із зовнішніми для ТПВ плановими чи господарськими підрозділами підприємства).

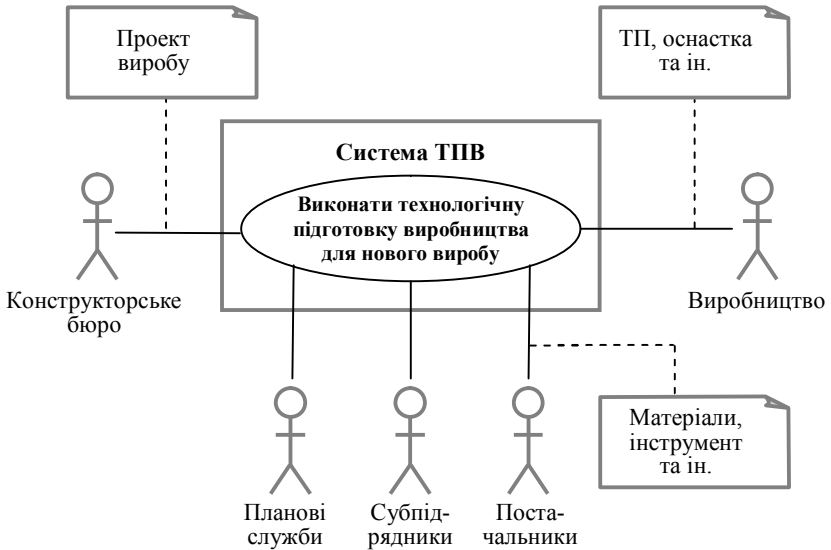


Рис. 3.3. Діаграма прецедентів для ТПВ підприємства

Суцільні лінії, що з'єднують на діаграмі актора з прецедентом, означають *відношення асоціації*. Цей тип відношень є найбільш фундаментальним і відображає деякий інформаційний та (або) матеріальний зв'язок між об'єктом та прецедентом. Лінії відношень асоціації можуть мати додаткові умовні позначення — такі як ім'я і кратність [137].

Інший тип відношень — *відношення включення* — ілюструє діаграма на рис. 3.4. Це відношення вказує, що певна функція системи є частиною іншої, більш загальної функції.

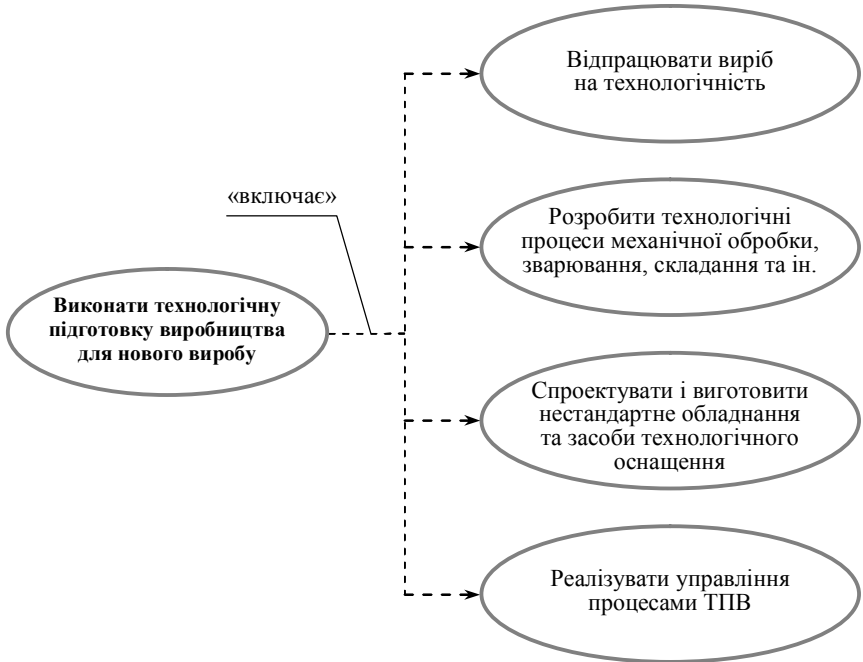


Рис. 3.4. Приклад відношень включення на діаграмі прецедентів

Іншим типом відношень на діаграмі прецедентів є відношення розширення (*extend*) та відношення узагальнення. *Відношення розширення* зображують такою самою пунктирною лінією зі стрілкою, як і відношення включення, але зі словом «розширює». Воно застосовується для зв'язку прецеденту з додатковими прецедентами тільки за певних умов [137]. *Відношення узагальнення* між двома прецедентами зображується суцільною лінією з трикутною стрілкою на кінці та означає, що даний прецедент є частковим випадком іншого прецеденту. Наприклад, прецедент «Виготовити штамп» є частковим випадком прецеденту «Виготовити формоутворювальну оснастку».

Кожна система має головну діаграму прецедентів, яка відображає акторів і загальну функцію системи. Інші діаграми можуть деталізувати різні прецеденти, показувати всі прецеденти для певного актора тощо.

Результатом концептуального характеру діаграм прецедентів є те, що на них наявні тільки функції (бізнес-процеси) і зовнішнє оточення системи, але немає об'єктів предметної галузі, елементів тимчасового функціонування системи та ін.

Діаграми класів. Цей вид діаграм призначений для побудови структурованої статичної моделі предметної галузі, яка завжди будується на основі об'єктно-орієнтованого підходу. *Клас* визначає множину об'єктів предметної галузі, яка має однаковий набір параметрів (атрибутів), що їх описують, однакове поведіння (набір реалізованих операцій) та однотипні відношення з об'єктами інших класів. На діаграмі клас зображують у вигляді прямокутника, розділеного на три секції: у верхній секції записують ім'я класу, у середній — перелік атрибутів, а в нижній — перелік операцій. Для прикладу (рис. 3.5) наведемо зображення класу «Конструкторський документ» (вказано тільки частину атрибутів і операцій).

Конструкторський документ
Назва Позначення Кількість аркушів Розробив Затвердив
Здати керівнику Взяти для виправлень Створити версію Затвердити Здати в архів

Рис. 3.5. Приклад зображення класу на діаграмі класів

Між класами на діаграмі виникають різні відношення. Найчастіше це *відношення узагальнення*, яке визначає зв'язок між більш загальним елементом (батьківським) і більш частковим (дочірнім чи нащадком). Таке відношення описує ієрархію класів і підкласів моделі у вигляді дерева зі спадкуванням атрибутів та операцій від батьківського до нащадка. На діаграмі класів відношення узагальнення зображують суцільною лінією з трикутною стрілкою, спрямованою в бік класу-батька (рис. 3.6). В одному випадку модель (3D-модель конструкторського об'єкта), креслення і повідомлення є частковими випадками поняття «конструкторський документ».

Наступними відношеннями на діаграмі класів є відношення асоціації, відношення залежності та відношення агрегації. *Відношення асоціації* означає певний логічний зв'язок між класами і зображується суцільною лінією з позначеннями, які пояснюють значення цього зв'язку (рис. 3.7).



Рис. 3.6. Приклад відношень узагальнення на діаграмі класів (вказано не всі підкласи та атрибути)

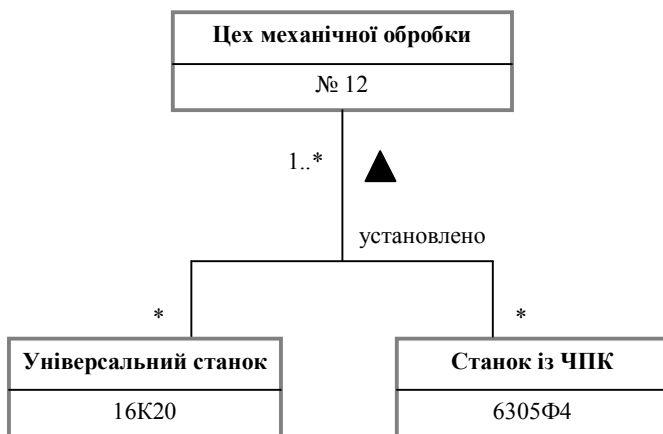


Рис. 3.7. Приклад відношення асоціації

Відношення залежності показано на рис. 3.8.

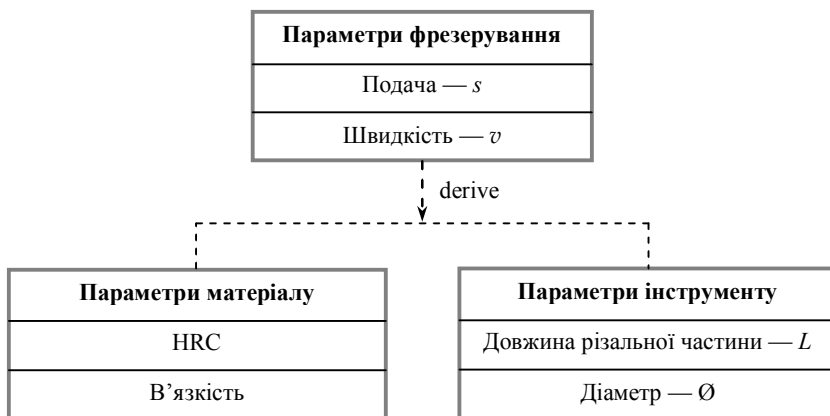


Рис. 3.8. Приклад відношення залежності

Параметри фрезерування залежать від матеріалу та різального інструменту, а слово «derive» означає, що атрибути класу-клієнта можна вирахувати за атрибутами класу-джерела. І нарешті, *відношення агрегації* існує між кількома класами тоді, коли один із класів має таку сутність, яка охоплює інші сутності (рис. 3.9).

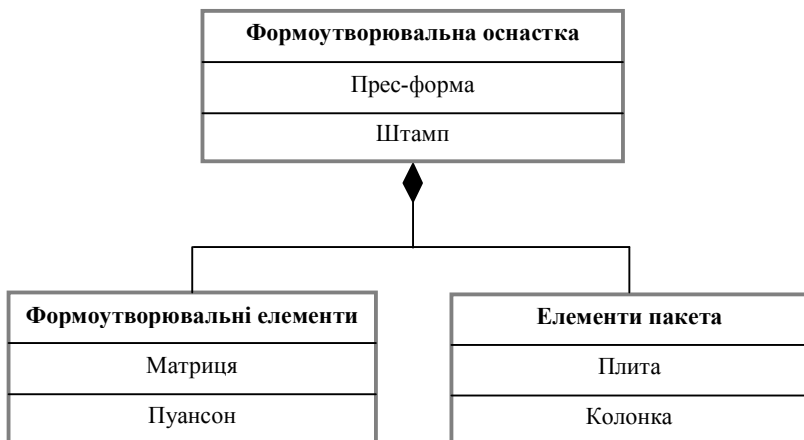


Рис. 3.9. Приклад відношення агрегації

Як зазначалося вище, діаграми класів утворюють статичну модель предметної галузі, тому для відображення динамічних аспектів функціонування системи використовують інші види діаграм.

Діаграми станів. Цей вид діаграм призначений для відображення поведінки системи чи її елементів на основі подавання цього поведінки у вигляді деякого кінцевого автомата [137]. Отже, основними елементами діаграми станів будуть стани й переходи. Стан на діаграмі зображують прямокутником із заокругленими кутами, у середині якого записують ім'я стану. Початковий і кінцевий стани зображують у вигляді чорних кружків (для кінцевого стану кружок має додаткове обведення). Перехід зображують прямою лінією чи дугою зі стрілкою, спрямованою до цільового стану, а біля лінії (дуги) розміщують текстовий опис переходу.

Практична цінність поняття стану в тому, що система може виконувати різні дії залежно від того, у якому стані перебуває той чи інший об'єкт або процес. Крім цього, перехід до певного стану може ініціювати виконання тих чи інших проектних, організаційних та інших процедур.

Для прикладу діаграми станів наведемо діаграму можливих станів документа (конструкторського, технологічного тощо) (рис. 3.10).

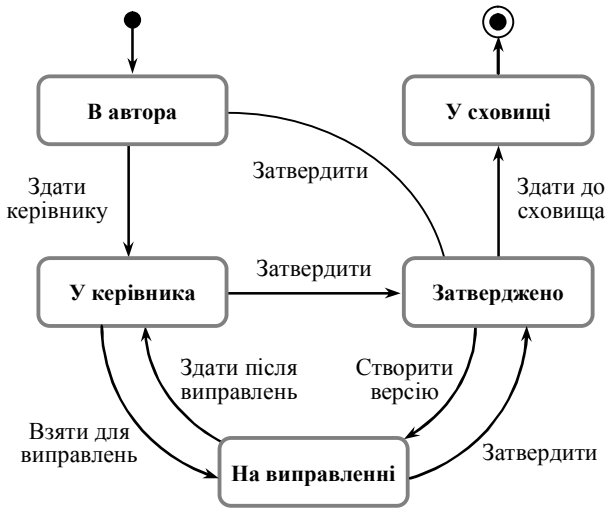


Рис. 3.10. Діаграма станів документа

Зауважимо, що ця діаграма реалізована у відомій PDM-системі SmarTeam [139], яка дає змогу ефективно організувати збереження документів у загальній базі даних і управляти документообігом. Ще один приклад — діаграма станів оснастки (рис. 3.11).

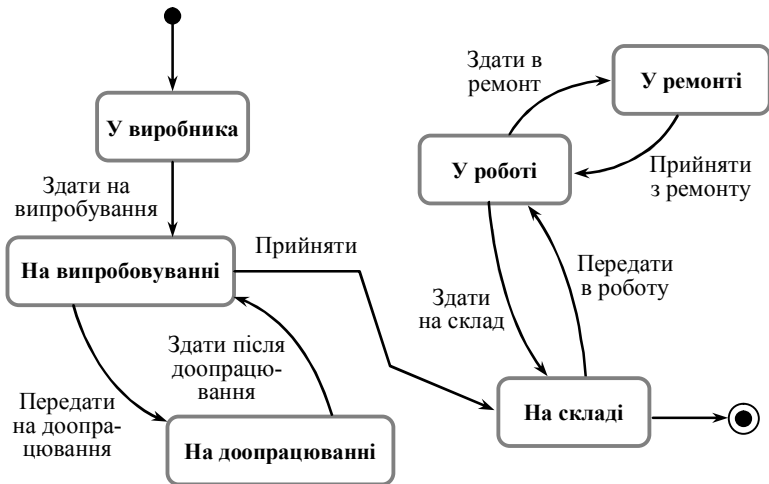


Рис. 3.11. Діаграма станів оснастки

Діаграми діяльності. Ці діаграми за своїм зовнішнім виглядом нагадують звичайні алгоритми й можуть розглядатися як подальша деталізація діаграм прецедентів. Основним елементом діаграми діяльності є дія (виконувана функція), але на відміну від діаграми прецедентів ця функція є внутрішньою для системи, тобто вона необов'язково має «замикатися» на зовнішньому суб'єкті — акторі. Графічно дію зображують на діаграмі фігурою у вигляді прямокутника, бічні сторони якого замінено дугами; усередині прямокутника розміщують назву (опис) дії. Перехід від однієї дії до іншої показують суцільною лінією зі стрілкою. Умовний перехід, як і в алгоритмах, зображують у вигляді ромба. Початок і кінець алгоритму ілюструють кружками так само, як у діаграмі станів. На відміну від звичайного алгоритму, діаграма станів може містити елементи синхронізації дій у часі у вигляді потовщеного горизонтального відрізка, на якому замикаються лінії переходів.

Варіант «поділ» означає поділ одного процесу на кілька паралельних процесів, а варіант «злиття» — продовження у вигляді одного процесу, але тільки після того, як буде виконано процеси, що входять до межі злиття.

Як приклад діаграми діяльності наведемо діаграму, що описує процес проектування прес-форми на підставі отриманої 3D-моделі деталі (рис. 3.12).

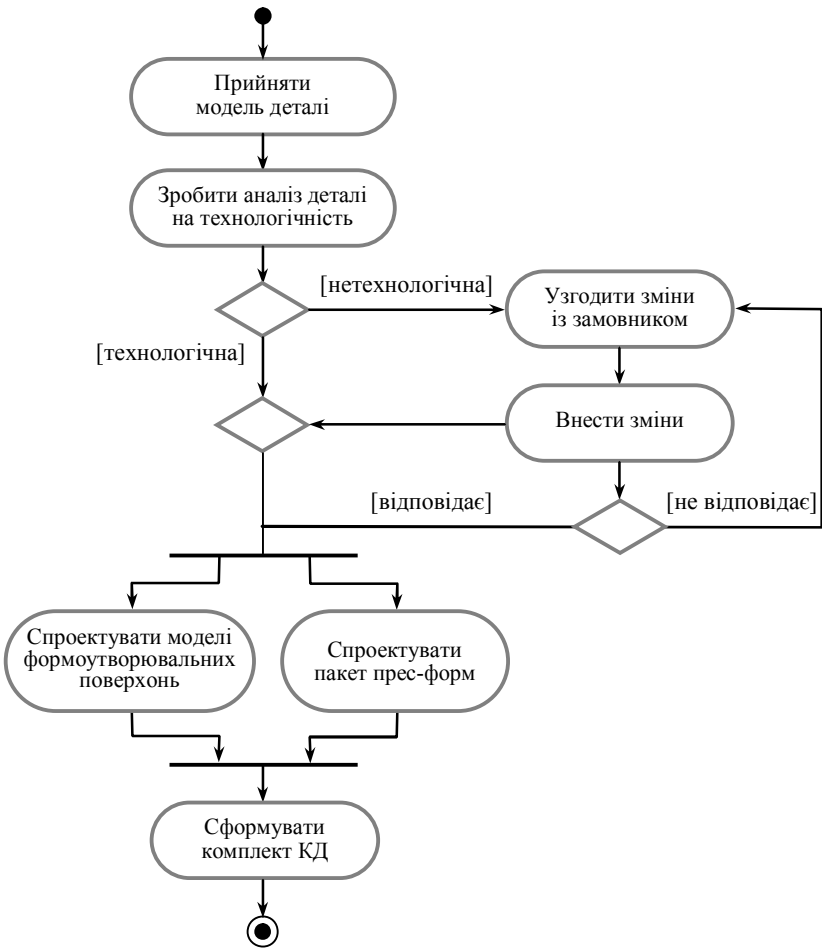


Рис. 3.12. Приклад діаграми діяльності

Існує ще один вид діаграм діяльності, спеціально орієнтований на представлення бізнес-процесів, — діаграми з доріжками. Вони дають змогу зображувати процеси в контексті їх виконання різними підрозділами та службами підприємства. При цьому всі дії на діаграмі поділяються на групи, які відокремлюються одна від одної вертикальними лініями. Дві сусідні лінії утворюють доріжку, а дії між цими лініями виконує конкретний підрозділ, назву якого записують у верхній частині доріжки. Перетинати лінію доріжки можуть тільки переходи, які при цьому означають вхід потоку управління до від-

повідного підрозділу чи вихід з нього. Приклад діаграми діяльності з доріжками наведено на рис. 3.13.

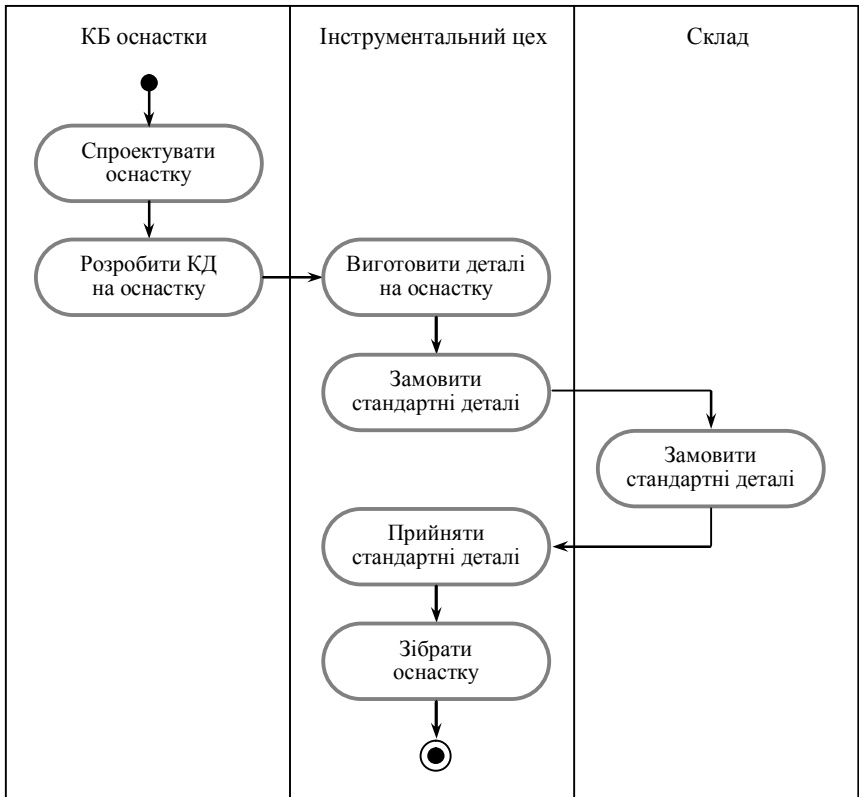


Рис. 3.13. Приклад діаграми діяльності з доріжками

Діаграми послідовності. Ці діаграми призначені для моделювання тимчасової взаємодії об'єктів предметної галузі. Об'єкти, що беруть участь у взаємодії, зображують прямокутниками. У прямокутнику записують підкреслене ім'я об'єкта і (через двокрапку) ім'я класу даного об'єкта. Допускається не вказувати ім'я об'єкта, а тільки ім'я класу. Усі об'єкти розташовуються по горизонталі у верхній частині діаграми, а від кожного об'єкта вниз відходить пунктирна лінія — лінія життя. Об'єкти можуть обмінюватися повідомленнями, які зображують суцільними лініями зі стрілкою (повідомлення-відповідь показують пунктирною лінією). Ці лінії спрямовані від лінії життя одного об'єкта до лінії життя іншого, над лінією розташо-

вують ім'я повідомлення. Існують також інші елементи діаграм послідовності [137], які тут не розглянуто.

Для прикладу наведемо діаграму послідовності, яка ілюструє процес обміну повідомленнями в КБ оснастки під час проектування формоутворювальної оснастки та інструменту (рис. 3.14).

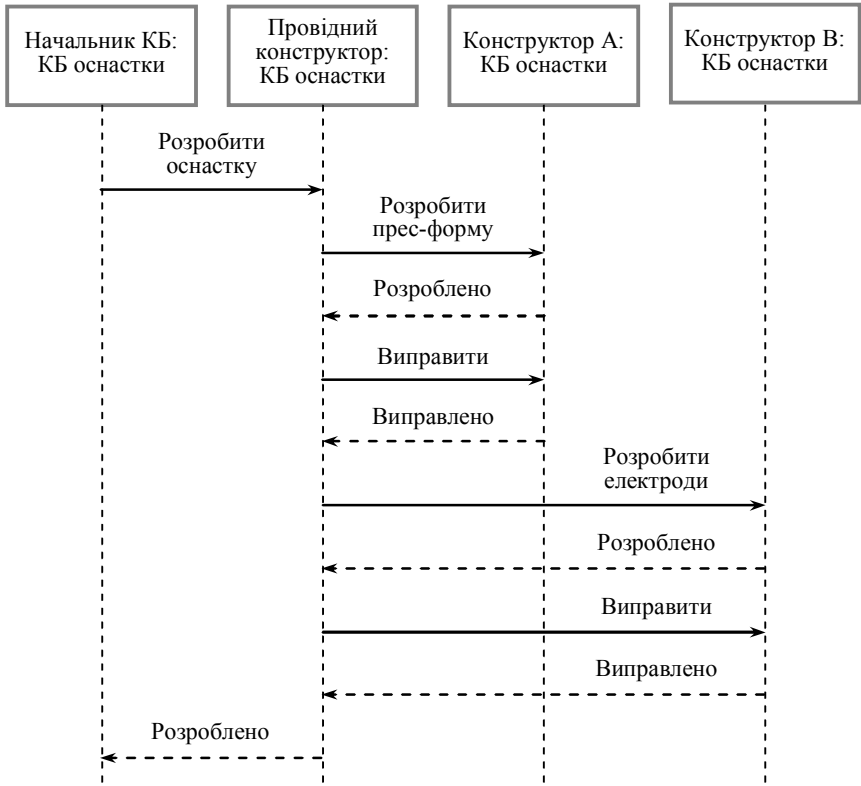


Рис. 3.14. Приклад діаграми послідовності

Діаграми кооперації. Ці діаграми, як і діаграми послідовності, призначені для моделювання взаємодії об'єктів предметної галузі. Однак у них акцент робиться не на «хронологічній» послідовності повідомлень, а на структурній взаємодії учасників. Існують два різновиди діаграм кооперації — діаграми рівня специфікації та діаграми рівня деталізації.

Основними елементами діаграми рівня специфікації є *кооперація* та її учасники. Кооперація — це певна дія (процес), яка виконується

учасниками спільно з деяким поділом ролей. Учасників на діаграмі зображують такими самими прямокутниками, як на діаграмі послідовності, чи у вигляді акторів, а кооперацію показують пунктирним еліпсом, який з'єднує пунктирними лініями з учасниками (поруч з лінією записується назва ролі). Це показано на рис. 3.15, де зображено діаграму кооперації рівня специфікації для процесу виготовлення формоутворювальної оснастки.

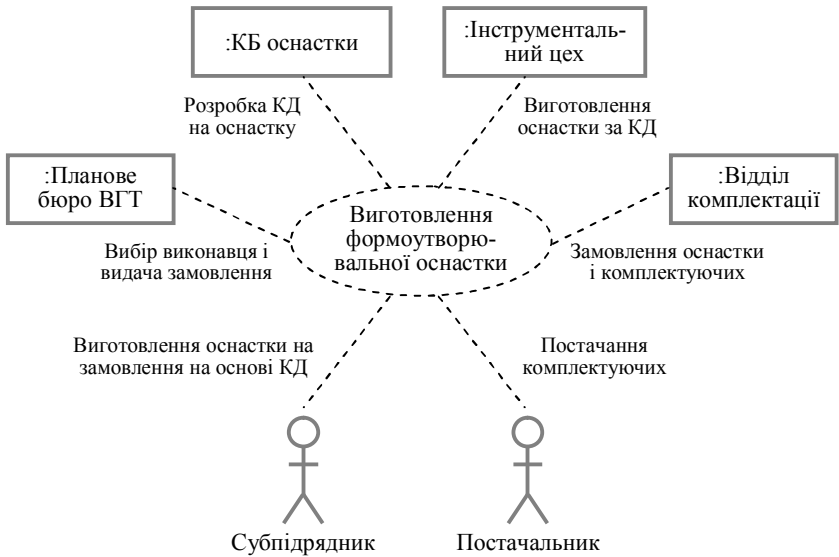


Рис. 3.15. Приклад діаграми кооперації (рівень специфікації)

На діаграмах рівня деталізації вказується склад учасників кооперації та деталізуються зв'язки між ними. Поруч зі зв'язком (суцільною сполучною лінією) можуть проставлятися повідомлення у вигляді ліній зі стрілкою та назвою повідомлення. Як і в діаграмах послідовності, лінії з повідомленнями-відповідями зображують пунктиром.

На рис. 3.16 наведено ту саму діаграму кооперації для процесу виготовлення формоутворювальної оснастки, що і на рис. 3.15, але вже на рівні деталізації. Як і у випадку діаграм послідовності, діаграми кооперації можуть охоплювати ряд складніших елементів [137], які в цьому разі не розглядаються.



Рис. 3.16. Приклад діаграми кооперації (рівень деталізації)

Діаграми компонентів і діаграми розгортання. Ці види діаграм називають діаграмами реалізації [137]. Вони відображають структуру і склад програмних компонентів системи (діаграми компонентів), що розробляється, і технічну платформу, на базі якої це програмне забезпечення функціонуватиме (діаграми розгортання).

Компоненти мають спеціальні графічні позначення (рис. 3.17), між якими може бути встановлено зв'язки у вигляді ліній.

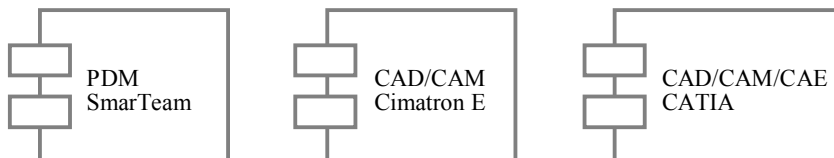


Рис. 3.17. Приклади зображення компонентів на діаграмі

Для сфери ТПВ у значенні компонентів можуть виступати CAD/CAM, CAE і PDM-системи, їхні додатки, самостійні програмні модулі. Варто зазначити, що діаграми компонентів, як і діаграми розгортання, стосуються «фізичної» реалізації створюваної інформаційної системи й безпосередньо не мають специфіки бізнес-процесів предметної галузі, що моделюється. Тому розглядати ці види діаграм не будемо.

Зауважимо, що наведена вище трансляція понять мови UML на предметну галузь ТПВ створює основу для подальшої розробки методичних матеріалів із використання мови UML для моделювання сфери ТПВ на підприємствах вітчизняного машинобудування та для проведення наукових досліджень у галузі побудови АС виробничого призначення [149].

3.2. Функціональні моделі бізнес-процесів ТПВ та їх реалізація засобами PDM-системи

Як було показано в підрозд. 3.1, функціональні моделі бізнес-процесів у нотації UML описуються діаграмами прецедентів і діаграмами діяльності, в яких основним структурним елементом є виконувана функція. Принципове розходження між цими видами діаграм полягає в тому, що в діаграмах прецедентів функція (прецедент) визначається стосовно зовнішнього суб'єкта (актора), що істотно обмежує можливість її подальшої деталізації. На відміну від цього, у діаграмах діяльності функція (дія) не має подібних обмежень, що дає змогу деталізувати діаграми до тієї форми, у якій їх безпосередньо можна використати під час побудови алгоритмів бізнес-процесів у створюваній системі (у цьому разі в АСТПВ).

Варто зазначити, що діаграми бізнес-процесів ТПВ за будь-якого рівня абстракції не можуть бути цілком незалежними від особливостей конкретного підприємства. Так, навіть у разі найвищого рівня абстракції діаграма прецедентів, зображена на рис. 3.3, може набути трохи іншого вигляду (рис. 3.18). Ця діаграма описує в загальному вигляді систему ТПВ для великого приладобудівного підприємства.

Наведені нижче в цьому розділі інші функціональні діаграми бізнес-процесів ТПВ також відображають певну специфіку такого підприємства, проте вони є досить типовими.

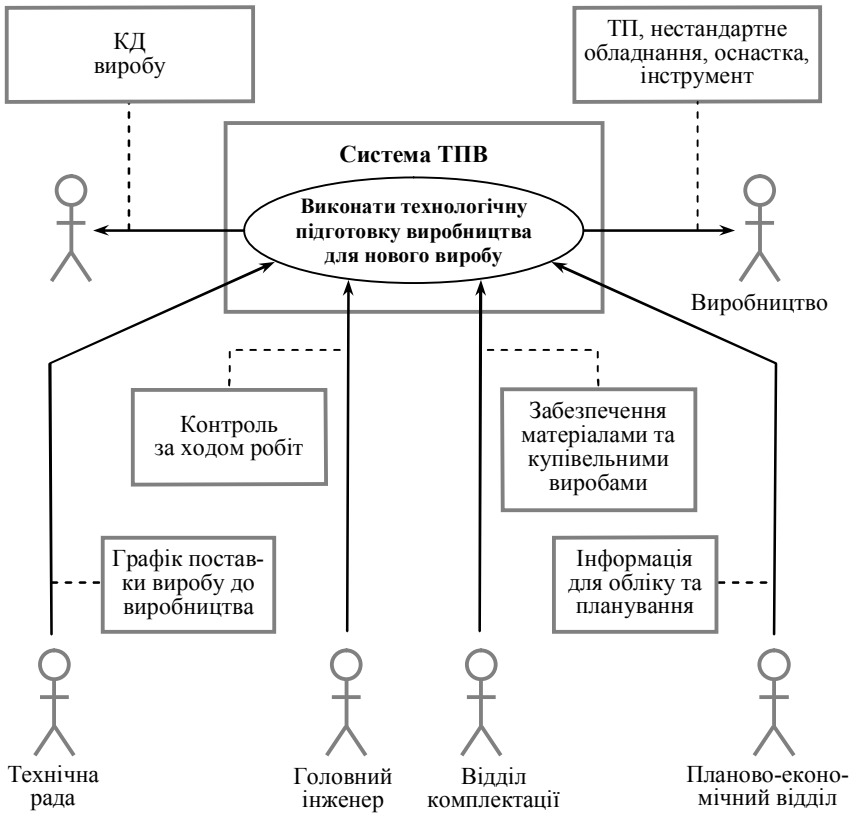


Рис. 3.18. Загальна діаграма прецедентів для системи ТПВ

Наступний рівень деталізації функцій (бізнес-процесів) ТПВ визначається діаграмою прецедентів, що подана раніше на рис. 3.4. Це відомий перелік функцій ТПВ, подальша деталізація якого враховує особливості конкретного підприємства й вимагає переходу до опису цих функцій за допомогою діаграм діяльності з доріжками.

На рис. 3.19—3.22 наведено діаграми діяльності для основних функцій ТПВ, які охоплюють: відпрацювання виробу на технологічність; проектування нестандартного обладнання; проектування оснастки чи засобів технологічного оснащення; проектування тех-

нологічних процесів. Функція керування ТПВ не може бути деталізована однією діаграмою — вона неявно входить до складу всіх поданих вище видів діаграм у вигляді потоків управління роботами з проектування та виготовлення.

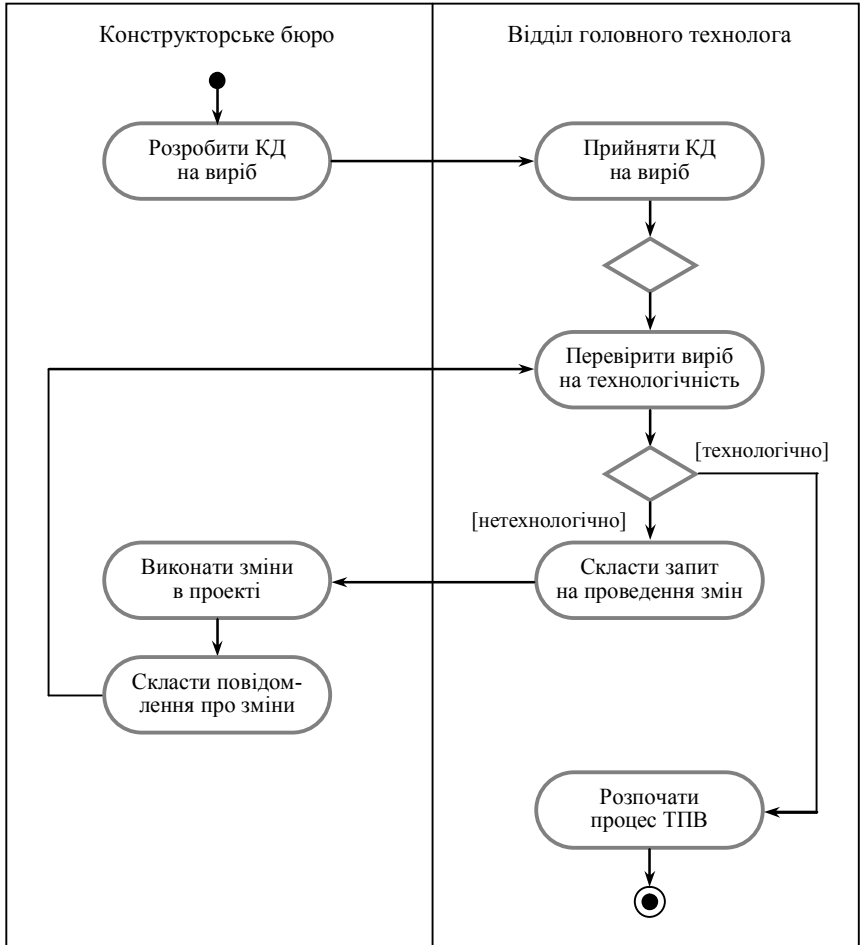


Рис. 3.19. Діаграма діяльності для функції ТПВ «Відпрацювання виробу на технологічність»

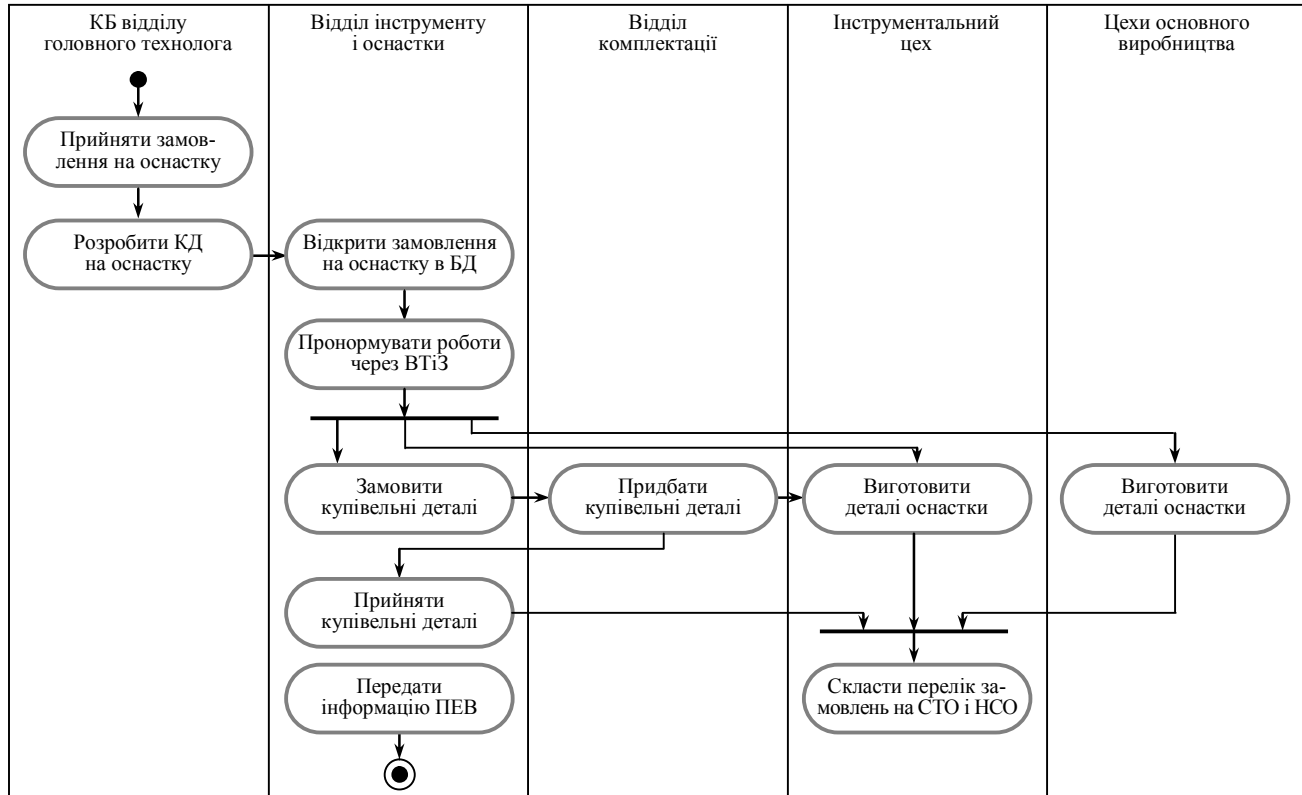


Рис. 3.20. Діаграма діяльності для функції ТПВ «Проектування і виготовлення оснастки»

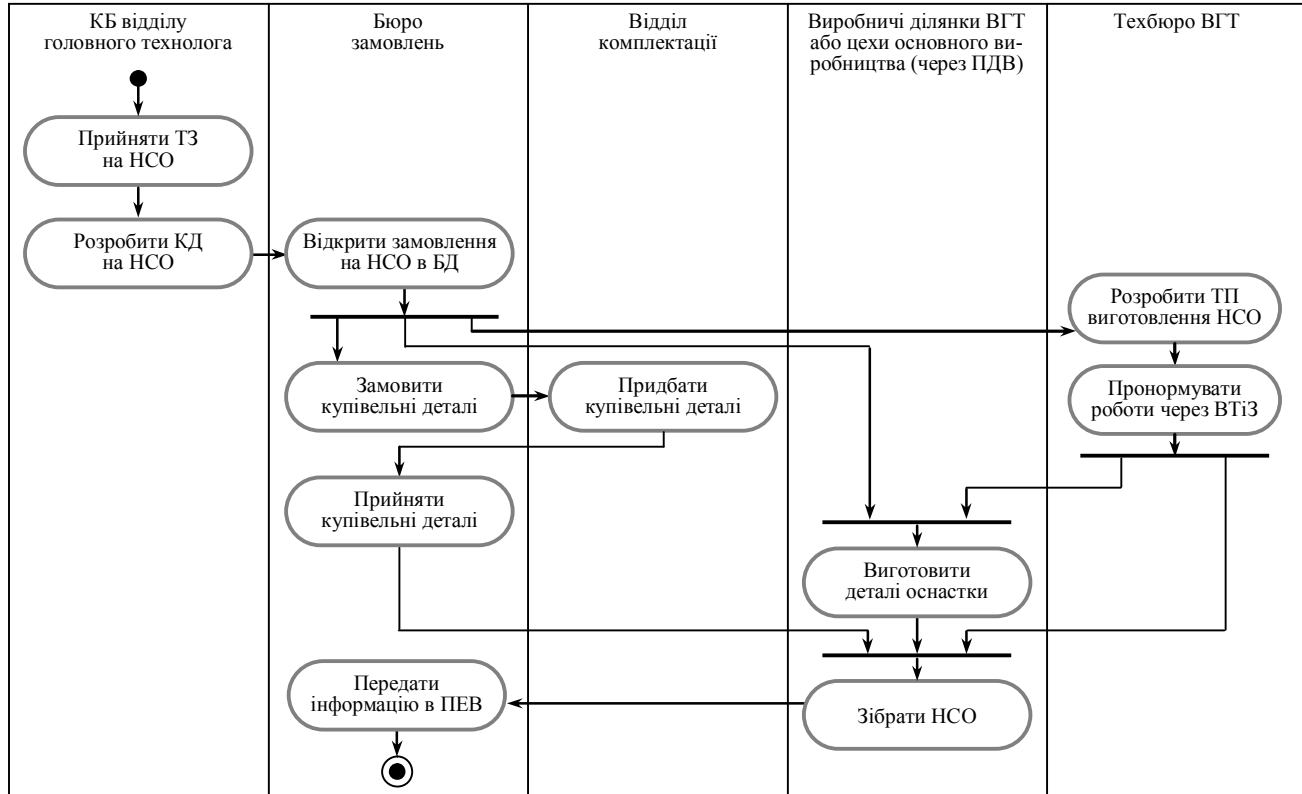


Рис. 3.21. Діаграма діяльності для функцій ТПІВ «Проектування та виготовлення НСО»

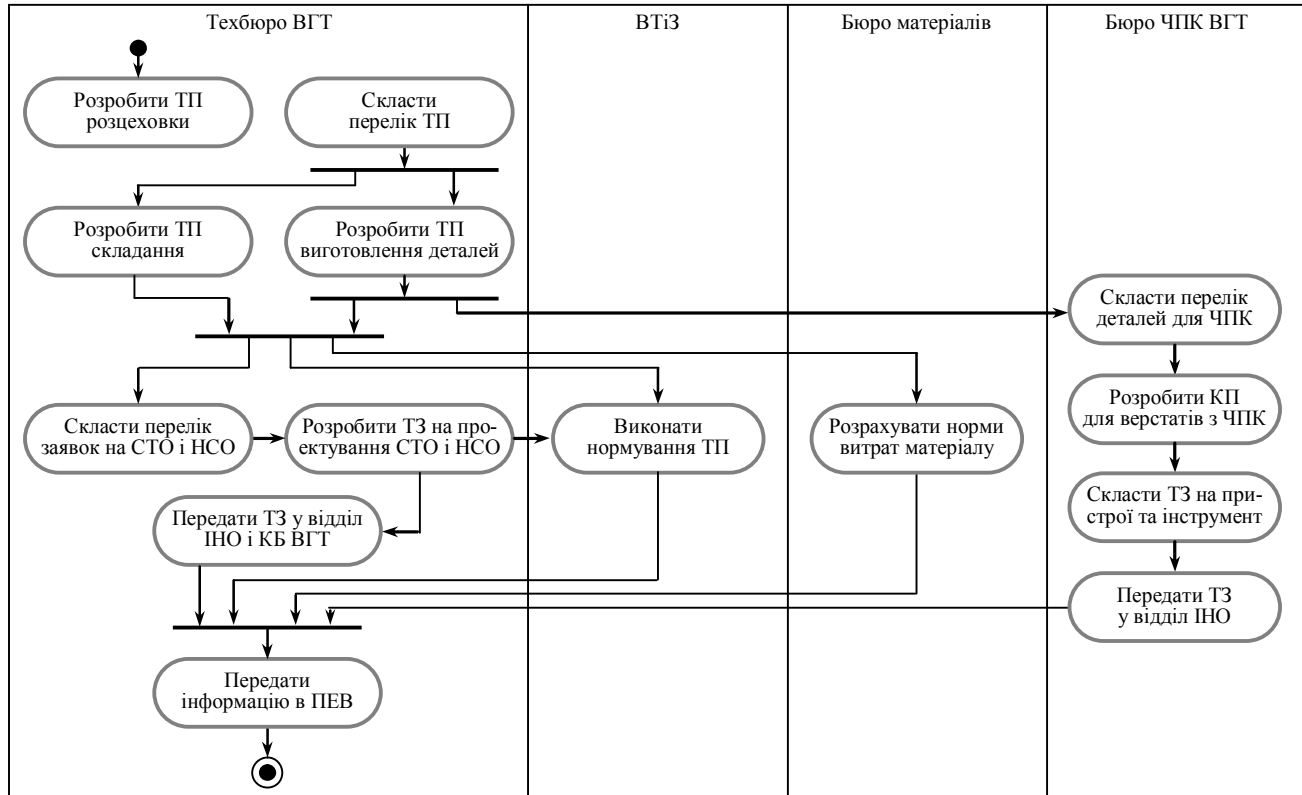


Рис. 3.22. Діаграма діяльності для функції ТПВ «Проектування ТП»

Особливості підприємства на цих діаграмах виражаються не стільки в конкретних назвах відділів, скільки в специфіці реалізації окремих функцій. Наприклад, для виготовлення деталей нестандартного обладнання чи оснастки можуть використовуватися не тільки потужності інструментального цеху, але і деяких цехів головного виробництва. Певна специфіка має місце також у процесі організації проектування ТП, включаючи розробку КП для верстатів із ЧПК. Проте наведені на діаграмах форми організації бізнес-процесів ТПВ мають досить типовий характер і можуть розглядатись як аналоги.

Однак рівень деталізації бізнес-процесів ТПВ на поданих діаграмах ще не дає змоги використовувати їх для складання графіків виробничих завдань в АСТПВ з метою безпосередньої організації управління процесами підготовки виробництва. Щоб проаналізувати подальшу деталізацію, необхідно конкретніше окреслити її кінцеві форми, тобто форми реалізації механізмів управління потоками виробничих завдань (Workflow) у PDM-системі. Тому розглянемо коротко реалізацію механізмів Workflow у PDM-системі SmarTeam.

Графіки Workflow у SmarTeam візуально являють собою сукупність вузлів і з'єднувачів, по яких інформація переміщується від одного вузла чи стану до іншого (рис. 3.23). Вузол визначає виробничі завдання та його характеристики. Під час складання виробничого завдання для кожного вузла вказують такі властивості, як користувач, дії якого в робочому процесі відповідають цьому вузлу графіка завдань, і завдання, яке він повинен виконати, а також терміни чи інші умови виконання завдання. У принципі можна створювати такі вузли, завдання в яких будуть виконуватися не користувачем, а самою системою SmarTeam (наприклад, передавання даних чи видача повідомлень). Завдання бувають трьох типів:

1. *Ручне завдання*. Користувач просто виконує те, що йому запропоновано в цьому вузлі, і відсилає результати далі.

2. *Операція*. Користувач повинен виконати яку-небудь стандартну дію, яка підтримується системою, наприклад «Узяти на зміну», «Затвердити».

3. *Скрипт*. У цьому разі користувач вузла повинен запустити складену раніше програму (скрипт), яка виконає необхідні дії.

Графік завдань має один стартовий (початковий) вузол, що відповідає початку робіт, і один кінцевий вузол, досягнення якого свідчить про завершення виконання графіка. Графік описує загальну схему виробничого процесу безвідносно до об'єкта, для якого цей процес застосовується. Наприклад, графік «Розробити складальне креслення» описує схему дій безвідносно до конкретної складальної одиниці.

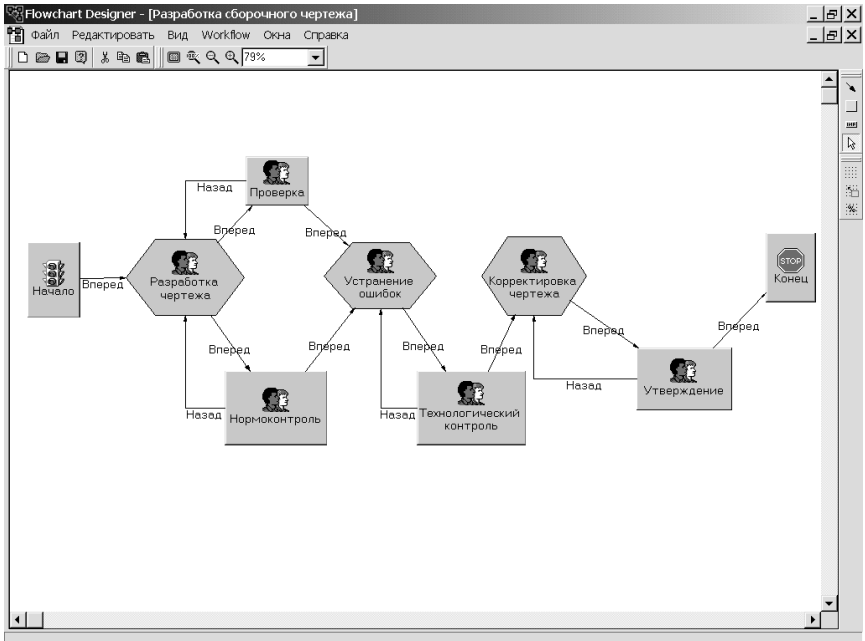


Рис. 3.23. Візуальне подання графіка Workflow у PDM SmarTeam

Після створення графіка його можна використати для запуску процесу виконання конкретного завдання. Ініціювання процесу виконання відбувається на основі будь-якої події, наприклад закінчення розробки моделі складальної одиниці. Під час ініціювання відбувається «прив'язка» графіка завдань до конкретної ситуації (у цьому прикладі це прив'язка графіка «Розробити складальне креслення» до конкретної складальної одиниці).

Сам процес виконання відбувається так. Після ініціювання процесу в стартовому вузлі графіка ініціюються ті вузли, які зв'язані з'єднувачами зі стартовим вузлом. Користувачі, які прикріплені до цих вузлів, засобами внутрішньої електронної пошти одержують директиви (повідомлення) про потребу виконати зазначені завдання. Разом з директивами передається вся необхідна для роботи інформація. Після того, як користувач виконав завдання, він повідомляє систему про виконання. Це ініціює наступні вузли графіка, які мають з'єднання з даним вузлом і т. д., до завершення виконання всіх робіт у кінцевому вузлі графіка. Виконані вузли завдання мають спеціальну кольорну позначку, яка дає змогу легко контролювати загальний стан робіт.

Графіки завдань передбачають можливість створення послідовних, рівнобіжних, а також комбінованих шляхів (з'єднань). Завдання в графіках можуть мати так звані тригери (перемикачі) подій, що спрацюють або коли завдання отримано, або коли його виконано. За допомогою тригера подій можна ініціювати інший графік завдань чи програму-скрипт, забезпечуючи велику гнучкість виконуваних дій. Будь-яке завдання може перебувати в одному зі «стандартних» станів (*work-in-process* — не завершено; *registered* — зареєстровано; *controlled* — контролюється; *released* — затверджено; *frozen* — припинено) чи в одному зі станів, заданих користувачем у процесі виконання дій.

Графіки завдань створюються за допомогою спеціального компонента SmartTeam — програми Flow Chart Designer з графічним інтерфейсом. Програма дає змогу створювати вузли різної форми, з різними рисунками (як рисунок можна помістити фотографію користувача вузла), перетягувати вузли і з'єднувачі по екрану, задавати напрямки передавання інформації від одного вузла до іншого тощо. Спеціальне вікно дозволяє спостерігати за статусом будь-якого завдання в реальному масштабі часу. Користувачі також можуть переглядати звіти з різною інформацією, що виникає в процесі виконання виробничих завдань. У систему включені шаблони типових графіків завдань (наприклад, процесу інженерних змін). Ці шаблони спрощують побудову графіків і можуть бути змінені для цілей конкретного підприємства.

Для відправлення й одержання повідомлень про необхідність виконання завдань використовують побудовану в SmartTeam поштову систему повідомлень SmartBox (рис. 3.24). Користувачі можуть налаштувати її на періодичну перевірку надходження нових повідомлень. Система електронної пошти не потрібна, однак SmartTeam може бути приєднаний до електронної пошти, щоб мати можливість додаткового повідомлення та інформування користувачів.

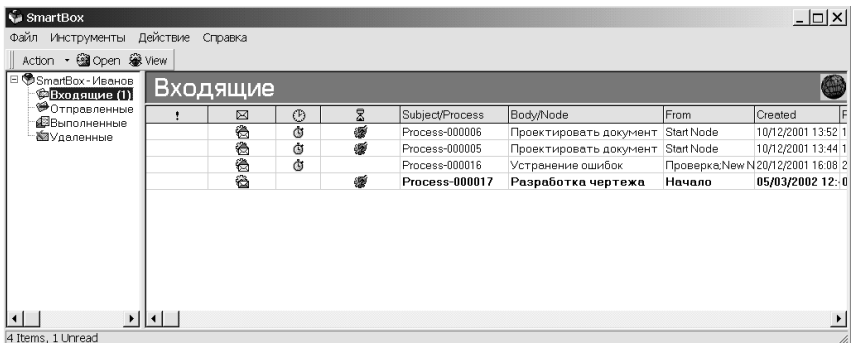


Рис. 3.24. Поштова система повідомлень SmartBox

Інструкції, файли й дані, що мають бути задіяні, приєднуються до повідомлень, які надсилаються. Великі набори даних, наприклад CAD-моделі, у дійсності не надсилаються, але користувачеві повідомляється їхнє розташування, щоб він міг легко одержати доступ до них. Це забезпечує невеликий розмір приєданого пакета. Відправлені дані завдань та інструкцій з'являються в поштовій скриньці одержувача. Повідомлення про події (наприклад, про затвердження) можуть бути також надіслані іншим користувачам, яким не потрібно виконувати жодних дій.

Як було зазначено в підрозд. 3.1, графіки виробничих завдань (деталізовані бізнес-процеси) зберігаються в ІС ТПВ як дані та є невід'ємною частиною ІС. Доступ до цих даних і робота з ними реалізуються механізмами Workflow PDM-системи.

Повертаючись до діаграм діяльності, зазначимо, що вузли діаграми (дії) відповідають вузлам графіка Workflow, а взаємозв'язки між вузлами — з'єднувачам графіка. Вузол графіка характеризується також виконавцем даної дії; на діаграмі такий виконавець відповідає конкретній доріжці. Однак доріжка може відповідати як окремому виконавцю, так і виробничому підрозділу, а виконавець у вузлі графіка Workflow відповідає автоматизованому робочому місцю. Це важливе розходження вимагає встановлення певних правил переходу від діаграм діяльності до графіка Workflow. Сформулюємо ці правила:

1. До діаграм — прототипів графіків Workflow можна переходити тільки після визначення складу автоматизованих робочих місць (АРМ), які мають можливість роботи з механізмами Workflow PDM-системи, і складу фахівців ТПВ, котрі мають доступ до цих АРМ.

2. Кожна доріжка діаграми-прототипу має відповідати фахівцю (конструктору, технологу, нормувальнику, начальнику відділу та ін.), які беруть участь в управлінні процесами ТПВ з використанням даного АРМ.

3. Якщо фахівець, який має АРМ, є керівником групи виконавців, котрі не мають доступу до засобів Workflow (наприклад, начальник конструкторського бюро оснастки, в якому працюють 5 конструкторів), то його функції на діаграмі діяльності відповідають функціям усієї групи.

Ці правила враховують можливість найрізноманітніших конфігурацій засобів САПР (CAD/CAM/CAE) і засобів Workflow PDM-системи для управління процесами ТПВ. Наприклад, можливі такі конфігурації:

- усі співробітники підрозділу ТПВ (наприклад, конструкторське бюро оснастки) використовують на своїх місцях PDM і CAD-

систему, але засоби Workflow встановлено тільки на комп'ютері начальника конструкторського бюро;

- комп'ютер із засобами Workflow доступний усім співробітникам конструкторського бюро, і кожен з них працює і звітує відповідно до свого графіка незалежно від того, які засоби він використовує для автоматизації проектування.

Із наведеного вище не випливає, що діаграми діяльності розробляються тільки з метою подальшого складання графіків управління виробничими завданнями. На початкових етапах деталізації функціонального опису головною метою є аналіз предметної галузі для прийняття організаційно-технічних рішень і проведення оптимізації бізнес-процесів ТПВ. Так, на підставі функціональних процесів проектування оснастки можна проаналізувати склад розв'язуваних задач і прийняти рішення про вибір використовуваних у складі АСПВ CAD/CAM/CAE-систем, а також визначити необхідну кількість АРМ.

Зауважимо, що немає потреби описувати в діаграмах діяльності ті процеси, які реалізовані «всередині» вже обраних базових систем. Наприклад, якщо обрана CAD-система забезпечує автоматизоване наскрізне вирішення всіх питань проектування формоутворювальної оснастки та інструменту (побудова формоутворювальних поверхонь на підставі моделі виробу, побудова формоутворювальних елементів оснастки, проектування конструкції прес-форми з використанням стандартних деталей, проектування електродів для прошивної електроерозійної обробки, одержання всієї необхідної креслярсько-конструкторської документації), то немає потреби описувати ці функції на рівні діаграм. Інший приклад — проектування в САМ-системі технологічної операції обробки деталі на верстаті з ЧПК. Хоча неважко описати процес такого проектування за допомогою діаграми діяльності, у цьому описі немає потреби, оскільки він уже реалізований у САМ-системі.

Залежність ряду діаграм діяльності від обраних базових програмних засобів проілюстровано на рис. 3.25. У цьому разі передбачається, що побудова моделі виробу й одержання конструкторської документації виконується в САД-системі одним фахівцем, а завдання інженерного аналізу проектованого виробу вирішуються іншим фахівцем у САЕ-системі. Ця діаграма визначає послідовність робіт і форми обміну інформацією, тому її можна використати для реалізації управління процесом виконання робіт у РДМ-системі засобами Workflow. Якщо ж припустити, що функції проектування та інженерного аналізу вирішуються одним фахівцем в обраній САД/САМ/

САЕ-системі (наприклад, система САТІА відповідної конфігурації), то потреба в наведеній діаграмі відпадає, тому що немає необхідності в її програмній реалізації.

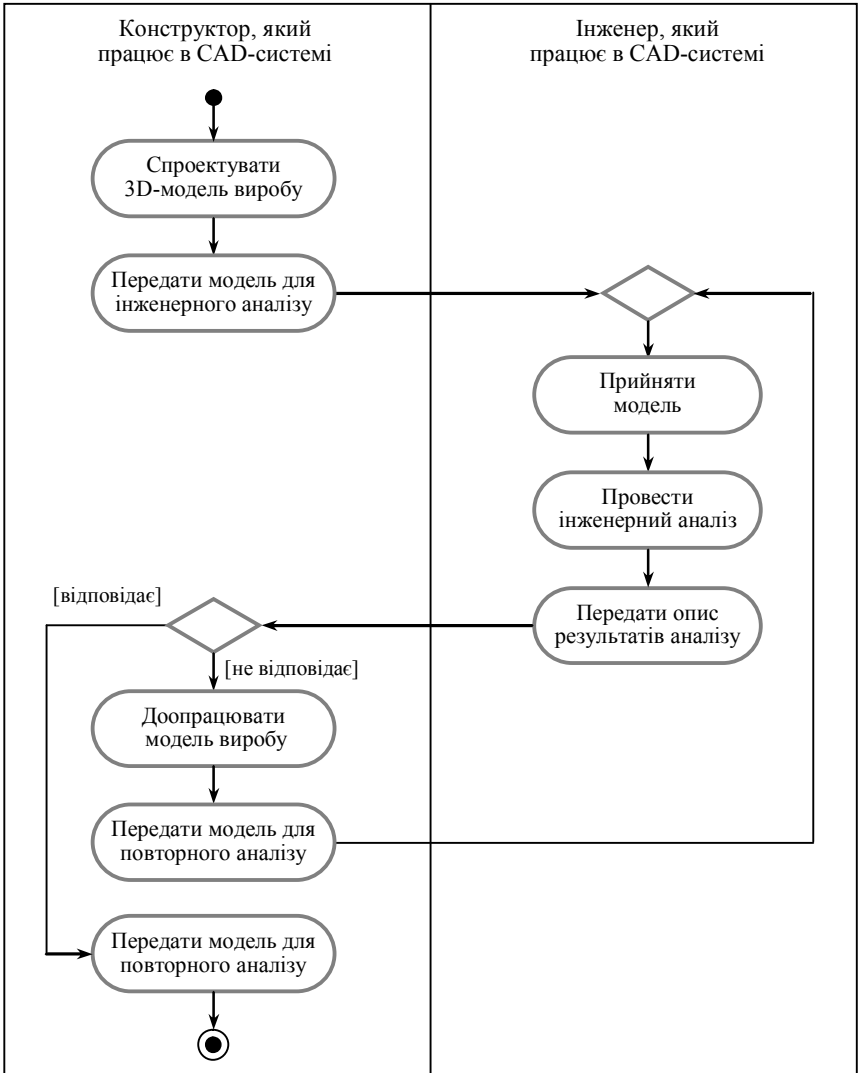


Рис. 3.25. Діаграма спільної роботи під час проектування та інженерного аналізу

Важливо зазначити, що самі по собі функціональні діаграми не виступають як алгоритми прийняття рішень з реінжинірингу чи оптимізації бізнес-процесів ТПВ. Прийняття рішень і оптимізація бізнес-процесів потребують урахування великої кількості глобальних факторів, включаючи фінансові можливості, кадровий потенціал і технічну політику підприємства. Діаграми можуть слугувати тільки засобом докладного аналізу предметної галузі та подальшої формалізації опису бізнес-процесів з метою автоматизації процесів управління ТПВ.

3.3. Розробка структури інтегрованого інформаційного середовища технологічної підготовки виробництва

Функціонування АСТПВ як єдиної, цілісної системи передбачає функціонування всіх її компонентів у ІС ТПВ. Під ІС розуміється єдине інформаційне середовище, що реалізоване засобами PDM-системи та забезпечує спільну, узгоджену роботу конструкторів, технологів та інших фахівців підприємства під час виконання робіт з підготовки виробництва. Створення ІС є наслідком побудови моделі ТПВ у середовищі PDM-системи: саме ця модель містить усі необхідні дані, що використовуються в процесі функціонування АСТПВ.

Центральна роль в ІС належить моделі виробу, що впливає з розглянутого вище положення стратегії PLM про потребу підтримки інформації про виріб на всіх етапах його життєвого циклу. Справді, якщо метою створення ІС є підтримка інформації на різних етапах ЖЦВ, то сам виріб є центральним об'єктом даного ІС.

З появою САД-систем поняття моделі виробу почало асоціюватися з його просторовою геометричною 3D-моделлю. Причина цього зрозуміла: оскільки будь-який машинобудівний виріб є деяким просторовим матеріальним об'єктом, то саме геометричний образ цього об'єкта надає найбільшу кількість інформації про цей об'єкт. У контексті питання підтримки всіх етапів ЖЦВ поняття моделі має розглядатися ширше, як сукупність усієї необхідної інформації про виріб.

Крім інформації про виріб (*продукт*) у сфері ТПВ не менш важливу роль відіграє інформація про *процеси* виготовлення даного продукту, а також про *ресурси*, що необхідні для цього виготовлення. Отже, ІС ТПВ повинна містити у собі інформацію про продукт,

процеси й ресурси, яка спільно використовується фахівцями підприємства. Ці три об'єкти утворюють три класи інформації, які з огляду на найвищий рівень їх абстракції будемо називати суперкласами чи розділами (рис. 3.26).



Рис. 3.26. Суперкласи ІС у нотатції UML

Однак у багатьох випадках той самий об'єкт предметної галузі ТПВ може бути віднесений як до одного, так і до іншого суперкласу з трійки «Продукт — Процес — Ресурс». Наприклад, технологічний процес за своєю суттю є процесом, але він же водночас є і продуктом функціонування ТПВ. Розроблена оснастка є продуктом функціонування ТПВ, але, з іншого боку, вона ж є ресурсом під час виготовлення основного виробу.

Причина подібної подвійності полягає в різних точках зору на об'єкт — або «зсередини» системи ТПВ, або «ззовні» з позицій загального розгляду етапів ЖЦВ. При цьому жодна з точок зору не може бути остаточною: ІС має забезпечувати як оптимальне функціонування сфери ТПВ, так і зручність його використання на інших етапах ЖЦВ. Оскільки використання цих критеріїв можливе лише на етапі реалізації моделі ТПВ засобами конкретної PDM-системи, то для подальшої класифікації приймається один з можливих варіантів.

Продукт. Під продуктом будемо розуміти будь-який виріб, що виготовляється підприємством, незалежно від того, є він виробом основного виробництва, тобто продукцією підприємства, чи виробом допоміжного виробництва, тобто продукцією ТПВ (нестандартне обладнання й засоби технологічного оснащення).

Як відомо, виріб описується своїм проектом і, відповідно до ГОСТ 2.101-85, є складальною одиницею, комплексом чи комплектом. На практиці для того, щоб відрізнити складальну одиницю,

комплекс чи комплект першого рівня від вхідних складальних одиниць, комплексів і комплектів, об'єкт першого рівня часто називають просто «виробом». Однак за ГОСТ 2.101-85 виробами є і складальні одиниці, і комплекси, і комплекти, і деталі, незалежно від рівня входження. Тому слово «виріб» необхідно трактувати відповідно до ГОСТ 2.101-85, тобто як загальне найменування комплексу, складальної одиниці, комплекту й деталі, а не об'єкта першого рівня структурної класифікації. Для позначення першого рівня візьмемо терміни «Проект основного виробу» та «Проект виробу ТПВ».

Докладний опис проекту міститься в його конструкторській документації, яка (для підприємств вітчизняного машинобудування) має бути оформлена відповідно до вимог стандартів ЄСКД. За комп'ютерного проектування документи створюються і зберігаються в базі даних в електронному вигляді; їх можна переглядати на екрані чи виводити згідно із запитом на принтер чи плоттер. Конструкторська документація є складовою частиною інформації про виріб і має розміщуватись у відповідному підкласі (класі) суперкласу «Продукт», якому можна присвоїти ім'я «Конструкторська документація».

Однак стандарти ЄСКД не враховують, що під час розробки проектів виробів з використанням САД-систем з'являється нова категорія інформаційних об'єктів, таких як 3D-моделі деталей і складальних одиниць. Створення моделей не тільки є етапом роботи конструктора (за який він повинен звітувати), але самі моделі за кількістю інформації, що міститься в них, мають задовольняти вимоги креслення (ці вимоги містяться в ЄСКД). Тому геометричні 3D-моделі доцільно віднести до категорії конструкторських документів і розмістити їх в окремому підкласі «3D-моделі» класу «Конструкторська документація».

Отже, загальна структура розділу ІС «Продукт» буде виглядати відповідно до рис. 3.27. Використаємо скорочене позначення класів у нотації UML, без зображення розділів атрибутів і операцій.

Запропонована класифікація не є повною і може бути в конкретних випадках розширена. Наприклад, якщо на підприємстві у сфері ТПВ виготовляються деталі, що виконують роль складних заготовок для подальшої обробки, то в клас «Виріб» варто ввести спеціальний підклас для таких об'єктів, як «Заготовка». Конструкторські документи також можуть мати додаткові підкласи на наведеному рівні, а також можуть бути деталізовані в підкласах наступного рівня. Зазначимо, що деталізація можлива як за рахунок

уведення нових підкласів, так і завдяки використанню для цієї мети деяких атрибутів.



Рис. 3.27. Класифікація розділу «Продукт»

Зміст ІС ТПВ у розділі «Продукт» визначається розміщенням у ньому конкретних об'єктів (тобто проектів, складальних одиниць, деталей, конструкторських документів тощо) відповідно до прийнятої системи класифікації. При цьому, як було показано в підрозд. 3.1, важливим є не тільки перелік створюваних класів, а й установлювані зв'язки між ними. Так, з'єднувальні лінії з трикутною стрілкою на кінці, зображені на рис. 3.27, визначають відношення узагальнення, що приводить до спадкування атрибутів. Однак очевидно, що вони не забезпечують можливості опису ієрархічної структури виробу.

Для цього необхідно встановити між розглянутими класами відношення агрегації так, як показано на рис. 3.28 (розгляд комплексів і комплектів опущено).

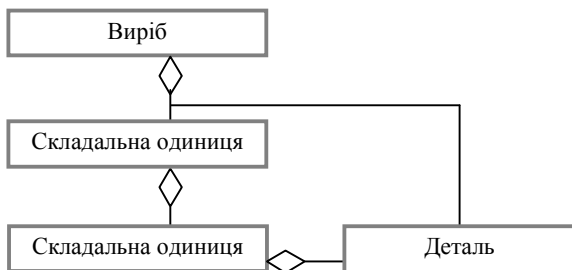


Рис. 3.28. Опис ієрархічної структури виробу за допомогою відношень агрегації

Ще один тип відношень — відношення асоціації описують логічні зв'язки між класами. Наприклад, щоб мати можливість під час перегляду проекту виробу вийти на відповідну цьому проекту конструкторську документацію, необхідно встановити відношення асоціації так, як показано на рис. 3.29.



Рис. 3.29. Використання відношень асоціації

Зауважимо, що під час реалізації моделі предметної галузі засобами PDM-системи відношення (зв'язки) описуються так само, як класи — ім'ям і набором атрибутів. Зв'язки зберігаються в базі даних як самостійні незалежні сутності, що є наслідком використання в PDM-системах реляційних СУБД.

Процес. Під процесом розумітимемо послідовність дій, пов'язаних з функціонуванням системи ТПВ (бізнес-процеси ТПВ). Крім цього, у розділ «Процес» включимо опис технологічних процесів виготовлення виробу.

Як і у випадку опису продукту, технологічні процеси можуть бути представлені описом їхньої структури і відповідною технологічною документацією. Тому ці обидва представлення будуть розміщені у відповідних класах ІС.

З погляду класифікації варто розрізняти ТП виготовлення конкретних виробів (одиничні ТП) і групові ТП, тому що вони мають різну схему позначень. У зв'язку з цим зазначені види ТП доцільно розмістити в

різних підкласах класу ТП. Крім цих маршрутно-операційних ТП у вітчизняному машинобудуванні значне поширення одержали «спрощені» ТП у вигляді маршрутів виготовлення деталей у цехах (так звані розцеховки). Тому цей вид ТП також має дістати своє відображення в ПС.

Як відомо, під час розробки ТП визначають необхідні оснастку та інструмент. Якщо оснастку чи інструмент потрібно виготовляти, складають відповідну карту замовлення для служб ТПВ. У зв'язку з тим, що інформація про замовлення є «супутньою» інформацією до ТП, її варто також включити в розділ «Процес» ПС ТПВ.

Отже, класифікація розділу «Процес» виглядатиме відповідно до рис. 3.30 (класифікацію ТД наведено частково).

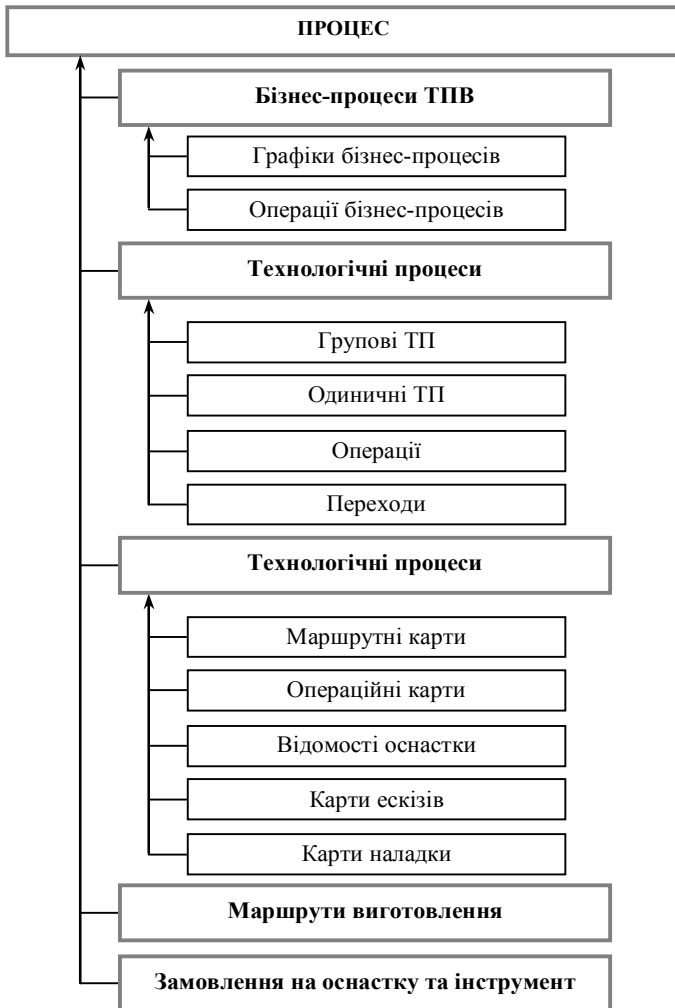


Рис. 3.30. Класифікація розділу «Процес»

У класі ТП для використання як елементи ТП передбачено операції й переходи, а необхідні (наприклад у ТП механообробки) відомості про обладнання, пристрої, різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти визначаються на основі асоціативних зв'язків з іншими класами, які належать суперкласу «Ресурс» (рис. 3.31).

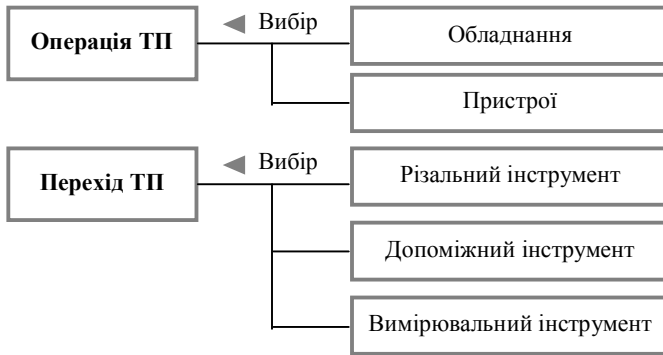


Рис. 3.31. Асоціативні зв'язки класів під час проектування ТП

Зробимо деякі пояснення з подання інформації в класі бізнес-процесів. Як зазначалося в підрозд. 3.1, у нотатції UML формою докладного подавання бізнес-процесів є діаграми діяльності з доріжками. За детального подавання враховують конкретні підрозділи підприємства чи виконавців, а функції деталізують до рівня виробничих завдань. У такій формі діаграми діяльності можуть бути безпосередньо реалізовані в середовищі PDM-системи за допомогою механізмів управління потоками виробничих завдань (Workflow). Однак сама інформація про виробничі завдання (функції, операції) і про порядок їх виконання (графіки завдань) має бути розміщена в ІС у вигляді даних, що й потребує введення спеціальних класів у межах статичної моделі предметної галузі.

Ресурс. Під ресурсом будемо розуміти різні види забезпечення, які використовують під час виконання бізнес-процесів ТПВ. До таких видів забезпечення можна віднести:

- *Кадровий ресурс* — відділи, служби й цехи підприємства, їхні співробітники і фахівці, котрі беруть участь у процесах ТПВ.
- *Виробничий ресурс* — використовуване технологічне обладнання, різні види оснастки та інструменту, що використовуються.
- *Матеріальний ресурс* — матеріали, стандартні й купівельні вироби, які використовуються.
- *Інформаційний ресурс* — довідково-інформаційні матеріали (ДСТ на матеріали і стандартні вироби, нормативно-технологічні документи), які використовуються під час виконання бізнес-процесів ТПВ.
- *Забезпечувальний ресурс* — додаткові види забезпечення для підтримки функціонування ТПВ, такі як архіви КД і ТД, що перебувають у веденні служб технічної документації підприємства.

Отже, класифікація розділу «Ресурс» матиме такий вигляд (рис. 3.32).

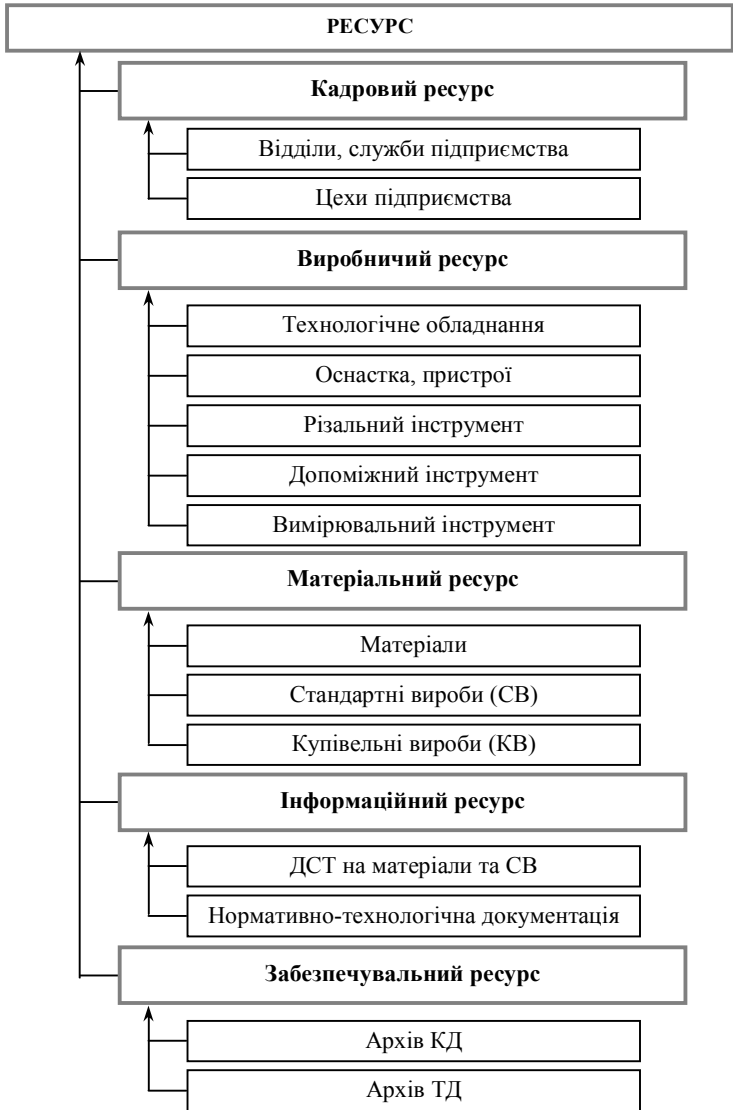


Рис. 3.32. Класифікація розділу «Ресурс»

Ступінь подальшої деталізації певного класу розділу «Ресурс» залежить від характеру задач, які розв’язуються як на етапі ТПВ, так і на деяких інших етапах ЖЦВ. Наприклад, якщо інформація про обладнання використовується тільки під час проектування ТП, то досить обмежитися переліком моделей верстатів із зазначенням цехів, в яких

ці верстати розміщені. Якщо ж інформація використовується для організації планування виробництва, обслуговування й ремонту обладнання, то необхідні додаткова класифікація обладнання і досить великий набір атрибутів, що описують кожну одиницю обладнання.

Тож ІС ТПВ реалізується на основі єдиної бази даних «Продукт — Процес — Ресурс», яка:

- будується відповідно до вимог об'єктно-орієнтованого підходу;
- використовується спільно конструкторами, технологами та іншими фахівцями підприємства під час виконання бізнес-процесів ТПВ;
- передбачає її використання на інших етапах ЖЦВ.

Усі системи та їх компоненти, що працюють з інформацією ІС, можна класифікувати за так званими контурами (шарами) програмного забезпечення, що охоплюють: *внутрішньосистемний контур*; *технологічний контур*; *проектний контур*; *зовнішній контур* (рис. 3.33).



Рис. 3.33. Використання єдиної бази даних ІС

Внутрішньосистемний контур — це програмне забезпечення PDM-системи для виконання таких базових функцій:

- редагування структури бази даних і екранних форм відображення інформації;
- уведення в базу даних інформації про об'єкти, ієрархічні та логічні зв'язки між об'єктами;
- ведення складу проектів;
- класифікація об'єктів і спадкування інформації з ієрархії класів;
- ведення життєвого циклу документів;
- автоматичне ведення версій документів;

- пошук документів за обліковою інформацією і логічними зв'язками;
- автоматичне нарощування позначень документів і об'єктів;
- регламентація прав доступу до інформації;
- експорт та імпорт інформації;
- складання графіків виробничих завдань і відстеження їх виконання.

Технологічний контур — це набір прикладних програм (підсистем, модулів), розроблених за допомогою засобів програмного інтерфейсу API PDM. Створені прикладні програми вирішують найрізноманітніші завдання проектування, управління і документування в АСТПВ. До таких завдань належать: проектування технологічних процесів; розв'язування виробів; розрахунок потреби в матеріалах і стандартних виробах; формування циклограм складання; одержання зведених конструкторсько-технологічних документів тощо.

Проектний контур — це сукупність використовуваних CAD/CAM-і CAE-систем. Для вирішення своїх завдань фахівці-проектувальники використовують «свою» CAD/CAM-систему і відповідні засоби інтерфейсу (інтеграції) із внутрішньосистемним контуром PDM. Як найпростіший приклад інтеграції можна навести обмін ідентифікаційними даними документа. CAD-системи мають функцію введення ідентифікаційних даних (наприклад, в основний напис креслення), а PDM-система має функцію введення ідентифікаційних даних у паспорти креслень, збережених у базі даних. Для CAD-систем, що інтегровані з PDM, ця функція є єдиною, і ідентифікаційні дані документа досить увести або в PDM-системі, або в CAD-системі.

Інший приклад інтеграції полягає в обміні 3D-моделями. Моделі, створені в CAD-системі, мають передаватися в PDM-систему для збереження, а моделі, збережені в PDM-системі (наприклад стандартних виробів чи запозичених деталей), мають передаватися в CAD-систему під час створення моделей складальних одиниць.

Зовнішній контур — це споживачі інформації, створеної на етапі ТПВ, що обслуговують інші етапи ЖЦВ (маркетинг, постачання, виробництво, контроль, упакування, реалізація, монтаж, технічне обслуговування, утилізація). Робочі місця «споживачів» можуть бути оснащені тією самою PDM-системою, на якій реалізовано ПС, або іншими системами. Для цих систем має існувати інтерфейс з основної PDM.

Однією з проблем, пов'язаною з розміщенням документів та інших об'єктів у єдиній базі даних ПС, є проблема позначень документів (об'єктів). Такі позначення, приклад якого наведено на рис. 3.34 [139, 164], можуть бути досить складними.

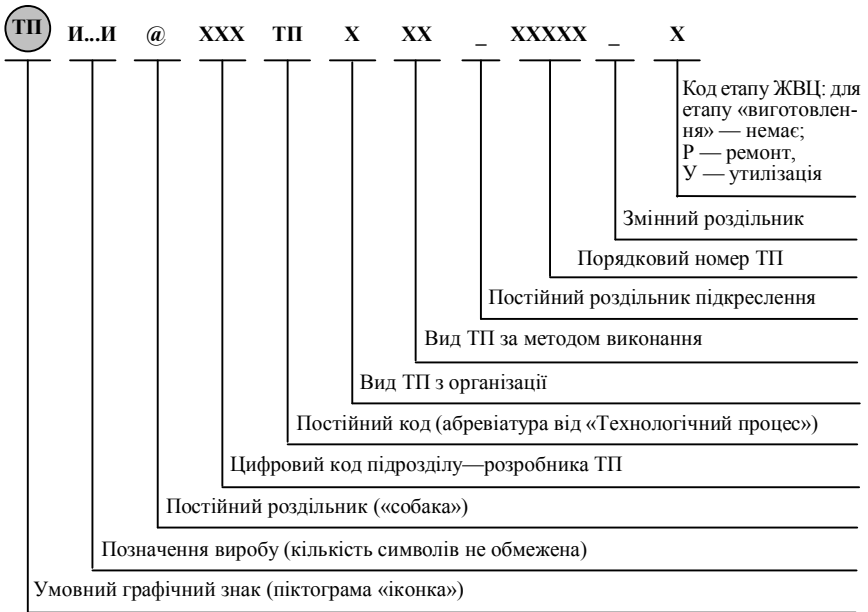


Рис. 3.34. Схема позначення TP у базі даних ПС

Проблема полягає в тому, що PDM, як і всі інформаційні системи, є формальною системою, що «не розуміє» змісту оброблюваної інформації та сприймає її однозначно, як написано. Наприклад, якщо позначення креслення один раз уведено в систему з роздільником у вигляді крапки, а іншого разу — без крапки, то для системи це різні креслення.

З метою зменшення помилок під час роботи з інформаційними системами рекомендується використовувати в позначеннях якнайменше типів роздільників. Наприклад, можна використовувати єдиний роздільник «нижнє підкреслення» замість пробілів, крапок, похилої риси, ком тощо, крім випадків значенневого поділу для програмної обробки.

Запропонована структура ПС ТПВ, що реалізована на основі об'єктно-орієнтованого підходу в нотатції UML і яка припускає подальшу програмну реалізацію ПС засобами PDM-системи, створює передумови для подальшої ефективної автоматизації проектно-технологічних робіт і управління бізнес-процесами ТПВ у середовищі створеної АСТПВ.

4.1. Розробка інформаційної структури тривимірної моделі для завдань управління ТПВ

У підрозд. 2.1 відзначалася необхідність урахування головної ролі 3D-моделі виробу під час вирішення завдань ТПВ. Однак у технічній літературі досить часто поняття 3D-моделі трактується неоднозначно, що пов'язано зі швидкою (за останні 10 років) зміною значення цього поняття. У зв'язку з цим доцільно провести короткий аналіз процесу розвитку методів об'ємного моделювання з погляду використання структури 3D-моделі.

Як відомо, перші 3D-моделі мали каркасно-поверхневе представлення [8]. У процесі такого моделювання спочатку будують каркас — просторову конструкцію, яка складається з відрізків прямих, дуг кіл і сплайнів.

У цьому разі аналітичний вираз для просторової кривої, яка подана як перетин двох площин (рис. 4.1), має вигляд

$$F(x, y, z) = 0, \quad \Phi(x, y, z) = 0 \quad (4.1)$$

або в параметричній формі

$$x = x(s), \quad y = y(s), \quad z = z(s), \quad (4.2)$$

де $s = \int_{t=0}^t \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$ — довжина дуги від деякої точки А до поточної точки М (рис. 4.1).

Каркас відіграє допоміжну роль і є основою для подальшої побудови поверхонь, що «натягуються» на елементи каркаса й можуть бути описані в загальному вигляді за допомогою рівняння (4.1).

Особливість каркасно-поверхневого моделювання полягає в тому, що елементи створеної моделі ніяк не пов'язані один з одним.

Зміна одного з елементів не спричиняє автоматичної зміни інших, що збільшує можливість варіювання, але водночас значно ускладнює роботу з моделлю й потребує великих витрат часу на її модифікацію. Це призвело до появи технології твердотільного параметричного моделювання.

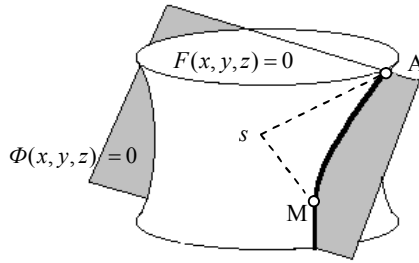


Рис. 4.1. Створення просторової кривої шляхом перетину двох площин

Твердотільне моделювання має у своїй основі ідеологію, що істотно відрізняється від ідеології каркасно-поверхневого моделювання. Твердотільна модель представляє цілісний об'єкт, який займає замкнуту частину простору. Завжди можна чітко сказати, де знаходиться точка — всередині твердого тіла, на його поверхні чи поза тілом. У разі зміни в моделі будь-якого елементу будуть змінюватися всі інші елементи, пов'язані з ним. У результаті зміниться форма твердого тіла, але збережеться його цілісність.

Аналітичний опис положення будь-якої точки всередині твердотільної моделі [165, 166] можна визначити за допомогою обраної системи координат. Так, у декартовій системі координат запис $P(a, b, c)$ вказує, що точка P має координати $x = a$, $y = b$ та $z = c$ (рис. 4.2). Існують також циліндричні та сферичні координати. Перехід від циліндричних координат до декартових і навпаки описується такими виразами:

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \varphi, & y &= \rho \sin \varphi, & z &= z; \\ \rho &= \sqrt{x^2 + y^2}, & \varphi &= \arctg \frac{y}{x} = \arcsin \frac{y}{\rho}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де ρ та φ — полярні координати проекції точки P на основну площину (як правило XOY); z — апліката, тобто відстань від точки P до основної площини.

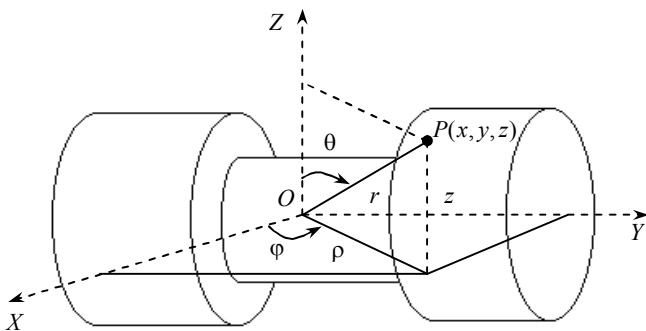


Рис. 4.2. Положення точки в моделі

Для сферичних координат можна записати такі аналітичні рівняння:

$$\begin{aligned} x &= r \sin \theta \cos \varphi, & y &= r \sin \theta \sin \varphi, & z &= r \cos \theta; \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, & \varphi &= \arctg \frac{y}{x}, & \theta &= \arctg \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

де r — довжина радіус-вектора; φ — довгота; θ — полярна відстань.

Координати центру ваги моделі $O_i(x_i, y_i, z_i)$, яка є системою матеріальних точок з вагою $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$, розраховують за такими формулами:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, & \bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, & \bar{z} &= \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i}. \end{aligned} \quad (4.5)$$

За твердотільного моделювання можливе встановлення параметричних залежностей між елементами твердого тіла чи кількох тіл. При цьому зміна одного з параметрів (наприклад, довжини елемента) приводить до відповідної перебудови всіх параметрично зв'язаних елементів. Так, під час операції обробки виробу нові координати точки записують у вигляді

$$P^*(x^*, y^*, z^*), \quad (4.6)$$

де $x^* = x \pm \Delta x$, $y^* = y \pm \Delta y$, $z^* = z \pm \Delta z$; Δx , Δy , Δz — прирости, які визначаються системою управління станка залежно від типу обробки.

Як правило, відлік координат ведуть у відносній системі, яка прив'язана до обладнання.

Це параметричне моделювання, яке дає конструктору додаткові можливості. Так, можна встановити параметричні залежності між елементами твердотільної зборки і, отже, автоматизувати контроль складання виробу. Крім цього, у твердотільній моделі зберігається історія її побудови, що дає можливість повертатися на будь-який етап проектування і змінювати форму моделі методом зміни числових значень параметрів чи заміни елементів.

Однак компоненти твердотільних моделей мають певні обмеження через складність своїх просторових форм. Це привело до створення технології гібридного моделювання. За гібридного моделювання забезпечується можливість одночасної роботи з твердотільними об'єктами і з поверхнями. При цьому можна «відрізати» за допомогою поверхні частину твердого тіла, перетворити замкнутий поверхнями об'єм у тверде тіло тощо. Гібридне моделювання дозволяє об'єднати всі зручності твердотільного моделювання з можливістю побудови об'єктів найскладнішої геометричної форми.

Параметричний підхід, реалізований методами твердотільного й гібридного моделювання, має можливість автоматичного повторення методу побудови геометрії за зміни одного чи кількох його аргументів у межах можливостей самого методу. Тож розробник виробу може варіювати різними параметрами з метою оптимізації його якості. Параметрами (аргументами) можуть бути геометричні елементи (точки, прямі, криві, площини, поверхні), числові параметри з одиницями вимірювання (відстані, кути).

Наступним досягненням параметричного підходу стала алгебраїчно-сценарійна параметризація [8]. Вона дала змогу збагатити історію побудови найпростішими асоціативними зв'язками між елементами й розмірами, що їх визначають. Це стало важливим розширенням «специфікації геометричного визначення». Можливості модифікації геометрії істотно зросли. Одним із проявів алгебраїчно-сценарійної параметризації стало моделювання на основі стандартизованих схем побудови («Feature Based Design»). Воно дало можливість конструктору зберігати зразок методу геометричної побудови для його повторного застосування.

Нині компанії—розробники найбільш потужних CAD/CAM/CAE-систем (таких як CATIA, Unigraphics, Cimatron) намагаються впроваджувати свої рішення відповідно до стратегії PLM, наслідком чого є значне ускладнення представлення моделі в CAD/CAM-системі.

Так, у системі САТІА v5 модель виробу може бути представлена сукупністю таких видів інформації:

- об'ємне чи без об'єму тіло як результат булевих операцій над формами, що його складають;
- об'ємне чи без об'єму тіло як результат застосування певного методу його побудови;
- аргументи побудови тіла у вигляді геометричних елементів;
- аргументи побудови тіла у вигляді логічних та числових параметрів;
- плоскі параметричні ескізи з геометричними відношеннями між елементами;
- керуючі параметри;
- функції (відношення між елементами);
- масиви значень для наборів параметрів;
- аналізатори, що стежать за застосуванням умовних правил;
- контролери, що приводять у дію певні функції на основі виконання (невиконання) умовних правил;
- результати абсолютного чи відносного аналізу, призначені для використання в значенні аргументів в інших функціях;
- посилання та зв'язки, які залучають зовнішні чи віддалені елементи (параметри) як аргументи побудови даної форми;
- методи, явно формалізовані (придатні для повторного застосування) — «Power Copy»;
- скрипти (програми), які беруть участь у роботі методів у значенні програмного коду, що виконується [8, 108].

Усі деталі (і геометричні форми, що їх представляють) відрізняються за своєю належністю до конструктивно-технологічного класу. Ці класи об'єднують в одну категорію всі деталі, які мають постійні конструктивні й технологічні ознаки — вид заготовки, спосіб матеріалізації форми, виробничу оснастку та характерні фізичні процеси. Їх геометричне визначення, відповідно, може мати свої терміни, методи та аргументи побудови. Наприклад, листова деталь з алюмінієвого сплаву має свою особливу специфікацію, відмінну від, наприклад, механічної деталі чи електрокабеля.

Розглянуте інформаційне представлення 3D-моделі не тільки сприяє використанню інформації про виріб на різних етапах його життєвого циклу, а й дає можливість реалізувати сучасний рівень автоматизації проектування, не обмежений вирішенням завдань моделювання і креслення, та забезпечує реалізацію таких можливостей, як паралельне проектування і використання корпоративних знань, автоматичне проведення змін на всіх етапах процесу проектування. Проте такого інформаційного представлення 3D-моделі не-

достатньо для автоматизації задач управління ТПВ. Як відомо, PDM-системи формують інформацію як для АСПВ, так і для ERP-систем, тобто як для завдань управління конструкторсько-технологічним проектуванням, так і для завдань управління виробництвом [6, 166, 167]. При цьому з його креслення, моделі та технологічного процесу використовують не тільки інформацію про виріб.

Так, будь-який об'єкт в описі виробу має негеометричні характеристики принаймні таких категорій:

1. Графічні атрибути, що представляють об'єкт за допомогою засобів діалогу системи.

2. Ідентифікація, що визначає систему іменування, позначення і представлення продукту в службовій документації.

3. Фізичні властивості, що визначають механічні та геометричні характеристики компонентів виробу, — об'єм, площа поверхні, координати центра ваги, орієнтація векторів моментів інерції і т. ін. Фізичні властивості в основному ґрунтуються на результатах аналізів.

4. Технологічні властивості, що визначають виробничі характеристики компонентів виробу, — термообробка, покриття, маркування, таврування, чистота поверхні, допуски тощо.

5. Адміністративні властивості, що визначають характеристики об'єкта стосовно процесів його життєвого циклу, — статус готовності, ревізія, авторизація, сертифікація і т. ін.

6. Функціональні властивості, які характеризують цільові параметри виробу, — продуктивність, ресурс, питома собівартість експлуатації тощо. Більшість із них безпосередньо стосуються економіки промислового виробництва й контролюються особливо ретельно.

7. Спеціальні (нерегулярні) властивості, характерні для даного виробу у зв'язку з його унікальними особливостями.

Отже, формалізуючи підхід до опису характеристик виробу, можемо дійти висновку про те, що виріб може бути описаний кількісними (безперервними) та якісними (дискретними) характеристиками. Так, безперервними параметрами, як зазначалося раніше, є його розміри, вага, температура, щільність та інші фізичні властивості, які можуть бути записані у вигляді матриці стану:

$$\|A_{\text{об}}\| = \|a_{\text{об}1}, a_{\text{об}2}, \dots, a_{\text{об}m}\|, \quad (4.7)$$

де $a_{\text{об}m}$ — параметри об'єкта, які описуються числовими значеннями з деякого певного інтервалу.

До дискретних параметрів належать такі характеристики об'єкта, як його стан (оброблений — необроблений, справний — несправний

і т. ін.), проходження певного обладнання. Ці характеристики можуть бути описані матрицею такого вигляду:

$$\|A_d\| = \|a_{d1}, a_{d2}, \dots, a_{dn}\|, \quad (4.8)$$

де a_{dn} описується двозначними величинами, тобто алгеброю логіки, із множини $a_{dn} \in \{0, 1\}$, $\partial = 1$.

Не менш важливим з погляду математичного опису характеристик виробу є параметр, який характеризує початковий момент часу, з якого починається робота (обробка, складання) з виробом. Цей момент є дуже важливим для побудови коректних математичних моделей ПС та автоматизації ТПВ, особливо для управління з чіткою синхронізацією технологічних процесів. Позначимо через i номер верстата (агрегата, лінії тощо), а через j — номер екземпляра об'єкта (напівфабрикату), який надійшов на обробку в момент t_{ij} .

Моменти надходження напівфабрикату певного типу на обробку та на конкретне обладнання можуть бути детермінованими або випадковими. У першому випадку ці моменти чітко окреслені системою автоматизованого управління виробництвом, яка відповідає за синхронізацію технологічних процесів (передавання від одного устаткування до іншого, від однієї лінії обробки до іншої тощо) і можуть бути описані за допомогою співвідношення

$$t_{ij} = t_{ij-1} + \Delta t, \quad (4.9)$$

де Δt — стала величина.

У другому випадку моменти надходження напівфабрикату описуються за допомогою математичного очікування та дисперсії у вигляді

$$t_{ij} = t_{ij-1} + \delta t_{ij}, \quad (4.10)$$

де t_{ij} , δt_{ij} мають свої закони розподілу.

Ще один підхід до формалізації виробничих процесів у разі випадкового надходження напівфабрикатів полягає в описі моментів надходження як випадкового потоку однорідних подій у ТМО. У такому разі слід зважати, що опис процесів може бути реалізований, коли врахування випадкових відхилень δt_{ij} не змінюють суті такого виразу:

$$t_{ij+1} - t_{ij} \geq 0 \quad (4.11)$$

для заявок (напівфабрикатів).

Отже, інформаційну модель виробу в загальному випадку описують функцією

$$A = f(t_{ij}, \|A_{\text{оп}}\|, \|A_{\text{д}}\|). \quad (4.12)$$

Особливо важливо те, що між різними характеристиками можуть бути відношення різних видів — логічні, алгебраїчні, утворені за допомогою масивів значень чи визначені сценаріями-скриптами. Ці відношення, що мають вигляд правил, є формою організації конструкторсько-технологічних знань про виріб.

Під час аналізу інформаційної структури 3D-моделей, що розглядаються, виникає питання — що дають ці засоби для автоматизації управління ТПВ?

Зауважимо, що досить давно розуміють важливість представлення і використання знань у завданнях автоматизації управління ТПВ. У численних роботах пропонувалося використовувати знання у вигляді таблиць рішень, правил, семантичних мереж і фреймів для задач проектування оснастки, інструменту й технологічних процесів [5, 6, 19, 168—170 та ін.]. Використання декларативних знань забезпечувало гнучкість створюваних систем, їх адаптованість до особливостей предметної галузі та правил прийняття управлінських рішень. Однак брак на той період засобів створення 3D-моделей виробів не давав змогу досягнути значного практичного ефекту від виконаних розробок.

З іншого боку, автоматизація управління лише за рахунок побудови 3D-моделей і подальшого одержання текстових файлів також у багатьох випадках не дає необхідного ефекту внаслідок недостатньо високого рівня автоматизації. Часткове поліпшення дають розробка і використання спеціальних процедурних додатків до САД-систем (наприклад, під час конструювання пакета прес-форми із застосуванням баз нормалізованих деталей). Значно більший ефект може дати інтегроване використання набору процедурних додатків. Однак цей підхід не може бути реалізований для всіх видів проектних процедур ТПВ як через їх велику кількість, так і внаслідок слабкої формалізації та типізації багатьох проектних рішень.

Новий підхід до вирішення завдань автоматизації проектування та управління за ТПВ завдяки інтегрованому використанню 3D-моделей і баз знань (рис. 4.3) може привести до гнучкості створюваних автоматизованих систем та до істотного загального підвищення рівня автоматизації. При цьому за рахунок формалізації та збереження корпоративних знань для підприємства багато в чому вирішується важлива проблема нестачі висококваліфікованих конструкторів

торів і технологів. Під додатком розуміємо певну проектну процедуру АСТПВ, що реалізується засобами прикладного програмного інтерфейсу (API) PDM-системи та вирішує конкретне завдання управління конструкторським чи технологічним проектування з використанням бази корпоративних знань. Ураховуючи зроблену формалізацію характеристик виробу та розширюючи інтегроване використання 3D-моделі й бази знань до рівня її функціонування в ПС РВ, отримуємо схему (рис. 4.4).

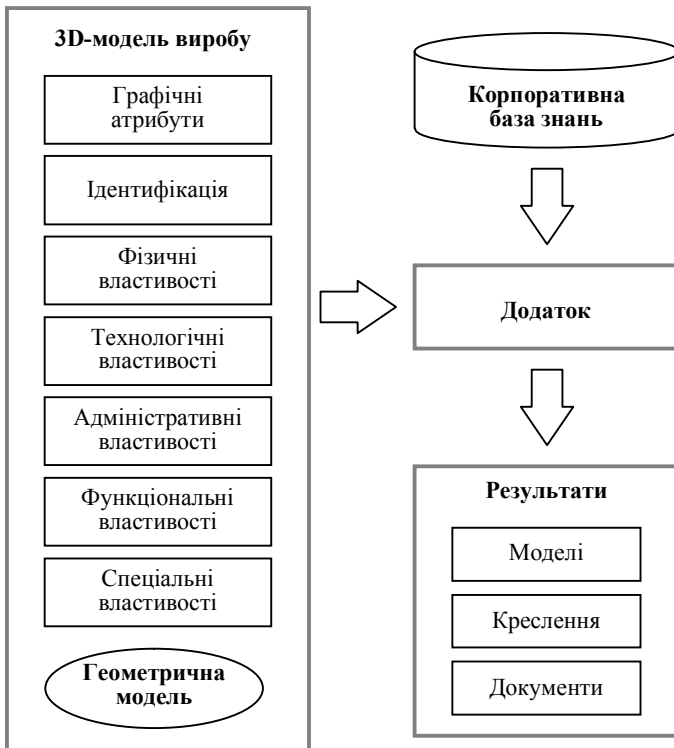


Рис. 4.3. Схема інтегрованого використання 3D-моделі та бази знань автоматизації управління ТПВ

На цій схемі не конкретизовано, чи є 3D-модель моделлю основного виробу чи моделлю виробу ТПВ — це залежить від характеру розв’язуваної додатком задачі. Додаток може використовувати у своїй роботі кілька моделей, а також допоміжну інформацію, наприклад геометричні чи технологічні шаблони.

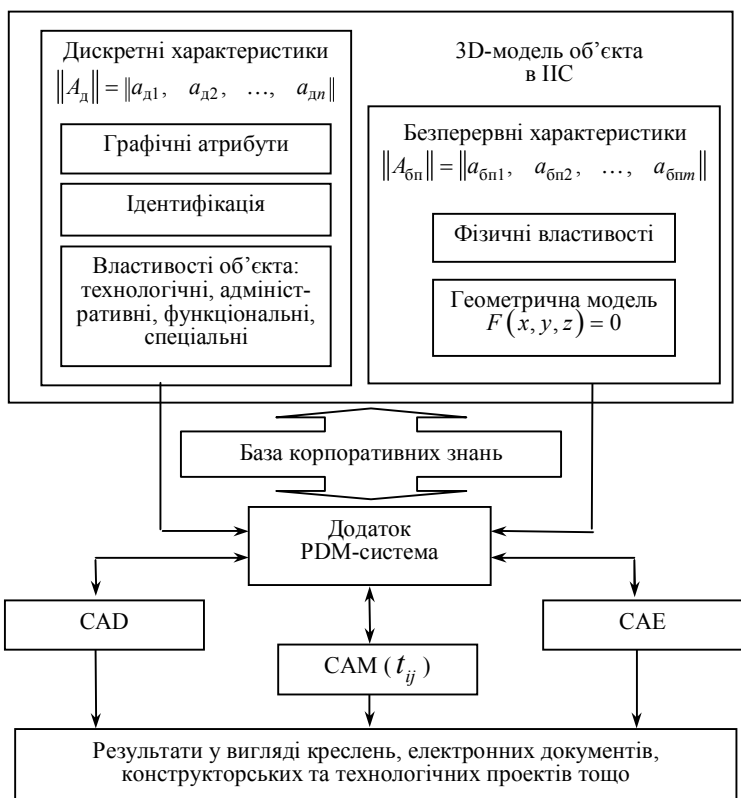


Рис. 4.4. Схема інтегрованого використання 3D-моделі та бази знань ІС розширеного виробництва

Застосування цієї схеми дає змогу будувати прикладні АС, що працюють «від технічного завдання» і генерують усі необхідні геометричні моделі, креслення, технологічні процеси, текстові чи текстографічні документи. Реалізація кожної конкретної АС потребує значних зусиль, однак у результаті досягаються високий рівень автоматизації проектних та управлінських рішень і гнучкість системи, а також створюються умови для розв'язання кадрових проблем у сфері ТПВ.

Розроблену інформаційну структуру 3D-моделі використовують для побудови математичних моделей у завданнях управління ТПВ.

Для висновку необхідно зазначити, по-перше, що під час побудови таких моделей необхідно вибрати систему параметрів, які описують стан (властивості) заготовок, напівфабрикатів, виробів, а також інших об'єктів, що беруть участь у технологічному процесі.

У такому разі кожна технологічна операція може розглядатись як перетворювач, який визначає зміну параметрів виробу та характер цих змін.

По-друге, під час формалізації технологічних процесів необхідно максимально обмежувати кількість обраних параметрів, які описують виріб, але кількість цих параметрів має бути достатньою з погляду ПС розширеного виробництва забезпечення обмежень за точності моделювання технологічних процесів.

4.2. Метод управління процесом проектування операційних ТП обробки деталей на верстатах із ЧПК

Інформаційним об'єктом, що генерується в АСТПВ і передається на верстат із ЧПК, є КП. При цьому формування КП є функцією САМ-системи (чи САД/САМ), яка є однією з підсистем АСТПВ. Під САМ-системою розуміють систему автоматизованої розробки КП для верстатів з ЧПК. Однак при цьому не враховується той факт, що КП, власне кажучи, є деталізованим (до робочих ходів) описом операційного технологічного процесу для верстата з ЧПК, а процес розробки КП у САМ-системі містить задачі, характерні саме для розробки операційного ТП: визначення послідовності та змісту переходів, вибір різального й допоміжного інструменту, задання режимів обробки. У зв'язку з цим далі ми розглядатимемо технологічне проектування в САМ-системі як процедуру розробки операційного ТП (ОТП) для верстата з ЧПК.

Розробка ОТП у САД/САМ-системі полягає у використанні 3D-моделі деталі як вихідної інформації. Якщо ця модель побудована в даній САД/САМ-системі, то для її використання не потрібно жодних перетворень; якщо ж модель створено в іншій системі, то вона приймається через один з наявних інтерфейсів.

Технологія обробки деталі призначається технологом з урахуванням існуючого в САМ-системі набору процедур чи стратегій обробки. Так, для чорнового фрезерування можуть бути призначені стратегії пошарової вибірки матеріалу паралельними проходами, по спіралі тощо; за чистового фрезерування може виконуватись обробка контурів чи поверхонь із застосуванням різних стратегій [171, 172]. Після визначення технологом оброблюваних елементів, вибору різального інструменту, задання відповідної стратегії та її параметрів у САМ-системі здійснюється автоматичний розрахунок траекто-

рії руху інструменту. Далі, за допомогою виклику відповідного постпроцесора, траєкторія може бути перетворена в КП для конкретного верстата з ЧПК.

Крім зазначених «традиційних» задач у сучасних САМ-системах та інших спеціальних засобах автоматизації підготовки КП розв'язуються такі задачі, як оптимізація траєкторії інструменту, контроль точності обробки, контроль зіткнень у системі ВПД (верстат — пристрій — інструмент — деталь) і т. ін. (рис. 4.5). Важливим для автоматизації є також управління проектуванням ОТП, яке може здійснюватися в АСППВ за допомогою інструментальних засобів PDM-системи. Розв'язання цих задач ґрунтується на інтегрованому використанні 3D-моделей деталі, заготовки, різального та допоміжного інструменту, пристроїв, верстата з ЧПК. Однак у літературі комплексного розгляду й дослідження цього питання немає. Це призводить до дублювання окремих функцій у розроблюваних системах, проблем у їх спільному використанні, методичних труднощів у підготовці та навчанні технологів ЧПК.

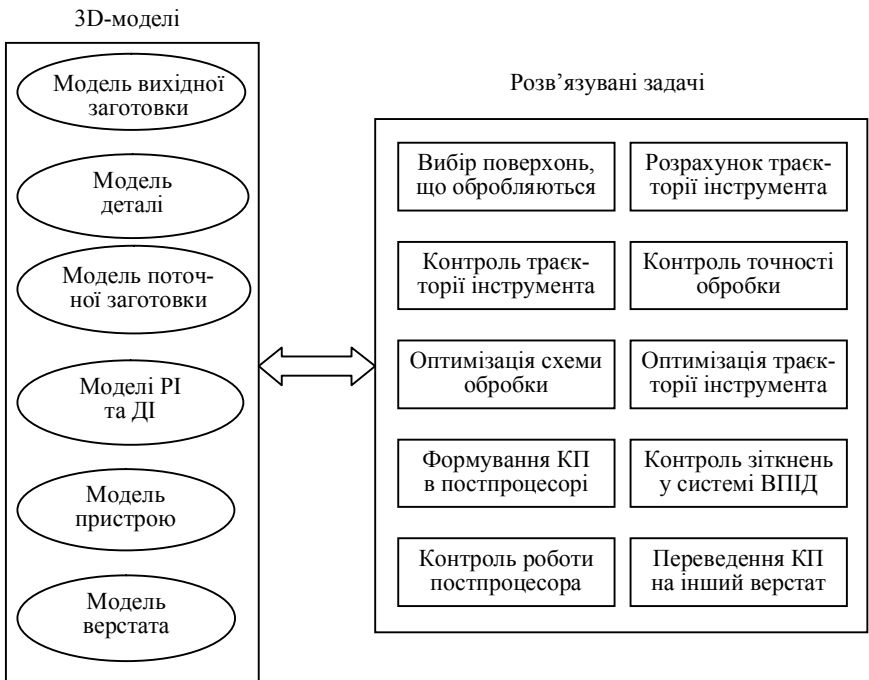


Рис. 4.5. Використання 3D-моделей під час розв'язання задач розробки ОТП і формування КП для обладнання з ЧПК

Для детального розгляду комплексу задач управління процесом розробки ОТП і формування КП необхідно розглянути абстрактну операцію обробки, під якою будемо розуміти елементарний акт виробничого процесу над виробом (у подальшому викладі — напівфабрикатом), у результаті якого змінюється значення хоча б одного з дискретних або безперервних параметрів цього напівфабрикату. До класу операцій обробки, як правило, належать технологічні операції, пов'язані зі зміною розмірів напівфабрикатів (обробка різанням, кування, штампування тощо), або ж операції, які змінюють дискретні характеристики, такі як «пофарбований», «оброблений».

Під час побудови математичних моделей технологічних процесів їх необхідно деталізувати так, щоб кожна операція даного процесу стосувалася конкретного обладнання, яке відповідає за обробку. У подальшому будь-який комплекс виробничого обладнання, який виконує операцію обробки, будемо називати верстатом, незалежно від його реальної структури.

Отже, щоб побудувати математичний опис процесу обробки, необхідно знайти чіткі співвідношення, які описують взаємодію верстата з напівфабрикатом.

Позначимо через t^{Π} час початку операції обробки, а через $\tau^{\text{оп}}$ — її тривалість. Як правило, нам відомі значення всіх параметрів — як безперервних, так і дискретних, тобто матриці $A_{\text{оп}}^0$ та $A_{\text{д}}^0$ у момент часу $t \leq t^{\Pi}$. Необхідно визначити значення параметрів напівфабрикату $A_{\text{оп}}^{\text{К}}$ (4.7) та $A_{\text{д}}^{\text{К}}$ (4.8) після закінчення операції обробки, тобто в момент $t = t^{\text{К}}$.

$$t^{\text{К}} = t^{\Pi} + \tau^{\text{оп}}, \quad (4.13)$$

де $t^{\text{К}}$ — момент закінчення операції обробки.

Ураховуючи зміни параметрів напівфабрикату в процесі обробки, математичним описом операції обробки будуть такі співвідношення:

$$\|A_{\text{оп}}^{\text{К}}\|^T = \left\| \begin{array}{c} a_{\text{оп}1}^0 \pm \Delta a_{\text{оп}1}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) \pm \delta a_{\text{оп}1}^{\text{К}} \\ \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots \\ a_{\text{оп}m}^0 \pm \Delta a_{\text{оп}m}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l) \pm \delta a_{\text{оп}m}^{\text{К}} \end{array} \right\|; \quad (4.14)$$

$$\|A_d^K\|^T = \left\| \begin{array}{c} a_{d1}^0 \{0,1\} \rightarrow a_{d1}^K \{0,1\} \\ \dots, \dots, \dots \\ a_{dl}^0 \{0,1\} \rightarrow a_{dl}^K \{0,1\} \end{array} \right\|,$$

де β_l — деякі параметри, які характеризують верстат і процес обробки; y_r — команди системи управління обробкою (команди КП); $\delta a_{\text{опт}}^K$ — випадкові відхилення від кінцевого стану параметра m $a_{\text{опт}}^K = a_{\text{опт}}^0 + \Delta a_{\text{опт}}(y_1, \dots, y_r, \beta_1, \dots, \beta_l)$, які визначаються неточностями обробки та можуть бути описані відповідними законами розподілу.

Однак співвідношення (4.14) не вичерпують математичного опису операції обробки. Дуже істотним є режим роботи верстата в часі та залежності, які реалізує цей режим роботи. Тому розглянемо час надходження j -го напівфабрикату до верстата t_j^H , τ^Γ — час, необхідний на підготовку верстата до виконання наступної операції, а також

$$t^\Gamma = t^K + \tau^\Gamma, \quad (4.15)$$

де t^Γ — момент готовності верстата до виконання операції.

Розглянемо час t^Π . Є група процесів, для якої не існує централізованого управління режимом виробничих циклів, тому для цієї групи справедливо таке: операція може розпочатись у той момент, коли буде виконані необхідні умови: верстат підготовлено, до нього надійшов наступний напівфабрикат. У такому разі час початку визначається як

$$t_j^\Pi = \begin{cases} t_j^H, & \text{якщо } t_{j-1}^K + \tau_{j-1}^\Gamma > t_j^H, \\ t_{j-1}^K + \tau_{j-1}^\Gamma, & \text{якщо } t_{j-1}^K + \tau_{j-1}^\Gamma > t_j^H. \end{cases} \quad (4.16)$$

Найефективнішими з погляду продуктивності є процеси, синхронізовані системою управління, тобто виробництво з централізованим управлінням виробничими циклами. Для таких процесів операція обробки починається в чітко зазначений час, який обумовлюється тривалістю такту τ^T , тобто моменти початку обробки визначають як $t_0 + k\tau^T$, $k=0, 1, 2, \dots$, де t_0 — початок відліку часу. Звісно, якщо виконані умови щодо готовності верстата й наявності заготовки, то операція може розпочатися в будь-який момент. Ці умови можна записати так:

$$t_0 + k\tau^T < t^K + \tau^\Gamma \leq t_0 + (k+1)\tau^T; \quad (4.17)$$

або

$$\begin{aligned} t^K + \tau^\Gamma &< t^H; \\ t_0 + k\tau^T &< t^H \leq t_0 + (k+1)\tau^T. \end{aligned} \quad (4.18)$$

Для знаходження моменту t^Π необхідно, щоб виконувалась одна із систем (4.17) або (4.18) для деякого k^*

$$t^\Pi = t_0 + (k^* + 1)\tau^\Gamma. \quad (4.19)$$

Ми розглянули два найпростіші випадки визначення моменту початку процесу обробки. На практиці існує набагато більше варіантів, але вони можуть бути зведені до розглянутих вище або до їх комбінації.

За математичного опису процесів обробки параметри τ^Γ , τ^T , $\tau^{\text{оп}}$ можуть розглядатись як випадкові величини. Так, час на підготовки верстата τ^Γ для виконання подальшої обробки, як правило, є випадковою величиною із заданим законом розподілу. У значенні закону розподілу можна використати показниковий закон

$$f(z) = \lambda e^{-\lambda z}, \quad (4.20)$$

де z — нормований параметр; λ — щільність потоку.

Параметри закону розподілу випадкової величини τ^Γ , наприклад λ , залежать, як правило, від характеристик самого верстата, а іноді — від характеристик напівфабрикатів.

Тривалість такту τ^T , як правило, залежить тільки від характеристик верстата і часто є не випадковою величиною, яка визначається за виразом (4.15).

Однією з найважливіших характеристик верстата є тривалість операції $\tau^{\text{оп}}$, яка, як правило, залежить як від характеристик верстата, так і від параметрів напівфабрикату. Під час математичного опису процесу обробки щодо $\tau^{\text{оп}}$ зробимо такі припущення. По-перше, випадкову величину $\tau^{\text{оп}}$ вважаємо незалежною від інших випадкових величин, які є в описі. Найчастішим винятком з цього правила є врахування кореляції між $\tau^{\text{оп}}$ та t^H або між $\tau^{\text{оп}}$ та t^Π . По-друге, $\tau^{\text{оп}}$ описується лише середнім значенням та дисперсією. І, по-третє, вважаємо, що середнє значення залежить від параметрів напівфабрикатів, а дисперсія — від характеристик верстата.

Розглянемо роль 3D-моделей у розв'язанні всього комплексу задач розробки ОТП і формування КП для обладнання з ЧПК. При цьому перелік розглянутих задач відповідає наведеному на рис. 4.5.

Для більшої наочності викладу розглянемо найскладніший вид обробки виробу на устаткуванні з ЧПК — фрезерування.

Вибір оброблюваних поверхонь і розрахунок траєкторії руху інструменту. Оброблювані поверхні зазначаються технологом на моделі деталі в інтерактивному режимі роботи з САМ-системою. Під час запуску команди на розрахунок траєкторії інструменту ці поверхні апроксимуються із заданою точністю елементарними плоскими фігурами (наприклад, трикутниками), після чого траєкторія обробки будується з урахуванням апроксимованої моделі поверхонь, моделі інструменту та вибраної технології обробки. Траєкторію розраховують не відносно точки дотику, а відносно нульової точки фрези.

Контроль траєкторії інструменту. У перших САМ-системах контроль розрахованої траєкторії інструменту виконувався технологом за допомогою покрокового чи безперервного перегляду переміщень інструменту на каркаській моделі. Пізніше з'явилися засоби реалістичної імітації процесу обробки, які заведень називалися симуляцією.

У процесі симуляції система використовує модель вихідної заготовки, модель різального інструменту й розраховану траєкторію. Модель вихідної заготовки можна отримати з САД-системи. Під час переміщення інструменту здійснюється «виключення» з моделі заготовки тих ділянок, з якими перетинається модель інструменту. Завдяки цьому імітується процес видалення матеріалу заготовки, тобто процес обробки.

Спочатку засоби симуляції давали можливість виконувати контроль 2,5- і 3-координатної обробки, а надалі стали також забезпечувати контроль 4- і 5-координатного фрезерування.

Контроль точності обробки. Симуляція дозволяє технологу оцінити лише правильність траєкторії руху інструменту в цілому, але не забезпечує перевірку точності виконаної обробки. Для такої перевірки використовують інший механізм, що одержав назву верифікації та ґрунтується на порівнянні вихідної (конструкторської) 3D-моделі деталі з моделлю деталі, отриманою в результаті обробки.

Результати порівняння видаються на екран комп'ютера у вигляді колірної карти відхилень розмірів обробленої деталі від номіналу, де кожен із діапазонів відхилень виділяється заданим кольором. Технолог може встановлювати кількість та розмір діапазонів, а також призначати їхні кольори. Для зазначення на деталі певної точки виводиться цифрова інформація про відхилення розмірів у цій точці.

Оптимізація схеми обробки. Для того щоб технолог ЧПК міг оцінити якість обраних технологічних рішень, йому необхідно провести розрахунок траєкторії руху інструменту й виконати процедуру симуляції. Однак ці дії можуть забирати багато часу й потребувати подальшого повторення для пошуку оптимального рішення. У результаті ефективність роботи технолога істотно знижується.

У CAD/CAM-системі Cimatron E (розробка компанії Cimatron Ltd) [173, 174] пропонується принципово інше рішення, яке полягає в можливості попереднього реалістичного перегляду результатів обробки до початку розрахунку траєкторії інструменту і симуляції. Порівняльну перевагу у продуктивності роботи технолога при використанні цього методу зображено на рис. 4.6.

Механізм попереднього перегляду результатів обробки в Cimatron E забезпечується за рахунок спеціальних алгоритмів, які реалізують прискорене інтегроване рішення задач розрахунку траєкторії інструменту і симуляції обробки.



Рис. 4.6. Підвищення продуктивності під час роботи в системі Cimatron E

Оптимізація траєкторії інструменту. Використання 3D-моделі поточного стану заготовки безпосередньо в процесі формування траєкторії інструменту створює передумови для оптимізації цієї траєкторії. Такі рішення, прийняті, зокрема, в CAD/CAM Cimatron E [175], дають змогу реалізувати такі алгоритми оптимізації:

- *Контроль можливих зіткнень інструменту із заготовкою на прискорених (холостих) переміщеннях.* У разі виявлення можливого зіткнення такі переміщення переносять на безпечну висоту (безпечну відстань).

- *Видалення непотрібних холостих переміщень із процесу обробки.* Такі переміщення можуть з'явитися, наприклад, під час напівчистової обробки колодязя. У цьому разі матеріал у середній частині колодязя вже вибраний під час попередньої чорнової обробки, повторні переміщення інструменту в цій частині могли б виконуватись у повітрі. Контроль поточного стану заготовки дає змогу виявити й виключити ці переміщення з траєкторії.

- *Фрезерування з обмеженням по Z.* Усі переміщення, що знаходяться вище заданого Z (чи нижче), буде виключено. Можливо також виключення переміщень, що містяться в заданому інтервалі по Z.

- *Контроль навантаження на інструмент.* За перевищення заданого навантаження може бути зменшена подача або припуск так, що необхідна зона буде оброблена за більшу кількість проходів (кроків).

- *Контроль можливих зіткнень державки інструмента із заготовкою.* У разі виявлення зіткнення система видає попередження й залишає небезпечну зону необробленою або замінює різальний інструмент на «довший» і обробляє ним небезпечні зони. Для 5-координатних верстатів можливий режим, за якого обробка небезпечної зони здійснюється за допомогою нахилу осі інструмента стосовно деталі так, що зіткнення державки із заготовкою не відбувається (рис. 4.7).

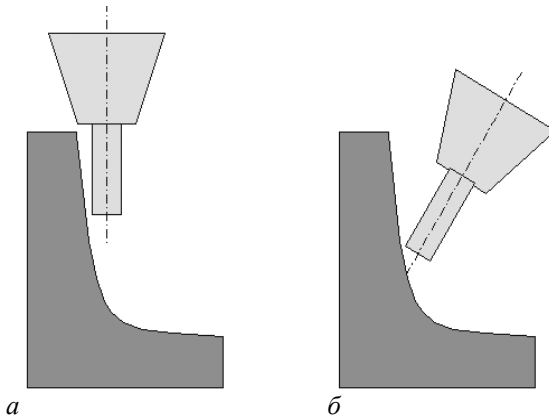


Рис. 4.7. Обробка небезпечної зони деталі:
а — виявлення зіткнення; б — використання можливостей 5-координатного верстата

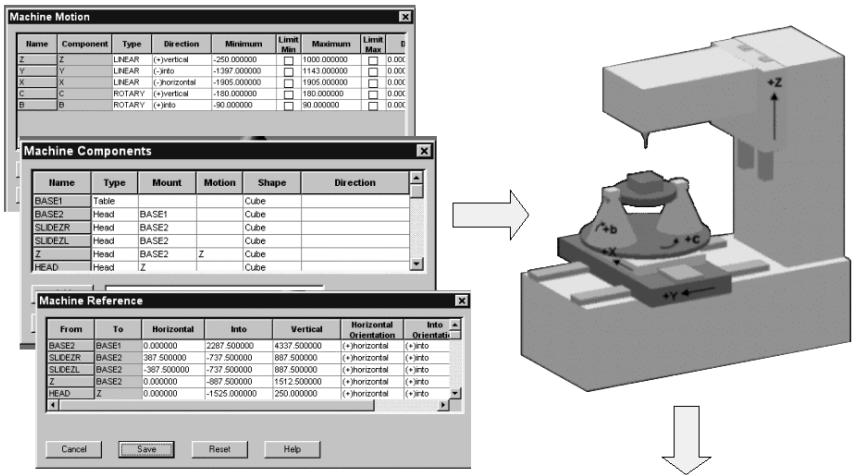
Формування КП у постпроцесорі. Для 2,5- і 3-координатних верстатів з ЧПК формування КП полягає у відносно нескладному перетворенні інформації, за яким описується траєкторія інструменту послідовно з кадрами заданого формату. Однак для багатокординатних верстатів, значення яких у виробництві на сьогоднішній день

невпинно зростає, формування КП не зводиться до простого кодування інформації. Причина полягає в тому, що склад і зміст команд з переміщення інструменту в КП для багатокоординатних верстатів істотно залежить від типу кінематичної схеми виконавчих органів верстата [168, 173]. Тому КП для верстатів із різними кінематичними схемами будуть відрізнятися за змістом, незважаючи на те, що в обох випадках обробляють однакову деталь.

За багатокоординатної обробки поточне положення інструмента в траєкторії описується у вигляді (x, y, z, i, j, k) , де (x, y, z) — координати нульової точки інструмента, а (i, j, k) — орти, що визначають положення осі інструмента в системі координат деталі. Постпроцесор має (наприклад, для 5-координатного верстата з трьома лінійними осями X, Y, Z і двома поворотними осями B, C) виконати перетворення $(x, y, z, i, j, k) \rightarrow (X, Y, Z, B, C)$, яке вимагає від розробника постпроцесора розв'язання нетривіальної задачі з виведення відповідних математичних залежностей [168, 176].

Необхідність «ручного» розв'язання цієї задачі можна усунути завдяки використанню в постпроцесорі 3D-моделі верстата з ЧПК, оскільки імітація переміщень виконуючих органів моделі верстата дає змогу автоматично одержати координати, які відповідають заданому положенню інструменту. Цей підхід реалізовано, зокрема, у генераторі постпроцесорів IMSpост (розробка компанії IMS Inc.) [174, 177].

Для створення моделі верстата в IMSpост потрібно описати координати осей верстата, склад, параметри та взаємне розташування його вузлів (вікно Machine Reference). На основі цих описів IMSpост формує 3D-модель верстата, яку можна переглядати й редагувати в графічному режимі (рис. 4.8).



$$(x, y, z, i, j, k) \rightarrow (X, Y, Z, B, C)$$

Рис. 4.8. Побудова і використання 3D-моделі 5-координатного верстата

Модель верстата дає можливість автоматично вирішувати ще одне складне завдання — так звану проблему нелінійності [178]. Проблема полягає в тому, що послідовні положення в траєкторії інструменту обчислюють в CAD/CAM-системі з урахуванням припущень лінійності переміщення інструменту між цими положеннями. Однак використовуваний у системах ЧПК режим лінійної інтерполяції за відпрацювання кадру призводить до того, що інструмент рухається за криволінійною траєкторією (рис. 4.9, а). У результаті цього можливі зарізання та брак оброблюваної деталі.

Розв'язання проблеми нелінійності є функцією постпроцесора та полягає ось у чому. Якщо відхилення інструменту від лінійної траєкторії перевищує заданий допуск, то постпроцесор формує додаткове положення інструменту всередині поточної ділянки, яка відповідає умовам лінійності. Після цього розраховують відхилення для кожної з отриманих ділянок (рис. 4.9, б).

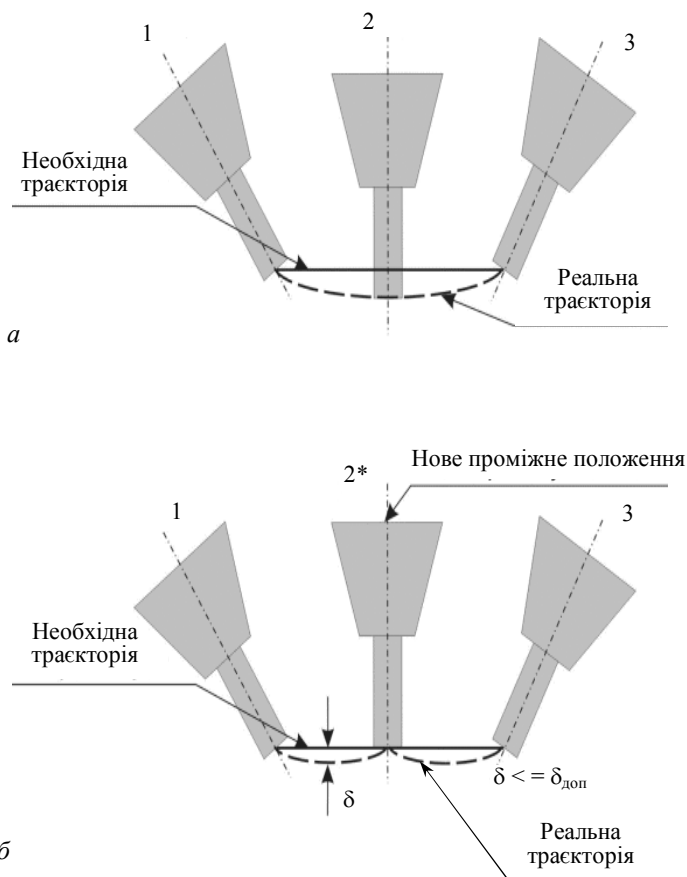


Рис. 4.9. Проблема нелінійності та схема її розв'язання

Якщо відхилення все ще перевищує допуск, проводять додатковий поділ і так доти, доки відхилення не буде меншим за допуск.

Проблема нелінійності є значно складнішим завданням, ніж розрахунок координат виконавчих органів верстата [178]. Крім цього, за її «прямого» вирішення шляхом написання відповідної програми виникають досить високі вимоги до використовуваних засобів програмування. Однак наявність моделі верстата в генераторі IMSpost діє змозгу вирішувати проблему нелінійності автоматично. Отже, використання 3D-моделей верстатів дозволяє істотно спростити завдання розробки постпроцесорів для багатокоординатного обладнання з ЧПК.

Контроль зіткнень у системі ВПД. Часткове розв'язання задачі контролю зіткнень було розглянуто раніше під час розгляду засобів оптимізації траєкторії інструменту. Однак для повного контролю необхідно враховувати тільки моделі заготовки та інструменту, потрібно використовувати також 3D-моделі верстата і пристроїв. Оскільки в САМ-системі моделі верстата немає, то для повного контролю зіткнень було розроблено спеціальні системи — верифікатори, найкращою з яких є система VERICUT (розробка компанії CGTech) [174].

Техніка побудови моделей верстатів у VERICUT схожа на техніку, реалізовану в генераторі постпроцесорів IMSpost. Однак візуалізація моделей у VERICUT відрізняється вищою якістю, що відповідає цілям їх використання (рис. 4.10).

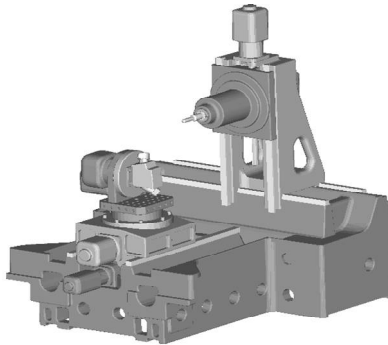


Рис. 4.10. Модель 5-координатного верстата фірми Mazak, побудована в системі VERICUT

Процедура контролю зіткнень є симуляцією процесу обробки з урахуванням усіх елементів системи ВПД. Вхідною інформацією для процесу є файл КП, а також моделі заготовки, інструменту та пристроїв. Моделі пристроїв і заготовки позиціуються на верстаті перед початком процедури контролю КП.

Контроль роботи постпроцесора. Під час розробки постпроцесора для багатокординатного обладнання зберігається ймовірність помилок під час побудови моделі верстата в IMSpost (наприклад, помилково заданий позитивний напрямок обертання поворотного столу). Якщо ж постпроцесор розроблявся не в IMSpost, а в іншому генераторі, що не містить засобів створення моделі верстата (наприклад, у генераторі GPP [174,175]), то ймовірність помилки у формулах координатних перетворень зростає. Тому доцільно використовувати контроль КП у VERICUT для перевірки правильності роботи відповідного постпроцесора: якщо виконавчі органи верстата під час

симуляції здійснюють неправильні переміщення і модель деталі в результаті «зіпсовано», необхідно переробити постпроцесор.

Перетворення КП для виконання обробки на іншому верстаті. На практиці ця задача, названа конвертацією КП, виникає тоді, коли з різних причин (поломки верстата, його зайнятості тощо) обробку даної деталі потрібно перенести на верстат із ЧПК іншої моделі. Якщо при цьому комп'ютерне представлення ОТП у САЕ-системі не збережено, то нову КП не можна отримати завдяки використанню відповідного постпроцесора. Завдання можна вирішити за допомогою спеціальної програми-конвертора, який перетворить КП з існуючого формату в потрібний.

Зауважимо, що завдання конвертації в загальному випадку не зводиться до вирішення лінгвістичних проблем. Вище зазначалося, що склад і зміст команд з переміщення інструменту в КП для багатокоординатних верстатів залежать від кінематичної схеми виконуючих органів верстата. КП для верстатів з різними кінематичними схемами матимуть різний зміст, незважаючи на те, що в обох випадках обробляється та сама деталь. Розробка ж конвертора для багатокоординатного верстата є не менш складним завданням, аніж розробка постпроцесора.

Ефективне вирішення проблеми конвертації досягається за допомогою використання 3D-моделей верстатів у САЕ-системах VERICUT та IMSpost. При цьому процес конвертації охоплює такі етапи:

1. Створення в САЕ-системі VERICUT моделі того верстата, для якого створено вихідну (конвертовану) КП, та перетворення КП у нейтральний формат CLDATA.

2. Розробка в САЕ-системі IMSpost постпроцесора для верстата, на який потрібно перевести обробку (якщо такого постпроцесора на даний момент немає), та одержання КП для даного верстата на основі файла CLDATA, згенерованого в VERICUT.

Використовуючи розглянутий комплекс задач розробки ОТП і формування КП, розглянемо математичну модель управління виходячи з деякого формалізованого процесу функціонування системи управління для обладнання з ЧПК. Принципову схему такої системи управління наведено на рис. 4.11.

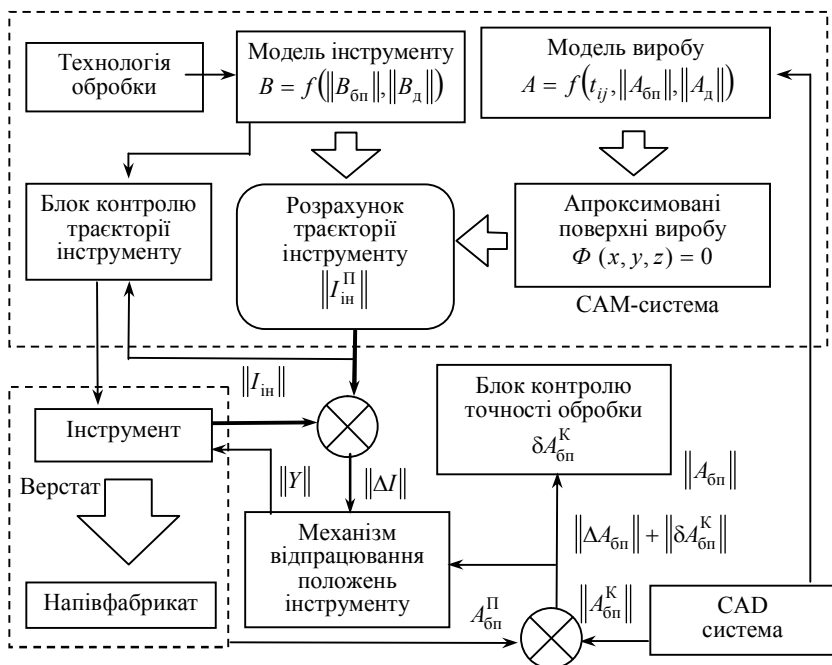


Рис. 4.11. Принципова схема системи управління процесом проектування ОТП та процесом обробки виробу на верстаті з ЧПК

Як зазначалося раніше, формування програмних траєкторій інструменту здійснюється 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 фрези, тобто

$$\|I_{\text{ін}}^{\text{П}}\| = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_{\text{ін}}^{\text{П}} & y_{\text{ін}}^{\text{П}} & z_{\text{ін}}^{\text{П}} \end{vmatrix}, \quad (4.21)$$

де $x_{\text{ін}}^{\text{П}}, y_{\text{ін}}^{\text{П}}, z_{\text{ін}}^{\text{П}}$ — програмні координати інструменту.

Управляючі сигнали для механізму відпрацювання просторового положення інструменту розраховуються постпроцесором як різниця між поточним положенням інструменту та програмною траєкторією з відповідним коефіцієнтом

ність використання обладнання з ЧПК. Однак недостатня інтеграція розглянутих засобів призводить до дублювання функцій (наприклад, симуляцію обробки можна виконувати як у САМ-системі, так і у верифікаторі), необхідності повторних робіт (модель верстата потрібно створювати як у генераторі постпроцесорів, так і у верифікаторі), зайвих витрат підприємства на придбання програмного забезпечення, необхідності освоєння різних засобів для вирішення однотипних завдань. Тому комплексне дослідження методів використання 3D-моделей для вирішення завдань проектування ОТП і КП може стати точкою відліку для подальшої інформаційної та структурної інтеграції CAD/CAM-систем і спеціальних засобів автоматизації програмування й управління обладнанням із ЧПК.

4.3. Методика наскрізного паралельного проектування формуютьовальної оснастки та інструменту з використанням інтегрованих CAD-додатків

Проектування та виготовлення складної формуютьовальної оснастки та інструменту (ФО та ФІ) є одним з найбільш трудомістких завдань ТПВ. За низького рівня автоматизації тривалі терміни проектування і виготовлення ФО та ФІ найчастіше є «вузьким місцем», яке стримує загальну продуктивність ТПВ. Порівняно з проектуванням інших видів оснастки (наприклад, пристроїв) проектування ФО та ФІ вимагає від конструктора значно вищої кваліфікації.

До ФО належать форми для інжекційного лиття виробів з пластмас та гуми (прес-форми), штампи для гарячого штампування виробів з металу, гнучкі штампи і т. ін. До ФІ відносять електроди для пропалювання окремих зон формуютьовувальних елементів ФО на прошивних електроерозійних верстатах. Оскільки ФІ використовують не для виготовлення деталей основного виробу, а для деталей оснастки, то його називають «оснасткою 2-го порядку».

Вирішення завдань проектування ФО передбачає створення її єдиної конструкції, яка складається з формуютьовувальних елементів, тобто вирішення не менш складного завдання — операції складання. Розглянемо математичний опис абстрактної операції складання, яку в загальному випадку можна використати для формалізації будь-якої операції складання виробу.

Під абстрактною операцією складання розглядатимемо таку операцію, яка передбачає участь кількох формоутворювальних елементів (ФЕ) у формуванні єдиного виробу. Серед цих елементів необхідно розрізняти ведучий (складений вузол) та ведені елементи. Для багатьох технологічних процесів вибір одного з формоутворювальних елементів є доволі умовним і притаманним першим (початковим) етапам складання.

Отже, під операцією складання розумітимемо такий елементарний акт виробничого процесу над сукупністю формоутворювальних елементів, у результаті якого створюється ФО, а формоутворювальні елементи перестають існувати. Інакше кажучи, якщо ведучий елемент чітко визначений, то здійснюється зміна його параметрів та його перехід у стан ФО, що можна описати формулою

$$\text{ФЕ}_{\text{ведучий}} + \sum_{i=1}^m \text{ФЕ}_{\text{ведений}, i} = \text{ФО}. \quad (4.24)$$

Припускаємо, що існує відповідний набір виробничого обладнання — агрегат, який забезпечує виконання операції обробки. Для моментів початку та кінця операції, надходження ФЕ, готовності агрегата, тривалості операції використовуємо такі самі позначення та відношення між ними, як і в попередньому підрозділі, тобто вирази (4.13, 4.15) залишаються справедливими й для операції складання.

Очевидно, що суть операції складання полягає в переробленні інформації, яка описує стан ФЕ, що беруть участь у складанні. Припустимо, що в складанні беруть участь складальний вузол та l ведених ФЕ. Їхні параметри для моментів часу $t < t^{\text{П}}$ описуються відповідними безперервними та дискретними величинами:

$$\begin{aligned} \|A_{\text{бп}_i}^0\| &= \|a_{\text{бп}_i}^0, a_{\text{бп}_i}^0, \dots, a_{\text{бп}_i}^0\|; \\ \|A_{\text{д}_i}^0\| &= \|a_{\text{д}_i}^0, a_{\text{д}_i}^0, \dots, a_{\text{д}_i}^0\|. \end{aligned}$$

Припустимо, що складальний вузол має індекс 1. Тоді в результаті операції складання ми отримаємо складальний вузол з новими характеристиками, які можна описати так:

$$\|A_{\text{бп}_1}^{\text{К}}\|^T = \left\| \begin{array}{c} a_{\text{бп}_1}^0 + \sum_{i=1}^l a_{\text{бп}_i}^0 \pm \delta a_{\text{бп}_1}^{\text{К}} \\ \dots\dots\dots \\ a_{\text{бп}_m}^0 + \sum_{i=1}^l a_{\text{бп}_i}^0 \pm \delta a_{\text{бп}_1}^{\text{К}} \end{array} \right\|, \quad (4.25)$$

де $\delta a_{\text{бп}_1}^{\text{К}}$ — параметри, які залежать від складального агрегата.

Дискретні характеристики ведених елементів створюють дискретні характеристики ведучого вузла та змінюють свій попередній стан на стан «приєднана».

Розглянемо час початку операції складання ФЕ t^{Π} . Якщо ФЕ надходять до агрегата складання послідовно або паралельно-послідовно й характеризуються своїм часом надходження t_i^H , то t_j^{Π} визначається готовністю всієї сукупності елементів та описується за аналогією з (4.16) таким виразом:

$$t_j^{\Pi} = \max \{t_i^{\Pi}, t_{j-1}^K + \tau_{j-1}^{\Gamma}\} \quad \text{при} \quad i = 1, 2, \dots, l.$$

На практиці трапляються і складніші випадки. Так, операція складання розпочинається з надходженням окремих ФЕ та в разі готовності обладнання.

Тепер розглянемо випадок, коли операція складання може розпочатися тільки в момент початку такту складального агрегата. За аналогією з (4.18), (4.19) маємо

$$t^{\Pi} = t_0 + (k+1)\tau^T,$$

якщо виконуються умови

$$\begin{aligned} t^H &\leq t_0 + (k+1)\tau^T; \\ t_0 + k\tau^T &< t^K + \tau^{\Gamma} \leq t_0 + (k+1)\tau^T. \end{aligned}$$

Іншим параметром, який визначає режим взаємодії обладнання в часі, є величина $\tau^{\text{оп}}$. Способи математичного опису цієї величини істотно залежать від структури формалізованої операції складання, а сама величина може складатися з часу, необхідного на установку елементів у вузлі, кріплення вузла та часу регулювання. Інші характеристики, які описують процес складання, можуть бути описані, як і в разі операції обробки в попередньому підрозділі.

Багато сучасних систем САД (CAD/CAM), орієнтованих на їх використання у сфері ТПВ, містять у своєму складі спеціалізовані додатки, розроблені для проектування ливарних форм (прес-форм). Такими додатками, що ґрунтуються на універсальних засобах 3D-моделювання і креслення, є, власне кажучи, спеціалізовані САПР із високим рівнем автоматизації.

Розглянемо методику з вирішення завдань проектування ФО (прес-форм) та ФІ із застосуванням САД/CAM-системи Cimatron E [175, 179]. Ця система (розробка компанії Cimatron Ltd.) є однією з наймогутніших у сфері інструментального виробництва й забезпечує інтегроване вирішення таких завдань проектування ФО та ФІ:

- прийняття моделі виробу через один з наявних інтерфейсів;

- аналіз конструкції виробу та можливість коригування моделі;
- урахування усадки матеріалу виробу під час його виготовлення;
- визначення напрямів рознімання та кількості формоутворювальних елементів оснастки;
- проектування формоутворювальних елементів;
- проектування конструкції прес-форми;
- одержання комплекту креслярсько-конструкторської документації на прес-форму;
- проектування електродів для пропалювання ділянок формоутворювальних поверхонь, які важко чи недоцільно виготовляти за допомогою фрезерування;
- одержання креслярсько-конструкторської документації на електроди;
- розробка керуючих програм для виготовлення формоутворювальних деталей прес-форми та робочих поверхонь електродів на верстатах із ЧПК.

Вихідні дані для проектування ФО та ФІ надходять у вигляді 3D-моделі деталі. Якщо модель було створено в іншій CAD-системі, то вона приймається в Cimatron через один із наявних інтерфейсів. При цьому, якщо модель надійшла в поверхневому представленні, то немає потреби виконувати операції з усунення дефектів геометрії (зтягування можливих щілин між поверхнями). Їх наявність не впливає ні на якість проєктованих об'єктів, ні на швидкість проєктування.

Наступним кроком є аналіз моделі та можливі коригування (за їх узгодження з розробником моделі) з метою подальшого спрощення конструкції ФО. Для редагування моделі Cimatron E пропонує гібридне робоче середовище, єдине для роботи з каркасними елементами, поверхнями, твердотільними об'єктами. При цьому надаються такі можливості, як створення складних параметричних поверхонь зі швидкістю твердотільної технології, виконання булевих операцій над відкритими й замкнутими об'єктами, створення ухилів, галтелей, скруглення кутів тощо.

Після завершення попередньої роботи з моделлю виробу (якщо така робота виявилася необхідною) створюють моделі формоутворювальних елементів оснастки. Перша дія при цьому — урахування усадки матеріалу деталі. Усадка задається введенням коефіцієнтів масштабування деталі за осями довільної системи координат та перераховується в значення об'ємної усадки.

Наступний етап роботи виконують за допомогою додатка Quick-Split, де здійснюється поділ моделі на набори формоутворювальних

поверхонь. Для цього конструктор задає спочатку головний напрямок рознімання, а після цього — усі інші напрямки, поки «нерозділених» поверхонь не залишиться (після поділу вони змінюють колір і положення на екрані).

Напрями рознімання задають різними способами: дотично до лінії, за нормаллю до лінії чи площини, уздовж прямої чи осі довільної системи координат, за кутом до заданої площини, за двома точками, уздовж осі циліндра або конуса. При цьому визначають, до якого формоутворювального набору, що відповідає головному напрямку рознімання (пуансону чи матриці), мають належати вертикальні поверхні. У разі потреби поверхні переносяться з одного набору в інший: зазначається поверхня, а потім — набір, до якого її потрібно перенести. Перенесення поверхонь може знадобитися, наприклад, коли всі вертикальні поверхні належать до матриці, але вертикальні поверхні будь-якого вирізу на моделі, з погляду технологічності виготовлення, мають бути розміщені на пуансоні. Після поділу моделі за допомогою спеціального «движка» на екрані Simatron виробляється динамічна візуалізація переміщення наборів формоутворювальних поверхонь уздовж заданих напрямів рознімання.

Коли модель розділена, можна виконати операцію аналізу кутів ухилу поверхонь моделі, що дасть змогу виявити вертикальні зони чи піднутрення. Аналіз виконують одночасно для кожного формоутворювального набору, стосовно відповідного напрямку рознімання. У результаті на моделі створюється колірна карта кутів ухилу — кожному інтервалу значень кутів відповідає свій колір. Значення кутів і відповідних їм кольорів задає користувач.

Команда побудови зовнішніх і внутрішніх ліній рознімання працює в автоматичному чи інтерактивному режимі. Поверхні рознімання також можна створити автоматично. За їх інтерактивної побудови дозволяється використовувати будь-які операції Simatron E зі створення поверхонь. Поверхні рознімання асоціативно пов'язані з лінією рознімання — будь-яка зміна лінії рознімання приводить до відповідної зміни поверхні, що дуже зручно під час роботи зі складними деталями, коли проробляється кілька варіантів. Після завершення зазначених дій створюється заготовка формоутворювального блока й виконується її поділ за формоутворювальними поверхнями. При цьому створюються моделі формоутворювальних деталей оснастки.

Наступним етапом є проектування конструкції прес-форми. Це завдання можна вирішити з використанням додатка MoldDesign (рис. 4.12).

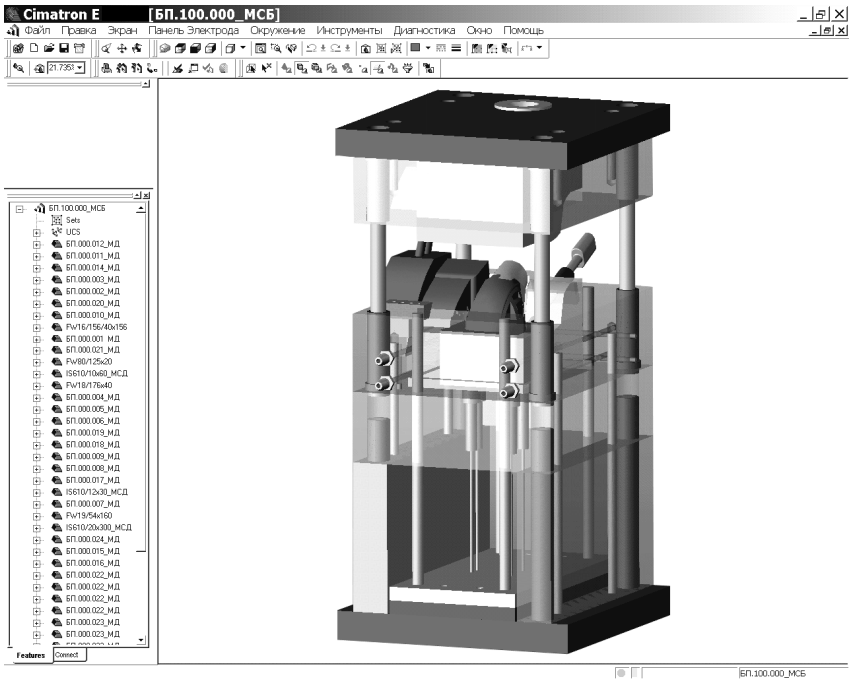


Рис. 4.12. Модель прес-форми в підсистемі MoldDesign

Працюючи в MoldDesign, конструктор оснастки може використовувати стандартні каталоги деталей прес-форм (такі як DME, EOC, FUTABA, HASCO тощо), а також створювати, вести й використовувати свої власні нормалі. Система забезпечує проектування таких складних видів прес-форм, як багатомісні та шибєрні, підтримує не тільки моделі стандартних деталей та зборок, а й веде по них усю інформацію: креслення, специфікації та керуючі програми. Конструктору пропонуються як стандартні засоби для створення 3D-моделі прес-форми, так і спеціальні засоби для проектування її підсистем — уприскування, виштовхування, охолодження та нагрівання. У системі є також засоби аналізу спроектованої оснастки, які дають можливість:

- аналізувати «накладення» деталей та їх зіткнення;
- виконувати контроль мінімальних товщин стінок (відстаней до каналів системи охолодження) деталей прес-форми;
- визначати ефективність системи охолодження;
- виконувати реалістичну візуалізацію роботи прес-форми;
- передавати дані в САЕ-систему для аналізу процесу лиття виробу.

Під час роботи з Mold Design креслення (проекційні види та розміри, позначення позицій на складальному кресленні, таблиці отворів та ординатне оброзмірювання), специфікації та керуючі програми для обробки плит прес-форми створюються автоматично, оскільки система має всю необхідну інформацію. Водночас у разі потреби конструктор може в будь-який момент унести корективи у вихідні документи.

Після того як проектування прес-форми завершено, переходять до етапів її виготовлення. Ці етапи можуть потребувати проектування додаткового формоутворювального інструменту — електродів для пропалювання. Пропалювання застосовують там, де обробка фрезеруванням ускладнена (наприклад, глибокий паз на поверхні), або там, де обробка пропалюванням з певних причин є кращою порівняно з фрезеруванням. Зокрема, під час прийняття альтернативи «пропалювання чи фрезерування» на користь пропалювання важливу роль відіграє наявність на підприємстві сучасного електроерозійного устаткування і такий рівень його поточного завантаження, який дає змогу виконати роботу в запланований термін.

Проектування електродів виконують за допомогою додатка Quick-Electrode. Спочатку користувач визначає профіль електрода в плані (прямокутний чи круглий) та зону пропалювання. Одним з варіантів задавання зони пропалювання є зазначення поверхонь моделі, які треба обробити. Після цього система може сполучити геометричні центри зони пропалювання та електрода, показати мінімально можливі розміри електрода. Іншим варіантом визначення зони пропалювання є задавання габаритів електрода, після чого за динамічного переміщення отриманого контуру по моделі деталі система підсвічує поверхні, які можна обробити таким електродом. Цей варіант особливо зручний, коли відомі розміри заготовок електродів, які є на складі, на заготівельній ділянці чи закуплені в стороннього виробника та внесені в базу даних. Після виконання цих дій створюють контури, які визначають габарити заготовки електрода й формоутворювальні поверхні електрода.

Далі можливі два варіанти роботи — з використанням чи без використання шаблону проектування. Якщо шаблон не використовується, то послідовно виконуються такі дії: визначають систему координат пропалювання, автоматично створюють поверхні хвостовика електрода, задають правила для автоматичного створення «перехідних» поверхонь (поверхні між основою електрода та його формоутворювальними поверхнями). Жодна з поверхонь електрода не будуватиметься користувачем у традиційному розумінні цього слова. Правилами для автоматичного створення, наприклад «перехідних»

поверхонь, є: «будувати дотично до поверхонь», «уздовж заданого напрямку», «за двома напрямками», «створити поверхню замикання».

Якщо використовується шаблон проектування, варто задати тільки зону пропалювання та застосувати шаблон. Усі інші операції буде виконано автоматично. Як шаблон проектування можна використати будь-який раніше спроектований електрод. Цей режим проектування дуже продуктивний, тому що на більшості підприємств параметри прошивної електроерозії (вид заготовок електродів, схеми базування, конфігурації електродів тощо) та види оброблюваних зон пропалювання уніфіковано.

Після створення моделей електродів можливе виконання автоматичної команди щодо створення необхідних креслень. При цьому в кресленні створюються не окремі проекційні види, а відразу всі необхідні види з розмірами, оформленим та заповненим основним написом креслення, з таблицями параметрів, заданих під час проектування. Для кожного електрода автоматично створюють і карту налагодження верстата (рис. 4.13).

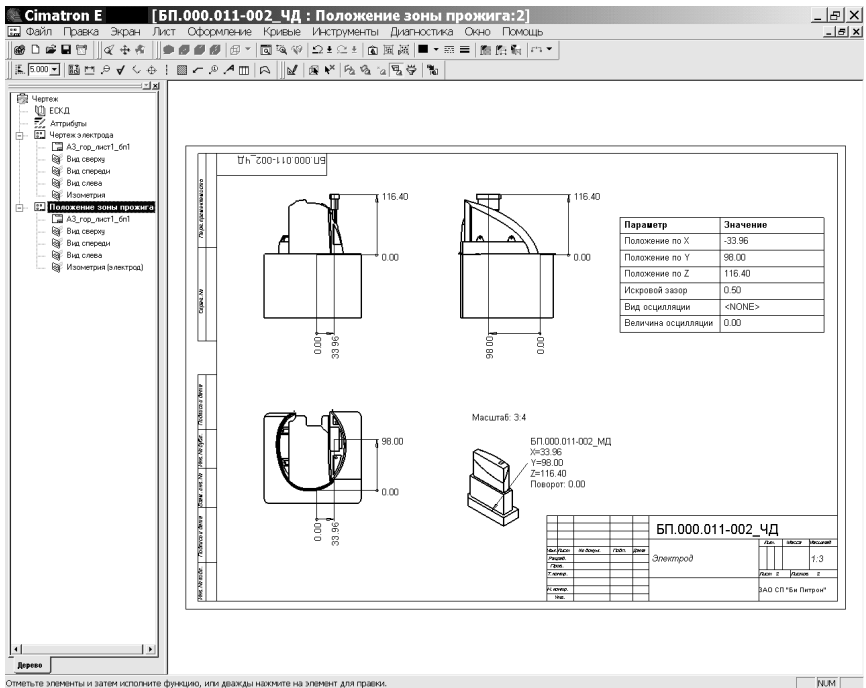


Рис. 4.13. Карта налагодження електроерозійного верстата

Автоматичне формування виробничої документації забезпечується завдяки можливості попереднього налагодження як параметрів електроерозійної обробки, так і кожного зі створюваних документів. Параметрами є кількість переходів під час пропалювання (чорнова, напівчистова, чистова, фінішна обробка) та параметри кожного переходу — іскровий зазор, вид і значення осциляції, маска для автоматичного формування назв електродів та назв документів, які формуються. Для документів вказують формат основного напису, склад проекційних видів, місця розміщення технологічних таблиць та інші параметри.

На рис. 4.14 представлено загальну схему інтегрованого виконання конструкторсько-технологічних робіт з проектування ФО та ФІ з використанням CAD/CAM-системи Cimatron E з урахуванням зв'язку цих робіт з організаційно-виробничими завданнями ТПВ.



Рис. 4.14. Інтегроване виконання робіт під час проектування та виготовлення ФО та ФІ з використанням CAD/CAM-системи Cimatron E

Реалізація інтегрованого рішення в Cimatron E забезпечує можливість колективної роботи користувачів над проектом і можливість паралельного проектування, яке досягається завдяки наявності загаль-

ної бази даних проекту. Зокрема, можна паралельно проектувати формоутворювальні деталі прес-форми та її загальну конструкцію, одержувати креслярсько-конструкторську документацію на прес-форму та проектувати електроди, отримувати креслярсько-конструкторську документацію на електроди й розробляти КП для оброблення формоутворювальних деталей на верстатах із ЧПК (рис. 4.15).

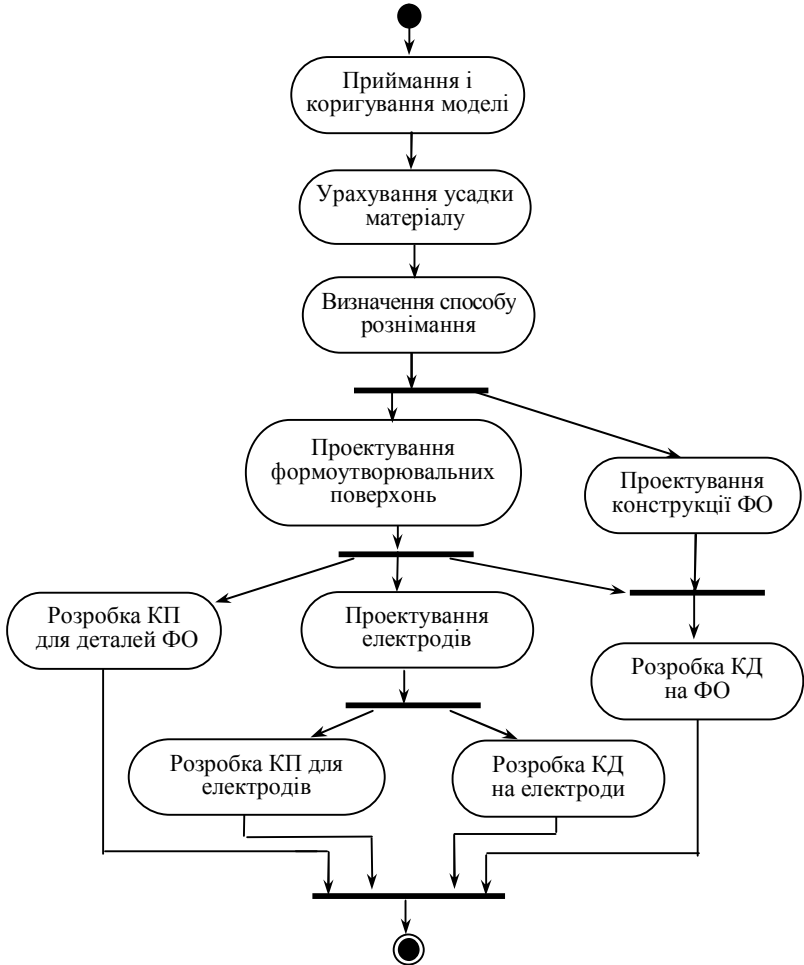


Рис. 4.15. Паралельне виконання етапів проектування ФО та ФІ

Як показує практика, використання паралельного проектування під час розв'язання розглянутих вище задач дає змогу скоротити за-

гальний час порівняно з методами послідовного проектування в 1,5—2 рази.

Не менш важливим є також те, що в разі внесення змін у вихідну модель виробу конструктору чи технологу ЧПК не потрібно повторно виконувати етапи проектування ФО та ФІ — система автоматично проведе відповідні зміни по всіх етапах процесу проектування. Конструктору (технологу) необхідно лише «підтвердити» факт проведення змін. Тим самим забезпечується значне підвищення загального рівня автоматизації проектування і, як наслідок, значне скорочення термінів ТПВ. Зауважимо, що автоматичне проведення змін стає можливим завдяки не тільки загальній базі даних проекту, а й параметричним властивостям 3D-моделей, що використовуються.

Проведений аналіз комплексного вирішення завдань конструкторсько-технологічного проектування ФО та ФІ ілюструє високу ефективність методу використання інтегрованих додатків САД-системи для вирішення складних проектних завдань ТПВ, що підтверджується також практикою впровадження розглянутих вище систем на підприємствах машинобудування. Варто підкреслити, що в основу цього методу покладено використання параметризованих 3D-моделей виробу, розміщених у загальній базі даних проекту. Це забезпечує як високий рівень автоматизації вирішення проектних завдань, так і можливість колективного і паралельного проектування.

4.4. Управління конструкторськими та технологічними проектами в інтегрованому інформаційному середовищі АСТПВ засобами PDM-системи

Кожен проект основного виробу (див. підрозд. 3.1) супроводжується в АСТПВ конструкторськими проектами (КПр) виробів ТПВ (нестандартне обладнання, оснастка, інструмент) і розробленими ТП виготовлення основного виробу, які можна назвати технологічними проектами (ТПр). Для позначення всієї сукупності конструкторських і технологічних проектів ТПВ для основного виробу введемо аббревіатуру КТПр.

Оскільки описи КТПр зберігаються в ІС ТПВ, реалізованому засобами PDM-системи, необхідно встановити такі процедури управління КПр і ТПр у середовищі PDM, які б не залежали від інших систем, що використовуються для автоматизації конструкторського й

технологічного проектування (CAD/CAM/CAE, САПР-ТП та ін.). Ці процедури, убудовані в PDM-систему, забезпечують роботу фахівців в ПС ТПВ та є його невід'ємною частиною.

Управління конструкторськими проектами. У підрозд. 3.1 було зазначено, що КПр описується своєю конструкторською документацією, до якої належать моделі, креслення й текстові документи. При цьому якщо створення моделей і креслень є прерогативою CAD-систем, то формування текстових документів найдоцільніше виконувати в середовищі PDM-системи. Це обумовлено, з одного боку, тим, що в PDM міститься необхідний для їх генерації повний опис структури та змісту проекту, а з іншого боку — тим, що ці документи мають бути частиною ПС. Крім цього, за такого рішення АСПВ не залежатиме від наявності чи відсутності у CAD-системі, яка використовується, спеціальних додатків, що виконують генерацію текстових документів відповідно до ЄСКД.

Необхідною умовою управління КПр в ПС є інтеграція використовуваних CAD-систем з PDM-системою. Така інтеграція має охоплювати:

1. Прив'язку до КПр імені використовуваної CAD-системи з метою її виклику з PDM-системи під час роботи з 3D-моделлю чи кресленням виробу.
2. Прив'язку згенерованого CAD-системою файла з 3D-моделлю чи кресленням до відповідного об'єкта класів «Проект виробу», «Складальна одиниця», «Деталь» та ін.
3. Передавання атрибутної інформації про об'єкт з PDM у CAD-систему і навпаки.

Перший і другий елементи інтеграції забезпечуються управлінням атрибутів «Ім'я CAD-системи» в набір атрибутів класу «Проект виробу» і атрибуту «Ім'я файла» — у набори атрибутів відповідних класів. Третій елемент інтеграції потребує наявності у PDM і CAD-системах спеціальних інтерфейсів. Наприклад, PDM-система SmarTeam має інтерфейсні модулі інтеграції з CAD-системами CATIA, Pro/Engineer, SolidWorks, SolidEdge, Cimatron E і т. ін.

PDM-система SmarTeam взаємодіє з інтегрованими з нею CAD-системами за допомогою виконання таких функцій:

- автоматичний виклик CAD-системи із SmarTeam з передаванням файла для проектування 3D-моделі для використання її в складанні чи для створення креслення;
- автоматичне передавання інформації із SmarTeam в основний напис креслення, яке проектується в CAD-системі;
- автоматичний виклик SmarTeam із CAD-системи для передавання файлів 3D-моделей з реєстрацією 3D-моделей, якщо вони пе-

рвинно створені в CAD-системі (тобто передавання в SmartTeam дерева складання);

- автоматичне передавання інформації з основного напису креслення, створеного в CAD-системі, у SmartTeam.

Первинне створення проекту виробу, як і формування текстових конструкторських документів, доцільно виконувати в PDM-системі: при цьому вводять загальні атрибути проекту (позначення, найменування, дата початку розробки і т. ін.), і проект стає елементом бази даних. На рис. 4.16 наведено приклад управління (у PDM-системі SmartTeam) загальних даних про проект у так звану облікову картку проекту.

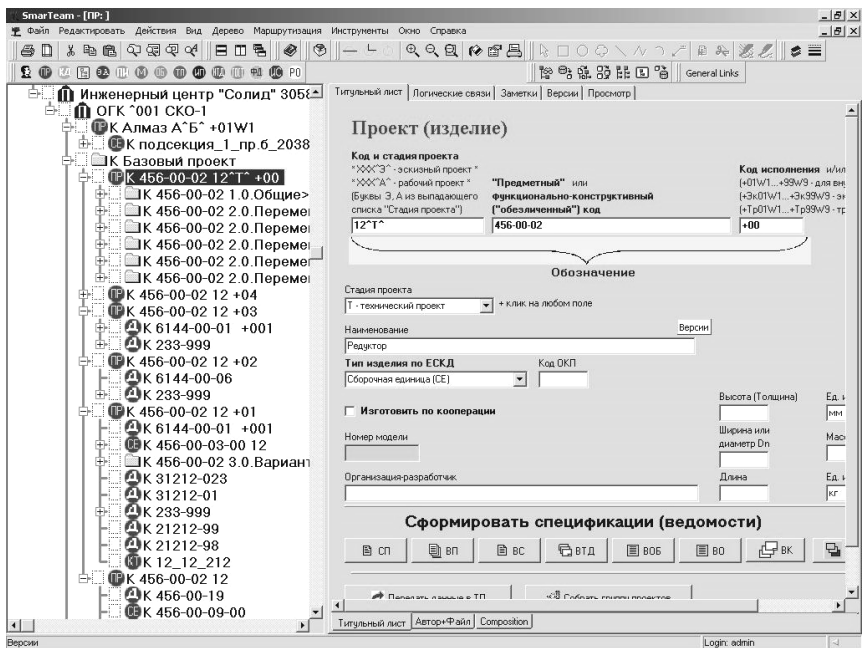


Рис. 4.16. Облікова картка проекту виробу в PDM-системі SmartTeam

Після закінчення управління здійснюється передавання цих даних у CAD-систему, в якій виконується процес створення 3D-моделей і креслень виробу. Після завершення дані про склад і структуру виробу передаються в PDM-систему, що приймає їх і перетворює відповідно до структури бази даних ІС (рис. 4.17). Після цього в PDM-системі виконується формування комплекту текстових конс-

трукторських документів. Загальну схему такої роботи зображено на рис. 4.18.

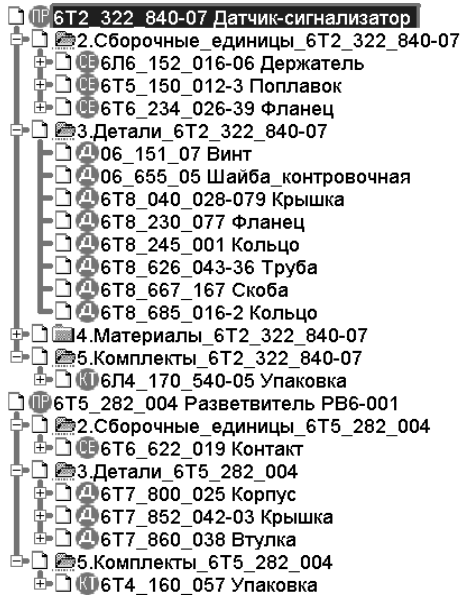


Рис. 4.17. Структура дерева проекта в PDM-системі SmarTeam

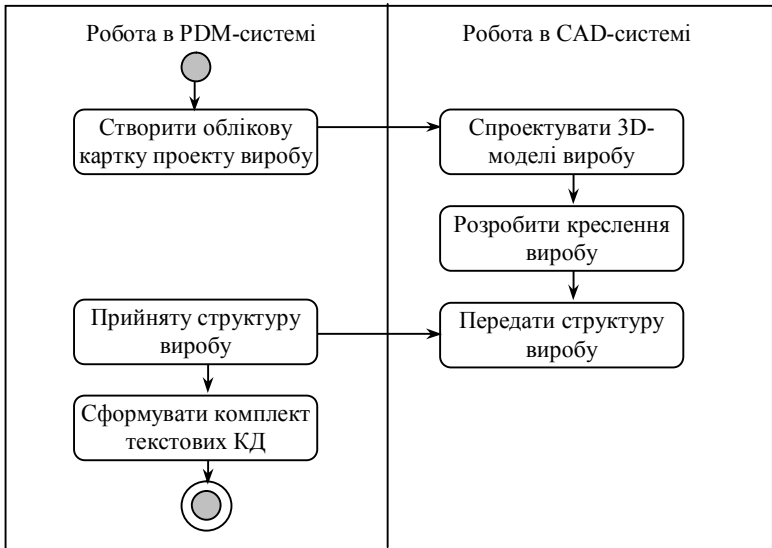


Рис. 4.18. Загальна послідовність етапів конструкторського проектування з використанням PDM і CAD-систем

Перетворення структури проекту в PDM-системі полягає в тому, що вхідні об'єкти розміщуються (за збереження зв'язків між ними) у відповідних їм класах «Складальні одиниці», «Деталі», «Моделі», «Креслення», «Стандартні вироби» тощо. Візуально структура проекту відображається на екрані комп'ютера в його лівій частині (рис. 6.2). Зазначимо, що дане перетворення структури проекту (як і формування текстових конструкторських документів) не є «штатною» функцією PDM-системи, а реалізується за допомогою спеціального додатка PDM засобами API.

Для оперативного перегляду й аналізу характеристик 3D-моделі виробу PDM-система SmarTeam охоплює набір спеціальних програм-переглядачів, що реалізують перегляд більш як 200 форматів файлів. Робота в режимі такого перегляду не потребує використання CAD-системи, що важливо для управлінського персоналу ТПВ, а також для роботи з проектом на інших етапах ЖЦВ. Під час перегляду можна масштабувати й обертати зображення об'єкта, робити перетини, виконувати лінійні і кутові виміри, розраховувати площу, змінювати освітлення моделі (рис. 4.19).

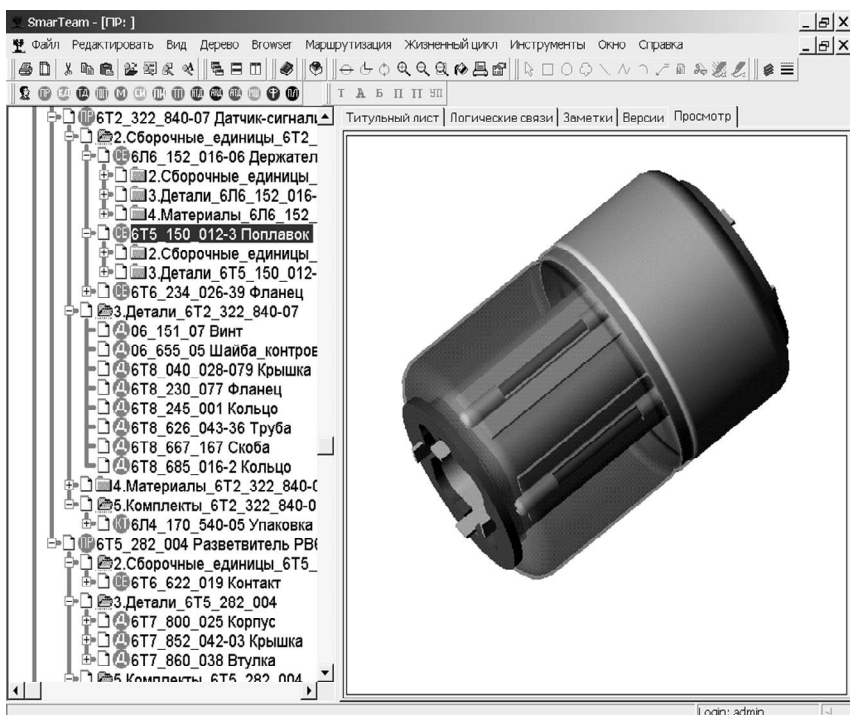


Рис. 4.19. Графічний перегляд об'єкта проектування

Робота в CAD-системі під час створення 3D-моделей і креслень не означає, що на цьому етапі ведення КПр немає управління проектування засобами PDM. Проектні роботи ініціюються й управляються графіками Workflow, що можуть бути досить «об'ємними» за колективного паралельного проектування складних виробів.

Управління технологічними проектами. Процес управління ТПр, як і процес управління КПр, тісно пов'язаний з методами, які використовуються для автоматизації рішення проектних процедур. Якщо для КПр такі методи визначаються обраною CAD-системою, то для ТПр вони залежать від можливостей використовуваної САПР ТП, яка розв'язує задачі побудови технологічного процесу механообробки, зварювання, складання і т. ін.

Як відомо, існують три основні методи автоматизованого проектування ТП: індивідуальне проектування; проектування на основі групового ТП; проектування ТП методом синтезу [3, 19, 21 та ін.].

Метод індивідуального проектування полягає в «ручному» компонуванні необхідної послідовності операцій і переходів з використанням наявної в САПР ТП бази даних. Ця база містить списки найменувань операцій і переходів, переліки застосовуваного обладнання, пристроїв, різального, допоміжного й вимірювального інструменту. Індивідуальне проектування припускає також можливість використання розроблених раніше ТП (як ТП-аналогів). При цьому проектування, власне кажучи, зводиться до редагування вже наявного ТП. Сам вибір ТП-аналога є окремим завданням, що вирішується за схемою: «Дана деталь» → «Деталь-аналог» → «ТП-аналог». Інакше кажучи, для пошуку ТП-аналога необхідно вирішити завдання пошуку деталі-аналога. При цьому можуть використовуватися спеціальні класифікатори деталей і алгоритми пошуку.

Проектування на основі групового ТП ґрунтується на попередньо виконаному групуванні деталей і розроблених групових ТП. При цьому груповий ТП використовується як «шаблон», що переробляється під параметри конкретної деталі.

Основною проблемою тут є групування деталей. Існують три методики групування: на основі використання класифікатора деталей; шляхом добору деталей з бази даних на підставі складеного технологічного запиту; алгоритмічне формування груп деталей у n -вимірному просторі ознак. Реалізація кожного з цих методів потребує виконання значного обсягу попередніх робіт: у першому випадку це класифікація і кодування деталей, у двох інших — придбання й освоєння

відповідного програмного забезпечення, його налагодження і формування бази даних деталей.

Метод синтезу ТП складається з алгоритмічного формування ТП на підставі наявного геометричного опису деталі. Оскільки не існує чітких математичних методів формування структури ТП на підставі опису деталі, алгоритми синтезу мають в основному евристичний характер і є дійсними тільки в межах деяких (обраних і обумовлених заздалегідь) груп чи класів деталей.

Евристичні алгоритми проектування ТП можуть бути реалізовані у вигляді спеціальних таблиць, правил чи фреймів. Методи їх побудови спираються на теорію подавання знань, що є сферою теорії штучного інтелекту [12, 20, 28 та ін.].

Розроблені раніше, а також використовувані нині САПР ТП реалізують певні з зазначених методів. Велика частина САПР ТП, що використовуються на практиці, ґрунтується на використанні методу індивідуального проектування. Це обумовлено тим, що такі системи найпростіші та є універсальними (наприклад, системи Techcard і Автопроект). Однак їх основне обмеження полягає в тому, що вони не інтегровані в ПС ТПВ, у результаті їх використання за комплексної автоматизації істотно ускладнено.

ТП, що формуються цими системами, є локальними файлами, що потребує наявності спеціальних інтерфейсних програм для «перекачування» ТП в єдину базу даних ТПВ. При цьому склад параметрів, що описують ТП, у файлі ТП і в єдиній базі даних може не збігатися, що спричиняє нові ускладнення. Крім цього, як уже зазначалося, САПР ТП використовує у своїй роботі власну базу даних. Однак єдина база даних ТПВ також містить інформацію про обладнання, оснастку та інструмент. Виникає зайве дублювання інформації й потреба обслуговування кількох баз замість однієї. Можлива ж інтеграція САПР ТП із єдиною базою даних може виявитися ускладненою через те, що опис даних у САПР ТП не збігається з аналогічним описом в єдиній базі даних.

Для усунення цих проблем пропонується принципово нове рішення, що полягає в розробці САПР ТП (що реалізує метод індивідуального проектування) у середовищі PDM-системи. Це автоматично забезпечить інтеграцію результатів проектування в ПС ТПВ, тому що всі елементи проектованого ТП розміщуються безпосередньо в ПС відповідно до прийнятої класифікації об'єктів (підрозд. 3.1).

Проектування ТП (як проектування «з нуля», так і проектування на основі ТП-аналога) виконується як стандартний процес побудови дерева проекту (рис. 4.20). Можна додавати, вилучати чи замінювати вузли дерева, описувати їхні конкретні характеристики. При цьому визначають послідовність операцій у маршрутному ТП, послідов-

ності переходів в операційних ТП, вибирають обладнання, оснастка та інструмент, указують режими обробки.

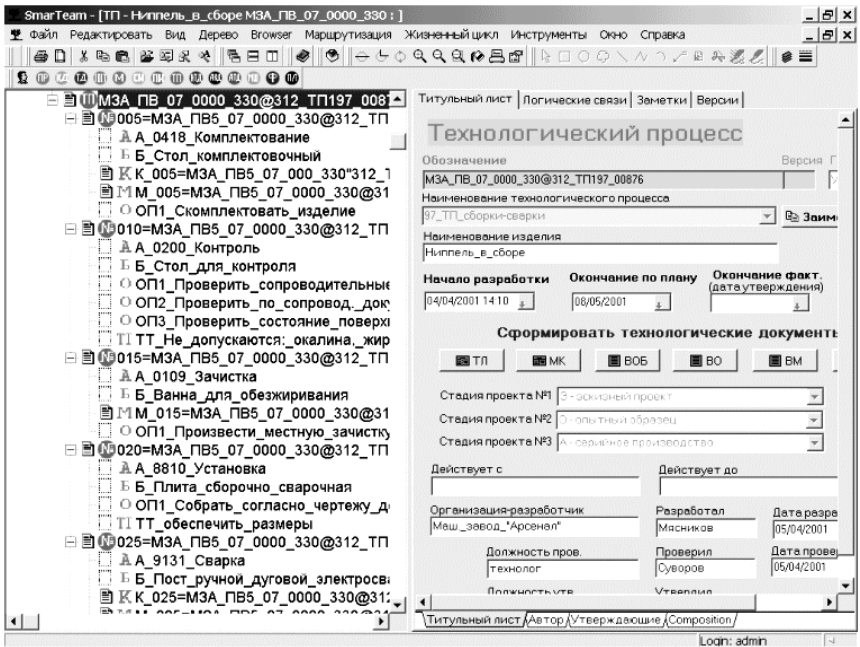


Рис. 4.20. Проектування ТП у PDM-системі SmarTeam

Усі ці дії виконуються з використанням відповідних розділів бази даних. Наприклад, додаючи в дерево ТП нову операцію, технолог вибирає найменування операції з запропонованого системою списку. Вибираючи, наприклад, різальний інструмент для переходу «Точити поверхню», технолог переглядає списки наявних різців тощо.

Засоби налагодження системи дають змогу реалізувати так званий спрямований пошук інформації. Цей пошук використовують за автоматичного формування списків даних, що пропонуються технологу під час вирішення завдань вибору обладнання, оснастки, технологічних переходів та інших елементів ТП. Спрямований пошук дозволяє одержувати такі списки, що «не містять нічого зайвого». Так, під час вибору обладнання в токарній операції пропонується тільки список токарних верстатів (але не фрезерних чи електроерозійних), під час вибору чергового переходу в токарній операції пропонується тільки можливі для даної операції переходи і т. д. Користувач може сам легко зв'язувати певні групи об'єктів для забезпечення спрямованого пошуку.

Проектований ТП формується у вигляді деякої інформаційної моделі. Завдяки реалізованому в PDM об'єктно-орієнтованому підходу інформаційна модель ТП не містить безпосередньо тих даних, які були «взяті» з бази під час проектування ТП (наприклад, найменування операцій і переходів, дані про різальний інструмент, нормативно-довідкова інформація). Вона містить тільки посилання — спеціальні покажчики на місце розташування цих даних. Це діє зможу виключити непотрібне дублювання інформації. Будь-яка зміна елементу бази даних (наприклад, найменування пристрою чи інструкції з техніки безпеки) призводить до того, що ця інформація автоматично «замінюється» в усіх розроблених ТП. Тож автоматично забезпечується відповідність інформації, яка міститься в ТП, та інформації різних розділів бази даних.

Після того, як проектування ТП завершено, виконується його нормування і ТП надходить на затвердження. Комплект технологічних документів (ТД) розміщується в класі «Технологічна документація». За запитом користувача комплект ТД чи окремі документи можна роздрукувати.

Деякі технологічні документи за своїм змістом є не текстовими, а тексто-графічними. До таких документів належать карта ескізів, карта налагодження і карта замовлення оснастки. Їх формування здійснюється в два етапи:

1) проектування графічного зображення (ескізу) у CAD-системі чи його сканування з готового креслення;

2) формування текстової частини документа на відповідному макеті бланку і включення графічного зображення в документ у PDM-системі.

Розробити операційний ескіз в CAD-системі можна шляхом безпосереднього проектування (тобто «з нуля») чи на основі наявної моделі (або креслення) виробу. Якщо кілька послідовних операцій у ТП містять ескізи, то можна будувати поточний ескіз, використовуючи як «заготовку» попередній. При цьому застосовують модель поточного стану заготовки, що послідовно трансформується від свого вихідного стану до стану готової деталі.

Розглянемо деякі особливості використання 3D-моделі для розробки операційного ескізу. Під час розробки маршрутно-операційних ТП механічної обробки за допомогою систем, які реалізують метод індивідуального проектування (див. підрозд. 4.2, 4.3), виникає потреба у використанні 3D-моделей на етапі побудови операційних ескізів. Такими 3D-моделями є моделі стану заготовки на момент закінчення виконання кожної операції ТП. Якщо в ОТП для устаткування з ЧПК використання 3D-моделі поточного стану заготовки має неперервний (точніше, дискретно-неперервний) характер, то в маршрутно-операційних ТП використання 3D-моделі є суто дискретним.

Методичною основою для вирішення цього завдання може бути метод опису операційних заготовок [180]. Метод використовує поняття стану заготовки, під яким розуміють сукупність характеристик заготовки, набутих після виконання технологічного переходу. При цьому процес проектування ТП розглядають як процес послідовної зміни моделі операційної заготовки (ОЗ). Зміну моделі ОЗ, яка відповідає зміні стану ОЗ під час виконання переходу, називають трансформацією моделі. За допомогою послідовної трансформації моделі ОЗ можна одержати всі необхідні стани, які можуть бути використані для автоматизованої побудови операційних ескізів.

Оскільки технолог має у своєму розпорядженні 3D-моделі вихідної заготовки й кінцевої деталі, то завдання можна сформулювати як «пряму» трансформацію моделі вихідної заготовки або як «зворотну» трансформація моделі деталі в стани, що відповідають станам ОЗ.

Перетворення моделі ОЗ із поточного в наступний стан виконують за допомогою оператора трансформації:

$$OZ_{i+1} = OT_i(OZ_i, P_i), \quad (4.26)$$

де OZ_{i+1} — модель ОЗ для $(i + 1)$ -го стану після виконання дій над її трансформацією; OT_i — оператор трансформації для i -го стану ОЗ; OZ_i — модель ОЗ для i -го стану; P_i — безліч параметрів трансформації для i -го стану.

Аналіз показав, що в цьому методі достатньо використати три основні оператори трансформації, щоб показати всі зміни стану ОЗ, які відбуваються під час її обробки, а саме:

- оператор доповнення ОЗ новими елементами;
- оператор вилучення елементів із моделі ОЗ (протилежний попередньому оператору);
- оператор зміни параметрів моделі ОЗ.

Як було зазначено в підрозд. 4.1, сучасні CAD-системи зберігають історію побудови 3D-моделі, тож процес побудови моделі можна подати як послідовний перехід цієї моделі з одного стану в інший:

$$P_{C_j} : C_{C_j} \rightarrow C_{C_{j+1}}; j = 1, 2, \dots, n, \quad (4.27)$$

де P_{C_j} — перетворення для j -го стану 3D моделі в CAD-системі; C_{C_j} — j -й стан моделі в CAD-системі; n — кількість станів моделі в CAD-системі.

Однак процес зміни стану заготовки під час виготовлення деталі як об'єкта виробництва не відповідає процесу зміни стану моделі в CAD-системі:

$$P_{C_{PJ}} : C_{C_{PJ}} \rightarrow C_{C_{PJ+1}}; j = 1, 2, \dots, m, \quad (4.28)$$

де $P_{C_{PJ}}$ — перетворення для j -го стану об'єкта виробництва; $C_{C_{PJ}}$ — j -й стан об'єкта виробництва; m — кількість станів об'єкта виробництва.

Ураховуючи сказане вище, сценарій побудови моделі в CAD-системі не може (у загальному випадку) використовуватись як основний засіб для побудови послідовності станів ОЗ. Тому як основний інструмент для трансформації моделі ОЗ варто застосовувати функціональні можливості 3D-моделювання CAD-системи. Це, зокрема, функції видавлювання чи обертання контуру, побудова бобишок, отворів, пазів, фасок, заокруглень тощо. Проте іноді (наприклад, для корпусних деталей і деталей тіл обертання) сценарій побудови моделі в CAD-системі частково чи цілком може відповідати процесу виготовлення деталі. У такому разі процес трансформації моделі ОЗ істотно спрощується, що показано на рис. 4.21, де модель *a* відповідає стану заготовки після двох токарних операцій, виконаних над вихідною циліндричною заготовкою, а модель *б* — наступному стану заготовки після свердлильно-фрезерної операції. Усі ці трансформації моделі відповідають сценарію її побудови в CAD-системі.

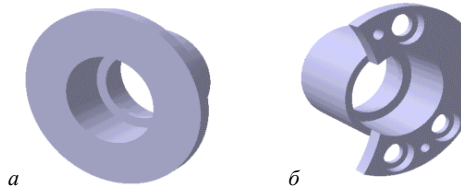


Рис. 4.21. Послідовні стани моделі ОЗ

Як показують дослідження [166, 173, 180, 181], у разі використання сценарію побудови моделі в CAD-системі, ефективнішою є зворотна трансформація моделі методом «від готової деталі до заготовки», тобто

$$P_{C_j} : C_{C_j} \rightarrow C_{C_{j-1}}; j = n, n - 1, \dots, 1. \quad (4.29)$$

Після одержання чергового необхідного стану моделі ОЗ побудову відповідного операційного ескізу виконують із використанням механізму автоматичного формування проекційних видів у CAD-системі. Отримані види вбудовують у карту ескізу, і на них проставляють необхідні розміри й технологічні позначення. Ці дії не є базовими функціями CAD-системи, а реалізуються за допомогою спеціальних додатків [139]. Незважаючи на їх «фізичну» належність до CAD-системи, за своїм функціональним призначенням розроблені додатки є, як зазначалося в підрозд. 4.3, частиною САПР ТП механообробки.

Керуючі програми для обладнання з ЧПК, розроблені в CAD/CAM-системі, також є «частиною» ТП механообробки. Тобто кожна КП є «частиною» відповідного операційного ТП для верстата з ЧПК. Тому КП наявні в загальній моделі ТП і зберігаються в класі «Тех-

нологічні процеси». Крім цього, оформлені на бланках тексти КП зберігаються в класі «Технологічна документація».

Отже, реалізація методу індивідуального проектування ТП засобами PDM-системи забезпечує вирішення поставленого вище завдання: результати проектування розміщуються в ІС і стають доступними широкому колу фахівців. Однак сам рівень автоматизації проектування ТП, за використання методу індивідуального проектування, залишається невисоким. Тому проблема синтезу ТП із застосуванням методів штучного інтелекту, як і раніше, є актуальною.

Особливість колишніх систем синтезу ТП полягала в тому, що вони вимагали опису деталі на вході системи. Цей опис був трудомістким і міг містити важко діагностовані помилки. Проектування маршрутного ТП за кресленнями вручну займало в досвідченого технолога менше часу, ніж опис деталі для САПР ТП. Тому практична цінність систем синтезу була обмежена.

Нині, з урахуванням використання САД-систем для автоматизації конструювання, геометрію необхідної деталі можна отримати з САД-системи. Недоліком 3D-моделі, що одержується таким чином, є те, що вона не містить набору технологічних ознак (атрибутів), необхідних для проектування ТП. Тому потрібна спеціальна програма («Геометричний аналізатор»), яка на підставі 3D-моделі формує технологічний опис деталі. Геометричний аналізатор має будуватися на основі методів штучного інтелекту, розпізнавання образів і використання баз знань (рис. 4.22).

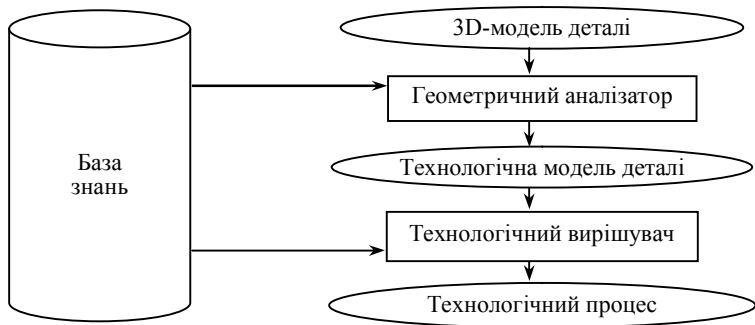
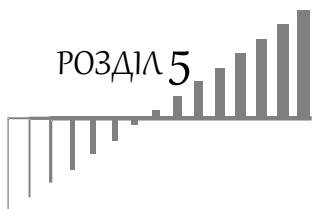


Рис. 4.22. Загальна схема проектування ТП на основі 3D-моделі методом синтезу

Після програми «Геометричний аналізатор» має працювати програма «Технологічний вирішувач», яка на підставі сформованого технологічного опису деталі здійснює безпосереднє проектування ТП

методом синтезу. Вирішення цього завдання також вимагає застосування методів штучного інтелекту й використання баз знань.

Нині розробка методів синтезу ТП має в основному характер наукових досліджень. Практична реалізація цих методів дасть змогу забезпечити якісно новий рівень інтеграції під час вирішення завдань конструкторського й технологічного проектування.



УПРАВЛІННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСАМИ ТПВ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ РОЗШИРЕНОГО ВИРОБНИЦТВА

5.1. Організація кооперації на вітчизняному ринку наукоємних виробів

Вище, у підрозд. 1.5, розглянуто сучасні форми кооперації виробництва — розширені виробництва, а в підрозд. 2.2 — оцінено рівень готовності підприємств вітчизняного машинобудування до проведення робіт з реінжинірингу. Розглянемо особливості форм кооперації вітчизняних підприємств у сфері ТПВ й управління бізнес-процесами ТПВ в умовах цієї кооперації з використанням нових інформаційних технологій.

У наш час для вітчизняних підприємств характерним є низький рівень спеціалізації як у сфері ТПВ, так і у сфері виробництва, коли підприємство самостійно виготовляє невиправдано широку номенклатуру деталей, вузлів і оснастки для випуску кінцевого продукту. Ця особливість посилилася з розривом на початку 90-х рр. налагоджених економічних зв'язків, перепрофілюванням, ліквідацією та виникненням нових підприємств, введенням економічних бар'єрів між регіонами. На сьогоднішній день кооперація підприємств відновлюється, але в цілому інфраструктура ринку ще дуже відстає від рівня закордонних країн, де частка невеликих приватних фірм, що спеціалізуються на вирішенні конкретних технічних завдань, значно вища, ніж у нашій країні.

Водночас, поступово ситуація змінюється. Однією з перших галузей, що почали розвивати широку кооперацію, стала автомобільна промисловість, навколо основних підприємств якої розширилося коло партнерів-субпідрядників, що поставляють як складну технологічну оснастку, так і готові деталі та вузли. При цьому основні підприємства, передаючи частину робіт партнерам, збільшують у виробничих процесах частку складання (ОЕМ-діяльність). Це є однією з найваж-

лівіших світових тенденцій розвитку сучасної промисловості, яка на-
явна і в процесах реструктуризації вітчизняних підприємств.

Як показує аналіз, у сфері ТПВ предметом кооперації в переваж-
ній більшості випадків є проектування й виготовлення НСО, оснастки
та інструменту. Однак роботи з проектування й виготовлення НСО
мають нетиповий характер і не дають змоги малим підприємствам-
субпідрядникам спеціалізуватися в цій галузі. Проте такі роботи, як
проектування і виготовлення прес-форм і штампів створюють основу
для спеціалізації завдяки їхньому типовому характеру, достатньо висо-
кому рівню складності та великій кількості замовлень на цей вид робіт.

У вітчизняному машинобудуванні такі малі підприємства виник-
ли, як правило, на базі окремих цехів великих підприємств, яким бу-
ло надано економічну самостійність.

Ці підприємства-субпідрядники виконують як замовлення «свого»
підприємства, так і замовлення інших великих і середніх підпри-
ємств. Крім цього, замовлення можуть надходити від інших малих
підприємств, що спеціалізуються на випуску відносно нескладної
продукції (наприклад, мережевих фільтрів, автомобільних радарів та
антирадарів, систем охоронної сигналізації, різних товарів народно-
го споживання тощо).

За розвиненої кооперації між замовниками й виконавцями вини-
кає необхідність організації їхньої взаємодії не тільки на рівні обмі-
ну геометричною інформацією в електронному вигляді, а й на рівні
спільного використання інформації про продукт, що випускається,
його структуру, склад виконуваного проекту в цілому, тобто ство-
рення розподіленої АСТПВ. Це передбачає реалізацію на практиці
концепції CPC (Collaborative Product Commerce — спільна розробка
і використання інформації про виріб) в умовах вітчизняних промис-
лових підприємств. При цьому необхідна така інтегрована система,
що зв'яже рішеннями класу SCM і CRM не тільки застосовувані на
підприємстві CAD і ERP-системи, а й замовників, субпідрядників
підприємства та його філії. Як зазначалося в розд. 2, основою такої
організації робіт є використання PDM-систем. Створена в такий
спосіб розподілена АСТПВ потребує в подальшому введення
централізованого управління, основи якого розкрито в розд. 4.

Зокрема, для організації спільної роботи може використовувати-
ся згадувана вище PDM-система SmartTeam зі своїми рішеннями
класу SCM і CRM, до яких належать модулі SmartWeb, SmartMulti-
site, SmartBOM, mySmartTeam, mySmartPublish та ряд інших. Ці за-
соби забезпечують організацію взаємодії замовників і виконавців
під час обміну геометричною інформацією в електронному вигляді.
Важливо зазначити, що спільна робота віддалених користувачів

здійснюється не з застосуванням клієнт-серверної технології, а на основі використання Інтернету.

У цих умовах бізнес-процеси ТПВ, пов'язані з узгодженням технічних характеристик замовлення між OEM-підприємством і субпідрядником, можуть підтримуватися спеціальними програмними засобами, що й визначають перебіг бізнес-процесу. До таких засобів, зокрема, належить система QuickConcept (розробка компанії Cimatron), призначена для прийняття та узгодження замовлення у вигляді моделі виробу на проектування формоутворювальної оснастки [173, 174]. Система дає змогу відпрацювати виріб на технологічність, допомагає визначити реальні терміни й вартість виконання замовлень. При цьому терміни та витрати на проектування й виготовлення складної оснастки значно скорочуються.

Спрощену схему бізнес-процесу передавання та прийняття замовлення на проектування й виготовлення оснастки наведено на рис. 5.1 (у ній не розглядається ситуація, коли домовленість між замовником і виконавцем не відбулася).

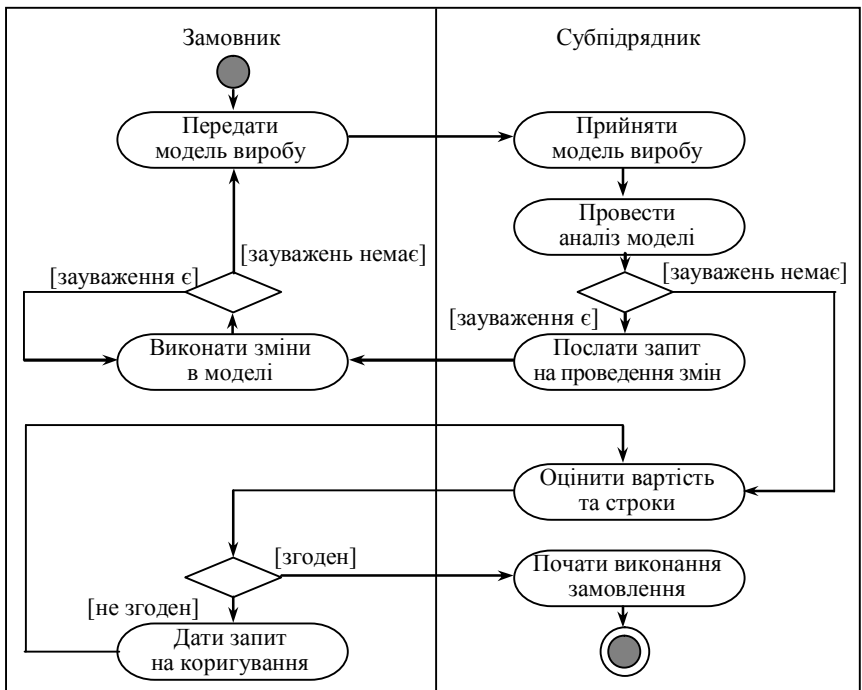


Рис. 5.1. Схема передавання та узгодження замовлення на проектування й виготовлення оснастки

Зауважимо, що бізнес-процеси не попереднього, а робочого проектування оснастки, що виконуються підприємством-субпідрядником, розглядаються як внутрішні бізнес-процеси цього підприємства й не мають зв'язку з бізнес-процесами ТПВ замовника. Такі бізнес-процеси було розглянуто вище, у підрозд. 3.2.

Малі підприємства, що спеціалізуються на проектуванні й виготовленні оснастки, а також інструментальні цехи середніх і великих підприємств, що приймають замовлення «зі сторони», утворюють конкурентне середовище, тож OEM-підприємство може здійснювати вибір субпідрядника на підставі певного критерію. Це конкурентне середовище може розглядатись як розширене підприємство, що генерує активні мережі для виконання різних замовлень. При цьому замовлення варто розглядати ширше, ніж проектування й виготовлення конкретної одиниці оснастки. Під замовленням будемо розуміти всю оснастку, необхідну для ТПВ основного виробу, проектування і виготовлення якої буде здійснюватися на основі кооперації з іншими підприємствами. Отже, до складу активної мережі підприємств, що беруть участь у виконанні замовлення, можуть входити кілька субпідрядників (див. рис. 1.1).

Для комп'ютеризації процесу прийняття рішень під час розподілу замовлення в середовищі розширеного підприємства необхідно насамперед вибрати математичну модель процесу прийняття рішень. При цьому варто врахувати відмінності реального виробництва в Україні від виробництва розвинутих країн Заходу. Відмінності полягають у значній різниці таких параметрів, як час виконання замовлення та якість робіт. Крім цього, існує великий ризик не одержати необхідне замовлення від виконавця в обумовлений термін. Тому тільки максимізація прибутку (чи мінімізація витрат) не може слугувати критерієм для оптимізації. Коректніше говорити про мінімізацію функції

$$F(S, T, Q, R) \rightarrow \min, \quad (5.1)$$

де S — вартість виконання замовлення; T — час виконання замовлення; Q — якість виконання замовлення; R — ступінь ризику.

У найпростішому випадку функція F може мати такий вигляд:

$$F = AS \cdot S + AT \cdot T + AQ \cdot Q + AR \cdot R \rightarrow \min, \quad (5.2)$$

де AS, AT, AQ, AR — вагові коефіцієнти.

При цьому якість і ризик можна характеризувати числом, наприклад, у діапазоні від 1 до 10, де менші значення відповідають вищій якості та меншій величині ризику.

Подальшу постановку завдання розподілу замовлення в середовищі розширеного виробництва можна звести до процедури квазіоптимізації, що використовує у своїй роботі бази даних з характеристиками підприємств-виконавців (учасників розширеного виробництва) і описами видів робіт, виконуваних розширеним виробництвом (рис. 5.2). Підприємство-виконавець може характеризуватися конкретним набором виробничих потужностей та ступенем їх поточного завантаження, перевагами у виконанні певного типу замовлень, рівнем якості та вартістю виконання робіт тощо. Опис видів робіт необхідний для того, щоб визначити можливість виконання конкретного замовлення (наприклад, дане підприємство може не займатися проектуванням форм для лиття зі скла, і таке замовлення буде відкинуто).

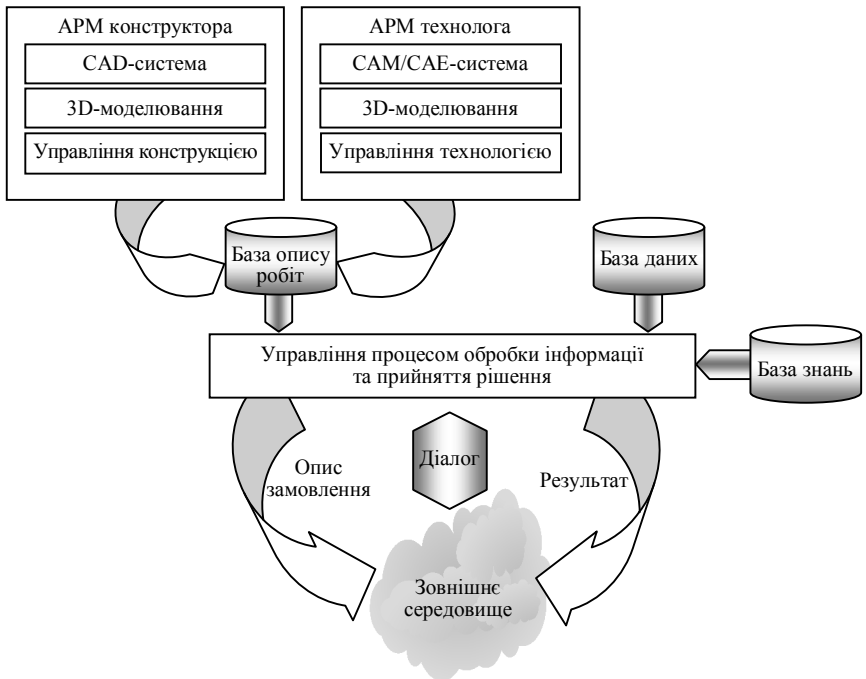


Рис. 5.2. Використання баз даних і знань за оптимізації розміщення замовлення в розширеному виробництві

Замовлення описується його змістом, ступенем складності, необхідними термінами виконання, ціновими обмеженнями. Прийняття рішень із розподілу замовлення виконує блок управління процесом обробки інформації та прийняття рішення як на основі прийнятих алгоритмів, так і з урахуванням «підказок» в інтерактивному режимі. Цей блок може використовувати також базу знань (правил), що описують у декларативному вигляді правила прийняття рішень під час розподілу замовлення. Такий підхід, що реалізує принципи теорії експертних систем, дає багато переваг у процесі реалізації програмної системи — гнучкість, незалежність баз даних, наочність та зручність коригування знань.

Запропонована схема орієнтована на аналіз ситуації та прийняття рішень за локальною інформацією, що наявна в організаторів розширеного підприємства. Це найадекватніше відображає особливості нинішнього стану українського промислового ринку. Однак уже в найближчому майбутньому можна використовувати схеми так званих багатоагентних технологій, що ґрунтуються на наявності загальнодоступних описів (наприклад, у спеціальних розділах Інтернету) ринку замовлень і ринку послуг. Такі схеми збільшують незалежність учасників розширеного підприємства й дають змогу їм більш самостійно приймати рішення під час вибору конкретних замовлень.

Облік замовлень, що надходять, і контроль за процесом виконання робіт у розширеному виробництві можна, зокрема, реалізувати на базі PDM-системи SmarTeam. За допомогою цієї ж системи можна вирішувати такі завдання, як розширення банку даних щодо ресурсів учасників розширеного виробництва, підбір учасників для об'єднання в активну мережу відповідно до викладеного вище оптимізаційного підходу, контроль рівня цін за всіма видами послуг.

5.2. Інтеграція АСТПВ з автоматизованими системами управління виробництвом

Нині у сфері автоматизації управління виробничими процесами розрізняють системи класу ERP (Enterprise Resource Planning — планування і управління підприємством) і MRP-II (Manufacturing Resource Planning — планування виробничих ресурсів). Системи ERP виконують різні бізнес-функції, пов'язані з плануванням виробництва, закупівлями, фінансами, персоналом, складським господарством, обліком основних фондів тощо. Системи MRP-II орієнтовані головним чином на бізнес-функції, безпосеред-

ньо пов'язані з виробництвом (планування потреб у сировині і матеріалах, планування виробничих потужностей, контроль виконання планів тощо). Проте багато функцій ERP-систем і систем MRP-II перетинаються.

Як зазначено в роботах [182—184], ERP-методологія на даний час остаточно не систематизована і є надбудовою над MRP-II, спрямованою на роботу з розподіленими виробничими структурами. Під терміном ERP розуміють систему MRP-II з розширеними можливостями роботи з мережею філій і субпідрядників, незалежно від їхнього територіального розміщення. У зв'язку з цим нижче ми будемо, без обмеження спільності, говорити про системи класу MRP/ERP.

Вище зазначалося, що реалізація АСТПВ на базі PDM-системи автоматично забезпечує доступ до інформації ТПВ на всіх інших етапах ЖЦВ. Однак форми подавання цієї інформації можуть виявитися незручними для їх подальшого використання.

Так, на етапі «Виробництво», який іде за етапом ТПВ, у системах MRP/ERP використовують дані про виконувані технологічні операції, обладнання й засоби технологічного оснащення, час виконання операцій. Цю інформацію використовують для вирішення таких завдань:

- календарне планування випуску виробів заданої якості за встановлених термінів, обсягу випуску і витрат;
- визначення завантаження обладнання;
- забезпечення підприємства необхідними матеріалами й сировиною, заготовками й напівфабрикатами, купівельними виробами (агрегатами, вузлами, необхідним приладдям, пристроями і приладами) та інструментами, допоміжними матеріалами.

Вихідна інформація, яка необхідна для вирішення цих завдань, формувалася в АСТПВ відповідно до цілей проектування бізнес-процесів ТПВ, а не до цілей інших етапів ЖЦВ. Тому в системі управління виробництвом варто виконати перетворення інформації ТПВ до вигляду, який буде зручним для подальшого використання. Це вимагає від розробників системи управління певного розуміння проблеми ТПВ, що знижує їхню продуктивність і збільшує витрати на розробку.

Іншим рішенням є підготовка необхідної інформації для етапу «Виробництво» в АСТПВ. При цьому дані, що містяться в розроблених ТП, приводяться відповідно до стандарту MRP-II до табличної форми:

$$(НД_i, НЦ_i, НО_i, КОП_i, КОБ_i, КПР_i, НЧ_i, ОН_i), i = 1, 2, \dots, N, (5.3)$$

де $НД_i$ — номер деталі; $НЦ_i$ — номер цеху; $НО_i$ — номер операції; $КОП_i$ — код операції; $КОБ_i$ — код обладнання; $КПП_i$ — код професії; $НЧ_i$ — норма часу; $ОН_i$ — одиниця нормування.

Тобто має бути сформовано матрицю дискретних параметрів виробу відповідно до формули (4.12).

Для забезпечення виконання цього перетворення розроблено спеціальний додаток, реалізований засобами API PDM-системи SmarTeam [139]. Завдяки цьому можлива більш тісна інтеграція MRP/ERP-систем з PDM-системою, точніше з АСТПВ, реалізованою на базі PDM-системи SmarTeam. Така інтеграція дає змогу істотно підвищити сумарну ефективність виконання процесів ТПВ і виробничих процесів.

Розглянемо схему інтегрованого розв'язання задач проектування ТП механообробки та оптимізації завантаження обладнання. Необхідність у такій інтеграції виникає з таких причин. Під час планування виробничих процесів фахівці планово-диспетчерського відділу підприємства можуть варіювати закріпленням технологічної операції за певним верстатом тільки в межах розробленого ТП. Наприклад, якщо в ТП для виконання токарної операції призначений верстат із ЧПК моделі 16К20Ф2, то планово-диспетчерський відділ може здійснювати операції тільки на верстатах цієї моделі. Якщо ж усі верстати 16К20Ф2 завантажено, то виникає потреба в зміні ТП, наприклад у перепризначенні токарної операції на аналогічний за своїми можливостями верстат моделі 1А616Ф2, який у даний період часу недовантажений. Однак таке перепризначення потребує відповідних змін у ТП (вибір іншого пристрою та інструментів, перерахунок керуючої програми тощо), які може виконати тільки технолог. За відсутності механізмів інтеграції проектних процедур на етапі ТПВ і етапі планування виробництва розв'язання цієї задачі приводить до позапланової роботи технолога, тривалих узгоджень, змін у документації, затримок виробничих процесів.

Розглянемо вирішення даної задачі, заснованої на інтеграції PDM- і MRP/ERP-систем. При цьому мають виконуватися такі умови:

1. Технолог, котрий працює в АСТПВ (яка реалізована на базі PDM-системи), має можливість передавати в MRP/ERP-систему проектну інформацію і запит на виконання розрахункових процедур.

2. MRP/ERP-система має можливість приймати запит технолога, виконувати необхідні розрахунки й повертати отримані результати в PDM-систему.

Зазначені можливості з організації інтерфейсу між PDM- і MRP/ERP-системами реалізуються засобами API. За наявності дано-

го інтерфейсу розв'язання технологом задачі вибору обладнання в поточній операції розроблюваного ТП може мати такий вигляд:

1. Технолог переглядає пропонований йому системою САПР ТП (підрозд. 4.4) список моделей обладнання, можливих для даної операції, і обирає оптимальний варіант.

2. Технолог посилає інформацію про обране обладнання й загальні дані про проєктований ТП у MRP/ERP-систему, яка робить попередній розрахунок завантаження даного обладнання й повідомляє результат технологу.

3. Якщо отриманий результат виявився прийнятним, то технолог переходить до наступного етапу проєктування операції. Якщо результат вимагає прийняття іншого рішення, технолог вибирає альтернативну модель обладнання й надсилає повторний запит у MRP/ERP-систему і т. д., до одержання прийнятного варіанта.

Описану схему роботи зображено на рис. 5.3.

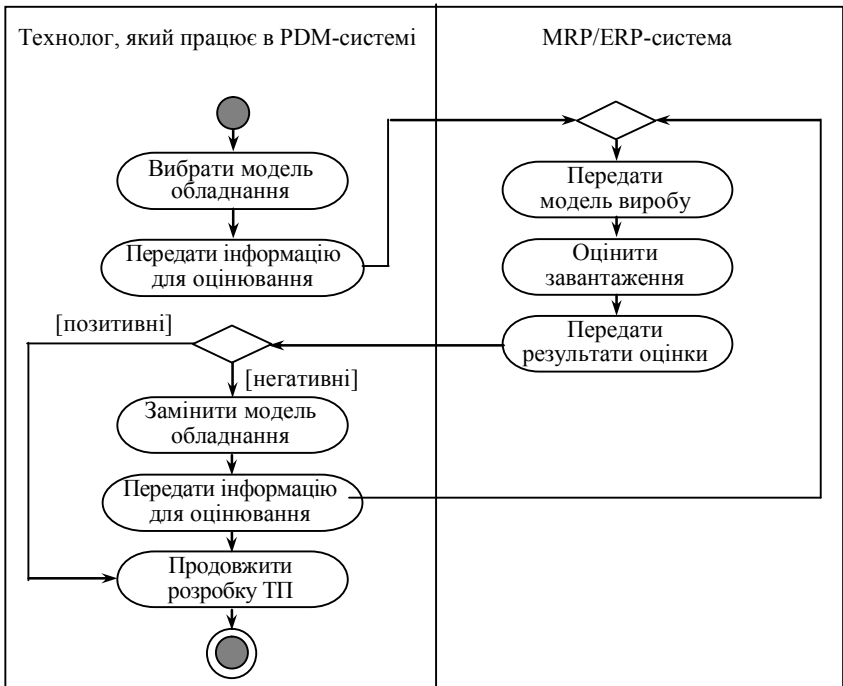


Рис. 5.3. Схема інтегрованого розв'язання задачі вибору обладнання під час проєктування ТП

Вадою цієї схеми є можлива необхідність багаторазового звертання технолога до MRP/ERP-системи для оцінювання прийнятого ним рішення. Тому доцільнішою є схема, за якої технолог передає MRP/ERP-системі список альтернативних варіантів обладнання та приймає остаточне рішення на підставі порівняння отриманих оцінок.

Оскільки крім завантаження обладнання та продуктивності обробки (2.18) на рішення впливає також наявність чи брак необхідних пристроїв і допоміжного інструменту, то в загальному випадку рішення може прийматися на підставі мінімізації функції:

$$F(Z, P, V) \rightarrow \min, \quad (5.4)$$

де Z — завантаження обладнання; P — витрати на пристосування; V — витрати на допоміжний інструмент.

У найпростішому випадку функція F може мати такий вигляд:

$$F = AZ \cdot Z + AP \cdot P + AV \cdot V \rightarrow \min, \quad (5.5)$$

де AZ , AP , AV — вагові коефіцієнти.

MRP/ERP-система має зберігати прийняте технологом остаточне рішення для того, щоб воно враховувалося під час обробки наступних запитів на розрахунок завантаження обладнання, що можуть надходити як від даного, так і від інших технологів.

Варто зазначити, що виконуваний MRP/ERP-системою розрахунок завантаження обладнання має попередній характер, оскільки на момент оброблення запиту виконано і враховано під час розрахунку тільки частину всіх ТП на виріб. При цьому технологи, які склали запити з ТП раніше за інших, мають більшу свободу у виборі рішення, оскільки на цей момент часу обладнання є «менш завантаженим».

Для того щоб поставити технологів «в однакове становище», необхідно застосовувати складніші схеми їхньої взаємодії з MRP/ERP-системою. Наприклад, в MRP/ERP-системі можуть проводитися періодичні сесії з розрахунку завантаження обладнання та інформування технологів про отримані результати, на підставі яких можливі окремі зміни прийнятих технологами рішень. Однак конкретизація таких схем інтегрованої розробки ТП й оптимізації завантаження обладнання має потребу в проведенні подальших досліджень.

5.3. Метод багатоагентних технологій для розподіленого функціонування АСТПВ

Як зазначалося в підрозд. 5.1, багатоагентні технології можуть застосовуватися під час спільного вирішення завдань ТПВ у середовищі розширеного виробництва, коли у відкритому інформаційному середовищі існують загальнодоступні описи ринку замовлень і ринку послуг. Однак наявність таких описів є лише необхідною умовою використання багатоагентних технологій і не визначає їхню суть і методи.

Багатоагентні технології (системи) є підгалуззю розподіленого штучного інтелекту, центральною ідеєю якого є кооперативна взаємодія розподілених інтелектуальних систем [3, 185, 186]. Розподілений штучний інтелект ґрунтується на класичних основах штучного інтелекту з урахуванням використання нових методів обробки розподілених даних і знань, а також методів децентралізованого управління.

Під *агентом* розуміють об'єкт, що існує в середовищі, де він може виконувати визначені дії і здатний до сприйняття частини середовища, може взаємодіяти з іншими агентами й має автономну поведінку, яка є наслідком його спостережень, знань і взаємодій з іншими агентами [3]. Агентом може бути людина, програмна підсистема чи модуль. Залежно від рівня власної складності агент може займатися відпрацюванням прийнятих повідомлень і відправленням повідомлень іншим агентам, плануванням дій та узгодженням дій з іншими агентами.

За реалізації агентів у вигляді програмних модулів PDM-системи ініціалізація їхньої роботи може відбуватися:

- у результаті деякої «зовнішньої» події, наприклад надходження замовлення на виконання роботи з проектування виробу;
- через задані інтервали часу;
- у разі надходження повідомлень від інших агентів.

Агент характеризується схемою і методом [3]. Схема вказує сукупність імен істотних ознак – ідентифікатор агента, клас агента, вхідні й вихідні атрибути тощо. Метод визначає поводження агента і алгоритм перетворення вхідних атрибутів у вихідні.

Розглянемо принципи побудови багатоагентної системи, яка дає змогу вирішувати завдання ТПВ в умовах кооперації на основі децентралізованого управління й забезпечує високий рівень автоматизації порівняно з експертною системою, поданою вище на рис. 5.4.

Насамперед необхідно визначити структуру і зміст відкритого інформаційного середовища, в якому мають функціонувати агенти. Це середовище утворене комп'ютерною мережею, розподіленою між підприємствами — потенційними учасниками кооперації. Кож-

не підприємство підтримує у відкритому інформаційному середовищі розділ (рис. 5.4), в якому зазначені:

- види робіт, які дане підприємство має виконувати як субпідрядник;
- виробничі ресурси, які підприємство виділяє для виконання робіт за кооперацією;
- поточне завантаження і план завантаження зазначених виробничих ресурсів.

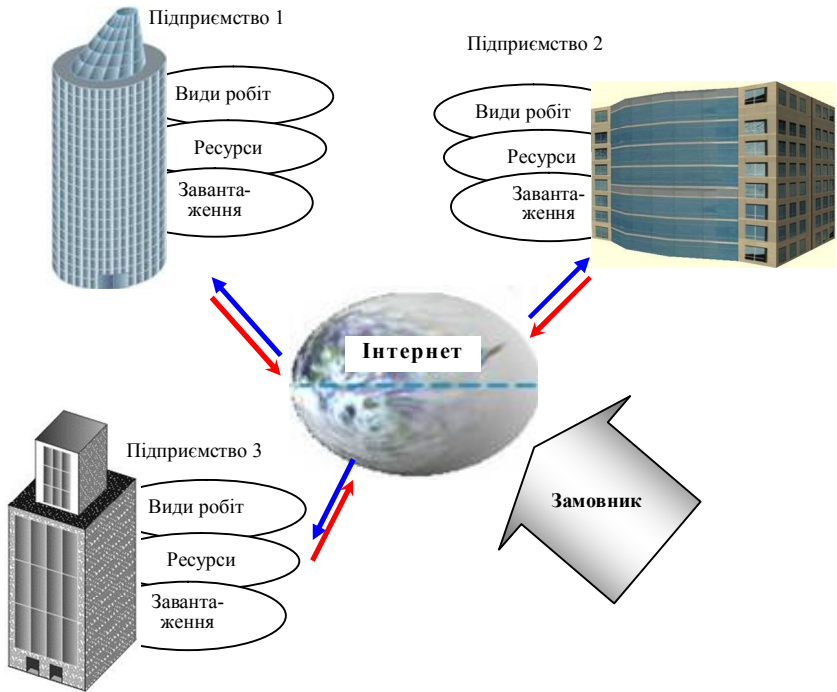


Рис. 5.4. Інформація, що подається підприємствами — учасниками кооперації у відкритому інформаційному середовищі

До видів робіт, що виконуються на умовах субпідряду, у сфері ТПВ можуть належати проектування й виготовлення певних видів нестандартного обладнання і засобів технологічного оснащення (наприклад, прес-форм для інжекційного лиття з обмеженнями за габаритами та ступенем складності), проектування різних видів технологічних процесів, виконання певних технологічних операцій (наприклад, операцій пропалювання на електроерозійному верстаті). Аналіз видів робіт дає можливість визначити, чи може дане підприємство в

принципі виконати наявне замовлення. Інформація з видів робіт має містити також орієнтовну вартість їх виконання.

До виробничих ресурсів належать використовуване технологічне обладнання, оснастка та інструмент. Інформація про ресурси дає змогу докладніше проаналізувати можливості підприємства для виконання замовлення. Наприклад, у списку видів робіт підприємства має місце виготовлення прес-форм, але якщо потрібна прес-форма вимагає виконання операції пропалювання, а на підприємстві немає електроерозійного верстата, то це підприємство може бути виконавцем тільки тоді, якщо воно для виконання замовлення саме вступить у кооперацію з іншим підприємством, яке забезпечить виконання зазначеної операції. Це робить кооперацію замовника з даним підприємством менш прийнятною.

Інформація про завантаження обладнання також дозволяє докладніше оцінити можливості підприємства для виконання наявного замовлення. Якщо необхідне обладнання найближчим часом цілком завантажено, то це призводить до триваліших термінів виконання замовлення, що може виявитися неприйнятним.

Визначимо в розглянутій багатоагентній системі чотири класи програмних агентів: **A**, **B**, **C** і **D**.

Функцією агента класу **A** є пошук у відкритому інформаційному середовищі множини M підприємств $\{P_i\}$, види виконуваних робіт $\{BP(P_i)\}$ яких охоплюють можливість виконання даного замовлення Z :

$$M = \{P_i\}, i: Z \subset \{BP(P_i)\}. \quad (5.6)$$

Функціями агента класу **B** є:

- прийняття від агента класу **A** даних, які містять інформацію про замовлення Z та ідентифікатор одного з підприємств $ID(P_M)$, що задовольняє умову (5.6);
- аналіз ресурсів і завантаження потужностей підприємства P_M з погляду ефективності виконання замовлення Z ;
- присвоєння підприємству P_M деякого рейтингу R_M , який характеризує ефективність виконання замовлення Z .

Рейтинг R_M , зокрема, можна визначити за формулою

$$R_M = AS / S + AT / T, \quad (5.7)$$

де S — вартість виконання замовлення Z ; T — час виконання замовлення Z ; AS , AT — вагові коефіцієнти.

Для уточнення вартості та термінів можливо використання агентом класу **B** інтерактивного режиму роботи у відкритому інформаційному середовищі з відповідними представниками підприємства-субпідрядника. При цьому дане підприємство використовує для оці-

нювання замовлення всю наявну щодо нього у відкритому інформаційному середовищі інформацію.

Функціями агента класу **C** є:

- прийняття від агентів класу **B** рейтингів $\{R_j\}$ підприємств, які відповідають умові (5.6);
- аналіз рейтингів $\{R_j\}$ і вибір виконавця Π^* для замовлення Z на підставі деякого критерію оптимізації (у найпростішому випадку — вибір підприємства з максимальним значенням рейтингу);
- передавання даних про можливого виконавця Π^* підприємству-замовнику.

Функцією агента класу **D** є формування для підприємства-замовника «зведеної відомості», що містить інформацію про всіх субпідрядників, котрі визначені для виконання робіт за ТПВ даного виробу. При цьому замовлення Z розглядають як елемент деякого загального пакету замовлень Z на виконання субпідрядних робіт за ТПВ даного виробу ($Z = Z_j$).

З урахуванням розглянутих вище характеристик відкритого інформаційного середовища і програмних агентів схема функціонування багатоагентних систем матиме такий вигляд.

1. Після того, як на підприємстві, яке здійснює виробничу діяльність за даним виробом, сформувався план ТПВ і визначився пакет замовлень $\{Z_j, j = 1, 2, \dots, M\}$ для субпідрядників, цей факт фіксується в PDM-системі як деяка подія S_1 , що переводить агентів класу **A** в активний стан.

2. Подія S_1 приводить до ініціалізації роботи групи агентів $\{A_j, j = 1, 2, \dots, M\}$, тобто кожне замовлення Z_j обробляється своїм агентом A_j . Кожен агент на підставі аналізу видів виконуваних підприємствами робіт $\{BP(\Pi_i)\}$ визначає множину можливих підприємств-субпідрядників $\{\Pi_k, k = 1, 2, \dots, L\}$ відповідно до умови (5.6). Завершення роботи агента A_j фіксується в PDM-системі як деяка подія S_2^j , що переводить в активний стан агентів класу **B**.

3. Подія S_2^j призводить до ініціалізації роботи групи агентів $\{B_k^j, k = 1, 2, \dots, L\}$, тобто кожен агент B_k^j обробляє інформацію від одного з можливих підприємств-субпідрядників Π_k для виконання замовлення Z_j . Обробка полягає в аналізі виробничих ресурсів даного підприємства і ступеня їх завантаження. У результаті проведеного аналізу підприємству Π_k присвоюється деякий рейтинг R_k^j .

4. Після того, як усі агенти $\{B_k^j, k = 1, 2, \dots, L\}$ завершили роботу з аналізу можливостей підприємств-субпідрядників $\{\Pi_k\}$ для виконання замовлення Z_j , у PDM-системі фіксується подія S_3^j , яка переводить в

активний стан агентів класу С. У результаті ініціюється робота агента C_j , який проводить аналіз рейтингів $\{R_k^j\}$ і здійснює вибір виконавця P_j^* для замовлення Z_j на підставі деякого критерію оптимізації.

5. Після завершення роботи всіх агентів класу С в PDM-системі фіксується подія S_4 , після якої ініціюється робота агента класу D. Цей агент формує для підприємства-замовника «зведену відомість», що містить інформацію від усіх субпідрядників, визначених для виконання робіт з ТПВ даного виробу.

Схему взаємодії програмних агентів у розглянутій багатоагентній системі подано на рис. 5.5.

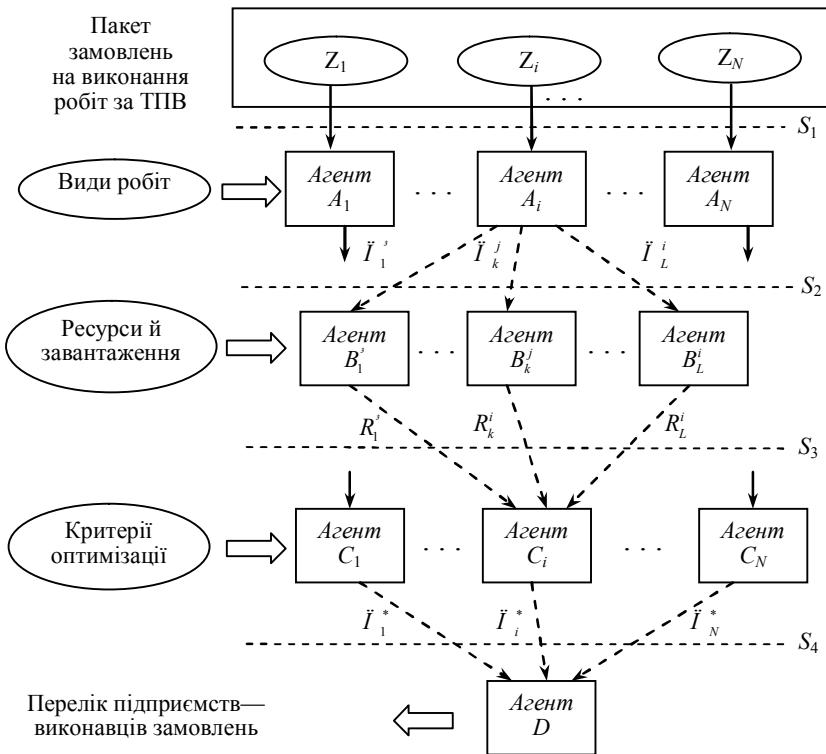


Рис. 5.5. Схema взаємодії агентів під час вирішення завдання розміщення замовлень на виконання робіт з ТПВ у відкритому інформаційному середовищі

5.4. Розробка багатоагентної експертної системи в інформаційному середовищі АСПВ

Для побудови багатоагентних систем необхідний інструментарій, що складається із двох компонентів:

- 1) засобів розробки;
- 2) середовища агентно-орієнтованих програм.

Перший компонент спрямований на підтримку процесів аналізу предметної галузі, створюваної багатоагентної системи, і проектування агентів із заданим поведінням. Другий — забезпечує ефективне середовище для виконання агентно-орієнтованих програм.

Діаграму проектування й реалізації агентно-орієнтованих додатків в нотатції мови UML ілюструє рис. 5.6.



Рис. 5.6. Діаграма процесу розробки агентно-орієнтованих додатків

Цей інструментарій має засоби для організації предметної галузі, яка створюється багатоагентною системою, засоби побудови архітектури агентів і їх поведінки, а також засоби налагодження агентних додатків і спостереження за поведінкою створених агентів.

У контексті теорії штучного інтелекту поняття онтології визначається множиною (словником) використовуваних термінів [187—190]. Тобто онтологія визначає імена сутностей предметної галузі (класи, відношення, функції та інші об'єкти) з текстом природною мовою, який описує, що визначають ці імена, і формальними аксіомами, які обмежують інтерпретацію і коректне використання термінів.

Процес обробки інформації агентом охоплює такі основні кроки:

- обробка нових повідомлень;
- визначення того, які правила поведінки можна застосувати в поточній ситуації;
- виконання дій, визначених цими правилами;
- відновлення імітаційної моделі відповідно до заданих правил;
- планування.

У межах цієї моделі множина правил поведінки утворює безліч можливих відгуків агента на зовнішній запит.

Правила поведінки для даної моделі описуються конструкціями виду «коли — якщо — то» [187, 188]. Частина правила «коли» адресована новим подіям, що виникають в оточенні агента, й охоплює нові повідомлення, отримані від інших агентів. Частина «якщо» порівнює поточну імітаційну модель з умовами, в яких правила поведінки можуть бути застосовані. Зразки в частині «якщо» працюють на намірах, гіпотезах, зобов'язаннях і можливостях, які застосовуються в імітаційній моделі. Частина «то» визначає дії у відповідь на поточні події, стани моделі й зовнішнього оточення.

Найбільш багатообіцяючими є багатоагентні системи на основі розподіленого штучного інтелекту [186], які будуються на базі систем, заснованих на правилах і міркуваннях на основі прецедентів. У них кожен агент розглядається як система, заснована на знаннях з додаванням компонентів, що забезпечують безпеку, мобільність, якість обслуговування, взаємодію з іншими агентами, мережевими ресурсами й користувачами. Такі багатоагентні системи характеризуються скоординованим інтелектуальним поведінням у співтоваристві інтелектуальних агентів.

По суті справи багатоагентні системи можна розглядати як сукупність взаємозалежних програмних модулів (агентів), що є фрагментами знань, доступних іншим агентам. Їх називають «програмними роботами», які задовольняють різні інформаційні й обчислювальні потреби кінцевих користувачів. Вони координують свої знання, цілі, уміння й плани під час розв'язання проблем. Тож багатоагентні системи можна розглядати як програмно-виконавчі пристрої [185, 186].

Отже, кожне підприємство (як головне, так і підрядники) через Інтернет за допомогою багатоагентної експертної системи організовує опис замовлень, послуг або продукції, які воно пропонує на ринок. Агенти багатоагентної системи здійснюють відбір пропозицій на основі запротоколюваних критеріїв.

Як було зазначено в підрозд. 1.1, щоб забезпечити ефективнішу роботу розширеного виробництва, деякі з його учасників (організатори) повинні взяти на себе функції зі створення єдиного інформаційно-управлінського середовища. Для підприємств розглянутого типу до таких функцій належать:

- оперативне інформування учасників про хід робіт, виконуваних в активних мережах, про проблеми, що виникають, і про результати робіт;
- упровадження єдиних базових засобів автоматизації (CAD/CAM-, CAE- і PDM-систем) на підприємствах, що беруть участь у створюваних віртуальних структурах; завдяки цьому досягається скорочення часу та поліпшення якості виконання замовлень, підвищення рівня взаєморозуміння підприємств-учасників;
- регулярне проведення семінарів для фахівців—учасників розширеного підприємства з метою їх ознайомлення з новими технічними рішеннями та для обміну досвідом;
- розміщення технічної і презентаційної інформації в Інтернет і з метою пошуку нових замовлень та залучення нових учасників.

На рис. 5.7 подано схему функціонування розподіленої АСТПВ з використанням багатоагентної експертної системи.

Як уже зазначалося, за допомогою програмних агентів багатоагентної системи здійснюється пошук підрядних організацій, проводиться узгодження технічних умов на виріб, його функцій та конструкції з замовником. Багатоагентна система з'єднана з автоматизованими робочими місцями керівника підприємства, головного конструктора та технолога через інтелектуальний інтерфейс, інтегрований у PDM-систему, створюючи єдиний канал обміну інформацією.

Кінцеве рішення на прийняття замовлення у виробництво, здійснення кооперації з обраними багатоагентною системою підрядниками приймає керівник підприємства за допомогою власного АРМ, на який виводиться вся необхідна інформація для стратегічного планування, можуть виводитися дані з CAD/CAM/MRP II та ERP-додатків. Рішення на внесення конструктивних змін до виробу вносить конструктор.

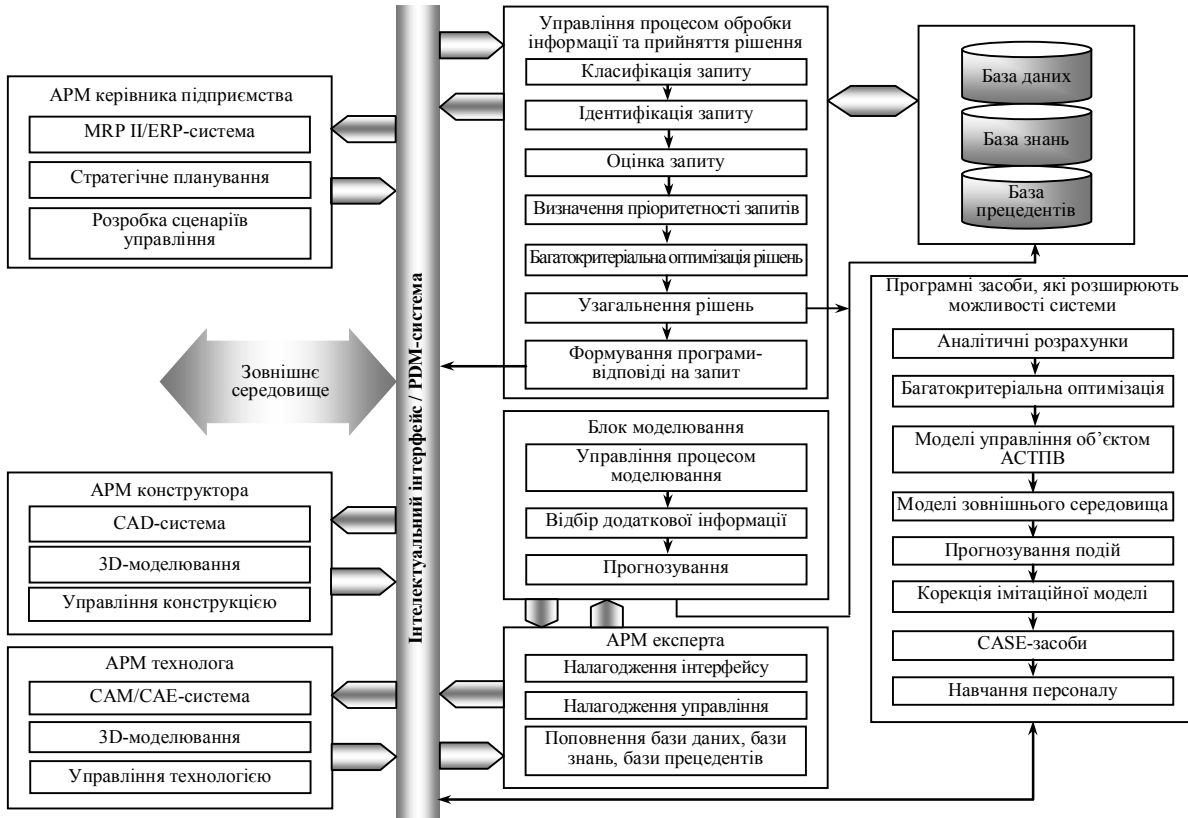


Рис. 5.7. Схема функціонування АСТПВ з використанням багатоагентних експертних технологій

Блок моделювання є однією з головних складових багатоагентної експертної системи. За його допомогою здійснюється наповнення бази даних, бази знань та бази прецедентів; формується загальна модель поведінки агентів; здійснюється загальне управління процесом моделювання; забезпечується, у разі потреби, відбір додаткової інформації з бази знань; організовується прогнозування розвитку розподіленої АСТПВ.

Блок управління процесом обробки інформації та прийняття рішення безпосередньо виконує роботу агентів експертної системи. У нього програмно зашиті моделі поведінки кожного агента, роботу яких докладно розкрито у підрозд. 5.3. На цей блок із зовнішнього середовища (Інтернету) через інтелектуальний інтерфейс надходить вхідна інформація від можливих підрядників та клієнтів, він формує також вихідні сигнали у вигляді програм-відповідей на запит. Модуль управління процесом обробки інформації після отримання вхідного запиту (звернення замовника, відповідь багатоагентної системи підрядника і т. ін.) здійснює його обробку (класифікацію, оцінювання, ідентифікацію), використовуючи бази даних, знань і прецедентів.

База знань за допомогою моделей відображає знання експерта про предметну галузь, способи аналізу фактів, які надходять, і методи виведення, тобто породження нових знань на основі тих, які є, і тих, що надходять.

У базі даних містяться інформаційні дані (графіки, таблиці, звук, тексти), які використовуються базою знань та іншими блоками експертної системи.

Блок програмних засобів, які розширюють можливості програми, на основі використання елементів штучного інтелекту забезпечує виконання додаткових завдань розподіленої АСТПВ. До таких завдань належать: багатокритеріальна оптимізація завантаження устаткування розширеного виробництва; навчання нового, перепідготовка й підвищення кваліфікації досвідченого персоналу; комплекс підтримки прийняття рішення провідними керівниками; проведення аналітичних розрахунків; прогнозування подій тощо.

Як мови програмування можна взяти мови об'єктно-орієнтованого проектування в середовищах Visual Basic, Delphi [191]. Для опису правил (логіки) поведінки агентів багатоагентної експертної системи можна використати моделювання в середовищі UML.

Цілісний опис ситуації диспетчером-експертом забезпечується за наявності повного набору показників, що характеризують цю ситуацію. Найбільш зручною й надійною формою для надання вихідних експертних знань є пари «інформаційний опис ситуацій» — «висно-

вок по ситуації», які здобуваються у процесі завчасного аналізу експертом можливих ситуацій або в процесі практичної роботи з оцінювання конкретної ситуації. За допомогою блоку моделювання диспетчер організовує наповнення баз даних, знань і прецедентів, здійснюючи моделювання ймовірних «проблемних» ситуацій та синтез їх рішень.

Для врахування безлічі факторів функціонування розподіленої АСТПВ вихідний набір показників розбивають на фрагменти, які поєднують у своєму складі показники, що утворюють відносно самостійну значеннєву групу. Завдання оцінювання ситуації розподіляють на ряд часткових завдань. Висновки, які формуються окремими завданнями, становлять показники вищого ступеня узагальнення, які є вихідними даними для завдань наступного рівня ієрархії й т. д. Такий процес декомпозиції загального завдання оцінювання приводить до утворення багаторівневої ієрархії, зв'язаної за входом-виходом часткових завдань, а її рішення дає змогу сформувати систему висновків щодо окремих аспектів і загальний висновок про ступінь відповідності сформованої ситуації цілям управління.

З використанням підсистеми логічного висновку узагальненої оцінки ситуації й формування пояснень будують правила й поповнюють базу знань. Рішення прикладного завдання здійснюється шляхом застосування правил з бази знань до даних про поточну ситуацію.

Висновки про ситуації формуються шляхом логіко-аналітичної обробки даних про ситуації в цілому й об'єкти проблемної галузі. При цьому вважають, що щодо ситуацій, характерних для даної проблемної галузі, ці дані попередньо формуються інформаційними джерелами на основі первинної інформації, здобутої ними, про стан і діяльність об'єктів спостереження.

Для виявлення закономірностей процесу формування висновків про ситуації використовують методи індуктивного узагальнення якісної інформації.

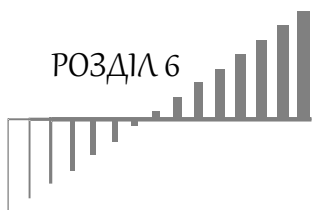
Система забезпечує в діалозі з диспетчером автоматизоване налаштування на досліджувану проблемну галузь шляхом введення в систему основних понять, атрибутів, їхніх можливих значень, зв'язків між ними, а також типів можливих ситуацій, характерних процесів та інтерактивну взаємодію з користувачем у процесі її функціонування. У системі передбачено використання (адаптація) різних моделей процесів для досліджуваної проблемної галузі з можливими послідовностями процесів і взаємозв'язків між ситуаціями. Модель процесу задається у вигляді сукупності ситуацій.

Ситуація представляється сукупністю подій. Подія означає встановлення певного значення або досягнення деякої межі значення

одного або кількох атрибутів об'єкта (об'єктів). Отже, подія характеризується зміною стану одного або кількох об'єктів. Можлива послідовність перебігу процесів задається їхньою послідовністю й відношенням передумови між ситуаціями. Формування інформаційних повідомлень імітує процес збирання від зовнішніх джерел (операторів системи або автоматичних датчиків) повідомлень про зміни досліджуваної проблемної галузі.

Під час моделювання процесу прогнозування механізм логічного висновку запускається автоматично через установлені проміжки часу. Зіставляючи задані моделі процесів із вхідними інформаційними повідомленнями, він видає рекомендації в реальному часі користувачеві. Одержувана інформація дає об'єктивну оцінку процесів, що відбуваються, і дозволяє здійснювати прогнозування їхнього перебігу, здійснювати контроль за виконанням керуючих впливів.

Переваги розглянутого підходу, який використовує методи багатоагентних технологій, порівняно з підходом, викладеним у підрозд. 5.1, полягають у більшій гнучкості системи і прискоренні її роботи за рахунок паралельного вирішення завдань програмами-агентами. Однак реалізація запропонованої багатоагентної системи висуває значно вищі вимоги до рівня організації відкритого інформаційного середовища для підприємств, що беруть участь у спільному вирішенні завдань ТПВ.



6.1. Архітектурні рішення технічних засобів розширених виробництв

Термін «архітектура» може стосуватися проекту окремого комп'ютера. Однак щодо розширеного виробництва він, як правило, означає схему комп'ютерної системи — як фізичної (які комп'ютери і де використовуються), так і логічної (як розподілене чи розділене обчислювальне навантаження).

Компоненти ПС можуть розміщуватися майже довільно, а от сама архітектура, як правило, буває або централізованою, або розподіленою. Нині межі між централізованою й розподіленою архітектурами починають розмиватися, тому що багато підприємств зберігають дані на невеликих серверах, а самі сервери розміщують на одній центральній обчислювальній установці. Якщо обробка даних виконується в різних місцях, то можна з упевненістю говорити про розподілену архітектуру; якщо в переважній більшості дані обробляються в одному місці, архітектура — централізована.

Саме визначення розширеного виробництва як організаційного й функціонального об'єднання матеріальних, інформаційних, трудових та інших ресурсів підприємств (підприємства), що забезпечує випуск продукції з використанням єдиного інтегрованого інформаційного середовища, припускає, у більшості випадків, розподілений характер його архітектури.

Мережа РВ — це інфраструктура, що підтримує вирішення актуальних завдань і забезпечує досягнення його цілей. Вона поєднує в єдиний простір інформаційні системи всіх об'єктів РВ і створюється як системно-технічна основа інформаційної системи, як її головний системотвірний компонент, на базі якого конструюються інші підсистеми.

ПС задумана і проектується в єдиній системі координат, основою якої є поняття *системно-технічної інфраструктури* (структурний

аспект), *системної функціональності* (сервіси і додатки) та *експлуатаційних характеристик* (властивості і служби). Кожне поняття знаходить своє відображення в певному компоненті мережі й реалізується в конкретних технічних рішеннях.

З функціонального погляду мережа — це ефективне середовище передавання актуальної інформації, необхідної для вирішення завдань РВ. Із системно-технічного погляду вона є цілісною структурою, що складається з кількох взаємозалежних і взаємодіючих рівнів:

- інтелектуальна надбудова;
- комп'ютерна мережа;
- телекомунікації;
- комп'ютерні платформи;
- програмне забезпечення проміжного шару (*middleware*);
- додатки.

З погляду системної функціональності мережа РВ виглядає як одне ціле, що надає користувачам і програмам набір корисних у роботі послуг (*сервісів*), загальносистемних і спеціалізованих *додатків*, володіє набором корисних якостей (*властивостей*) і утримує в собі *служби*, гарантує нормальне функціонування мережі [185, 192, 193]. Існує кілька базових принципів побудови мереж:

Усеосяжний характер. Сфера дії мережі поширюється на РВ у цілому. Немає такого підрозділу, що не був би підключений до неї.

Інтеграція. Мережа надає можливість доступу її користувачів до будь-яких даних і додатків (зрозуміло, у межах політики інформаційної безпеки). Немає такого інформаційного ресурсу, доступ до якого не можна було б одержати по мережі.

Глобальний характер. Мережа — це глобальний погляд на РВ поза фізичними чи політичними межами, вона дає змогу одержати майже будь-яку інформацію про життєдіяльність організації. Її обсяг істотно вищий, а спектр — незмірно ширший, ніж, наприклад, інформація в межах локальної мережі одного з підрозділів РВ.

Адекватні експлуатаційні характеристики. Мережа має властивість керованості та високий рівень RAS (*reliability, availability, serviceability*) — надійність, живучість, простота обслуговування за підтримки критично важливих для діяльності РВ додатків.

Розподілений характер ІС потребує створення спеціальної інфраструктури, що забезпечує нагромадження, збереження й передавання даних між усіма заінтересованими учасниками ЖЦ. Така інфраструктура має бути комплексом програмних і апаратних засобів, який дає змогу вирішувати поставлені завдання. У межах традиційного підприємства, розташованого на одному (і єдиному) виробничому майданчику, інфраструктура створюється на основі локальної обчислю-

вальної мережі й відповідного системного та прикладного програмного забезпечення. Для підприємств, що мають географічно розподілену виробничу структуру, і особливо для розширених виробництв, ця проблема відіграє найважливішу роль.

Аналіз нинішнього стану телекомунікаційних засобів і систем дає змогу висловити твердження, що основою інфраструктури розширеного виробництва, а також підприємства з географічно розподіленою структурою може слугувати глобальна мережа Інтернет, у якій дані передаються за допомогою протоколу TCP/IP. Незважаючи на зовнішню простоту й доступність Інтернету, використання цієї мережі як структуротвірний засіб пов'язано з рядом специфічних проблем.

Перша з цих проблем полягає в тому, що для ефективного нагромадження, збереження й використання даних усіма учасниками інформаційного обміну відповідно до технологій CALS сховище даних має бути логічно локалізоване у формі, яку в інтернет-технологіях називають порталом. Інакше кажучи, має бути створено спеціальний вузол мережі Інтернет, призначений для інформаційного обслуговування розширеного виробництва.

Друга проблема пов'язана з тим, що цей вузол і, відповідно, учасники інформаційного обміну мають бути захищені від втручання в цей обмін сторонніх осіб і організацій.

Нарешті, третя проблема полягає в захисті інформації від несанкціонованого доступу осіб і організацій, що мають своєю метою використання цієї інформації у ворожих цілях: з метою викрадення даних, що є державною чи комерційною таємницею, з метою порушення цілісності чи вірогідності даних, переданих учасниками інформаційного обміну, тощо.

Вирішення першої проблеми не являє принципових труднощів і потребує лише відповідних фінансових, кадрових і адміністративних ресурсів. Вирішення другої та третьої проблем пов'язано з використанням систем криптографічного захисту інформації різного рівня.

Варто зауважити, що захист інформації у всіх її аспектах є найважливішою державною проблемою і вимагає значних зусиль як з боку розробників програмно-методичних і технічних засобів передавання даних, так і з боку адміністраторів і законодавців.

Розмаїття видів розширених виробництв має на увазі й розмаїття архітектур їх побудови. Найпростішими з них є інтранет-мережі, а найбільш структурованими і складними — корпоративні мережі Екстранет.

Застосування інтернет- і www-технологій у мережі, ізольованій від Інтернету, називають інтранет-технологією. Інтранет-мережі одер-

жують дедалі більше поширення, вони складаються з внутрішніх web-серверів, доступ персоналу до яких організований через локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) чи глобальні мережі.

Як правило, інформація всередині окремої організації розподілена по безлічі комп'ютерів і зберігається у вигляді різноманітних файлів, звітів і повідомлень електронної пошти. Як правило, спосіб доступу до всієї інформації не організований. Тому багато організацій створюють інтранет-мережі з внутрішніми web-серверами, щоб полегшити своїм співробітникам доступ до інформації. Завдяки зв'язкам із корпоративними базами даних, файлами-серверами і сховищами документів web-сервери надають співробітникам компанії потрібну інформацію через єдиний інтерфейс — web-браузер. Кілька початкових сторінок є гіпертекстовими зв'язками з усіма видами документів і даних. Мережі екстранет стали майже масовим явищем, вони з'являються і у невеликих спеціалізованих компаніях, і у багатонаціональних корпораціях. Мережа екстранет — це IP-додаток, що зв'язує компанію з її діловими партнерами. Вона найчастіше ґрунтується на web-технології і використовує як середовище передавання даних через мережу Інтернет. У екстранеті застосовуються й інші IP-технології: електронна пошта й додатки для колективної роботи.

Основна особливість будь-якої мережі екстранет полягає в тому, що забезпечується зв'язок із конкретними людьми, котрі перебувають поза компанією. Це майже завжди вимагає віддаленого доступу до мережі і, відповідно, породжує ряд технічних та організаційних проблем.

Питання забезпечення безпеки й достатньої продуктивності в екстранеті вирішується інакше, ніж на web-вузлах чи в інтрамережі. Для мережі екстранет дуже важливі аутентифікація і конфіденційність, тимчасом для додатків інтранету вони відіграють набагато менш серйозну роль, а для відкритого web-вузла — взагалі несуттєві.

Продуктивність додатка в екстранеті може розглядатись як політичний фактор, оскільки ця мережа, призначена насамперед для клієнтів, тобто тих, від кого найбільшою мірою залежить життєдіяльність компанії.

6.1.1. Архітектура розширених виробництв першого рівня

Як було вже зазначено в підрозд. 1.5, розширене виробництво першого рівня реалізує випуск прототипів, експериментальних зразків і дрібних партій виробів за допомогою автоматизованих

систем, Rapid Prototyping-технологій тощо в єдиному інтегрованому інформаційному середовищі, в якому вирішують свої завдання всі фахівці, які мають стосунок до даних про виріб на всіх етапах ЖЦ.

Для розширених виробництв першого рівня характерною є така формула автоматизації: обмежена кількість робочих місць на графічних станціях із потужною CAD/CAM/CAE-системою в середовищі персональних комп'ютерів різної потужності, на яких виконується основний обсяг проектних завдань, об'єднаних ЛОМ. Така схема дає змогу мінімізувати витрати й раціонально використовувати парк комп'ютерної техніки, який є в наявності. Застосування RP-технологій забезпечує побудову фізичної моделі в такій послідовності:

- засобами CAD створюється 3D-модель деталі;
- готова модель записується в STL-файл;
- STL-файл передається в установку Rapid Prototyping;
- тривимірна модель розподіляється на горизонтальні перетини (прошарки) за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке постачається з обладнанням;
- виконується послідовна побудова перетинів прошарок за прошарком, знизу вгору доти, доки не буде отримано фізичний прототип моделі.

Застосування RP-технологій дає можливість скорочувати строки створення нових виробів від кількох до десятків разів [194].

На нульовому циклі проектування архітектурних рішень РВ необхідне уточнення питання про тип і конфігурацію ЛОМ. Від правильного вибору типу ЛОМ залежатимуть її інтеграція в комплекс підприємства, а також мінімізація матеріальних витрат за нарощування мережі й мережевих ресурсів. Сучасний розвиток мережевих технологій може забезпечити користувача як волоконно-оптичним устаткуванням для зв'язку віддалених станцій (до 3 км), так і стандартними слабкострумовими кабельними мережами для зв'язку станцій на відстані до 200 м. Застосування волоконно-оптичного устаткування пріоритетне для організації кільця основної шини передавання даних у мережі рівня підприємства. Таке волоконно-оптичне кільце дозволить вирішити потенційні проблеми вузьких місць установами додаткових перетворювачів оптика-мідь у місцях, потрібних користувачу.

Слабкострумові кабельні мережі можуть мати різну топологію: зірка — кількість кабельних відрізків дорівнює кількості станцій і шинна — для кожної станції робиться врізання в довгу лінію. Шинна топологія може застосовуватися для дешевих, можливо, тимчасових чи локальних мереж, що постійно змінюються, з низькою пропускною спроможністю (10 Мбіт/с). Зірка — більш сучасна топологія, що дає змогу користувачу реалізувати повнофункційну обчислюва-

льну мережу, яка покриває значну площу, що має потенційно необмежену кількість робочих місць і надає швидкість обміну інформацією до 100 Мбіт/с.

Найкраща топологія ЛОМ відділу — зірка. Така топологія дозволить використовувати сформовану організацію робочих місць, спростить упровадження і локалізацію сервера і дасть можливість нарощувати топології та функціональність мережі. Усі станції підключаються до активного устаткування за допомогою індивідуальних кабелів типу «кручена пара», розташованих у спеціальних коробах для слабкострумових мереж. Володіючи гарною адаптивністю до конкретних умов замовника, топологія типу «зірка» дозволить скоротити витрати матеріальних засобів на монтаж і нарощування мережі, а розвинутий механізм контролю — на проведення пусконаладжувальних робіт, налагодження й запуск мережі в разі виникнення аварій.

Можемо зробити висновки щодо впровадження ЛОМ для архітектурного рішення РВ першого рівня:

- для забезпечення нормального функціонування локальної мережі достатня установка мережевого устаткування зі швидкістю обміну 10 Мбіт/с;

- для забезпечення потенційно можливого переходу в корпоративній мережі на швидкість передачі даних 100 Мбіт/с доцільне встановлення на станціях мережних карт зі швидкостями обміну 10/100 Мбіт/с, через приблизно рівну вартість устаткування станцій;

- монтаж кабельної мережі необхідно зробити мережевим кабелем UTP п'ятої категорії, а також усі наступні комунікації мають монтуватися із застосуванням кабелю UTP з екрануванням чи без такого, з категорією не нижче п'ятої;

- з попереднього висновку випливає потенційна можливість переходу на двошвидкісний режим роботи локальної мережі завдяки встановленню нового активного двошвидкісного устаткування зі збереженням усіх комунікацій, що існують на момент цього переходу.

Наведемо основні характеристики типової мережі РВ першого рівня (рис. 6.1):

- один сегмент ЛОМ;
- TCP/IP як мережевий протокол;
- до 200 клієнтів;
- інтернет-сервери (FTP, web і сервери електронної пошти), розташовані в межах ЛОМ;
- сеансове підключення до Інтернету по лінії ISDN.

У цьому разі на комп'ютері Сервер встановлюють мережевий адаптер для зв'язку з ЛОМ і адаптер ISDN для підключення до Інтерне-

ту. У таблицю локальних адрес необхідно ввести тільки IP-адреси внутрішньої мережі, виключивши IP-адресу зовнішнього інтерфейсу.

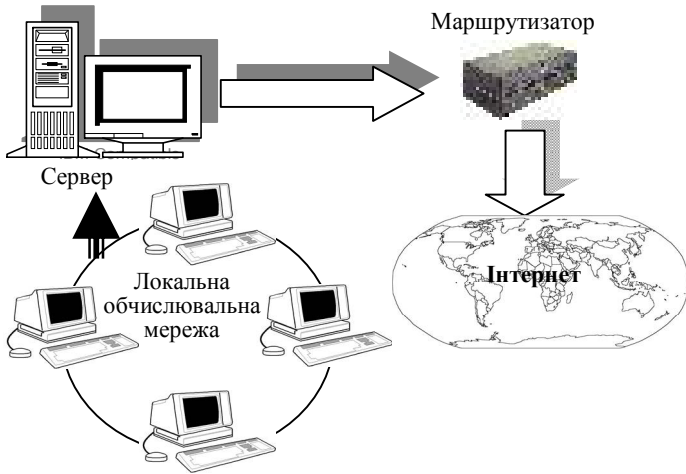


Рис. 6.1. Структура типової мережі РВ першого рівня

Функціонально системи управління РВ першого рівня, як правило, реалізовані на основі технології «клієнт — сервер» і мають тривірневу архітектуру, що забезпечує ефективний розподіл обчислювального навантаження за одночасної роботи великої кількості користувачів (рис. 6.2). Коротко розглянемо призначення кожного сервера.

Сервер бази даних про виріб. Типовим представником такого комплексу є персональний комп'ютер з розвинутою дисковою підсистемою та встановленою серверною операційною системою.

Основна його функція — забезпечення збереження й базові функції обробки даних, авторизація користувача на доступ до даних і надання йому віддаленого дискового простору відповідно до квот, обумовлених адміністратором.

Сервер додатків забезпечує передавання даних між сервером і клієнтом, управління доступом, надає можливість паралельного доступу кількох користувачів до бази, забезпечує цілісність інформації.

Сервер додатків — особливий клас пристроїв, які оптимізують для надання користувачам обчислювальних ресурсів і віддаленого запуску необхідних процесів. Основна вимога — обчислювальна потужність ядра сервера. Можливе й виправдане застосування багатопроцесорної архітектури (до 4 і більше процесорів) чи організація

кластер-серверів (для корпоративного застосування з кількома сотнями станцій користувачів).

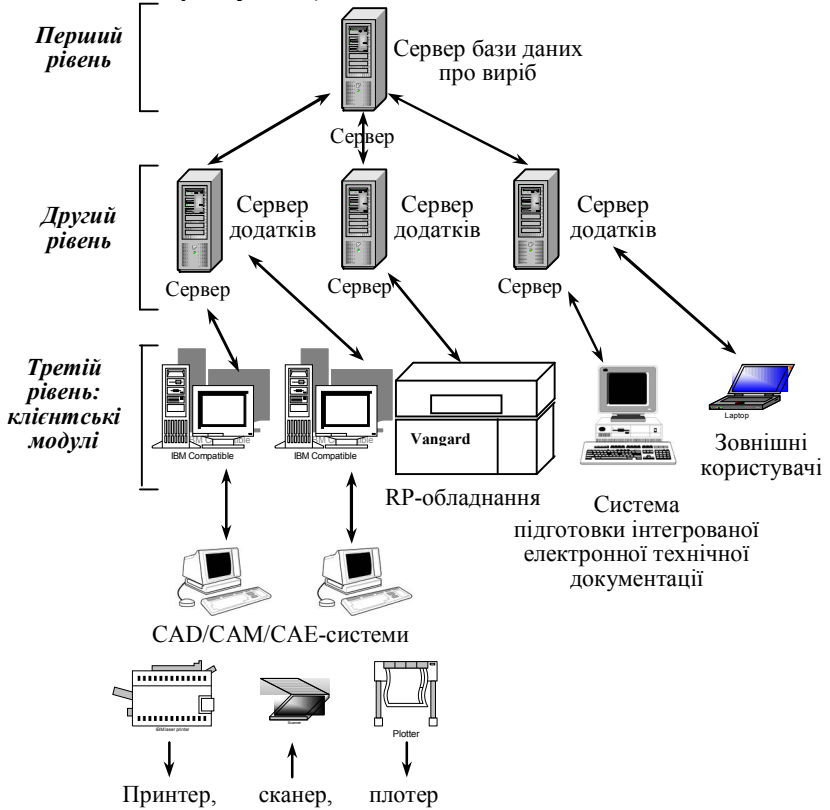


Рис. 6.2. Функціональна схема РВ першого рівня

Програмне забезпечення *клієнтського модуля* організує діалогову взаємодію з базою даних через сервер додатків, занесення й редагування даних про вироби, настроювання статичних даних і програм, що входять у систему. Клієнт так само здійснює доступ до даних через багаторівневий програмний інтерфейс.

6.1.2. Архітектура розширених виробництв другого рівня

Розширене виробництво другого рівня реалізує випуск продукції, розроблення проектів чи реалізацію (продукції) в єдиному інформаційному та інтернет-комунікаційному середовищі. Істотною відмінністю від РВ першого рівня є реалізація ІС на підприємстві з використанням технологій інтрамереж.

Інтрамережа (*intranet*) — це приватна корпоративна мережа, що використовує програмні продукти і технології Інтернету, наприклад web-сервер. Інтрамережі можуть бути ізольовані від зовнішніх користувачів Інтернету за допомогою брандмауерів чи просто функціонувати як автономні мережі, що не мають доступу ззовні (рис. 6.3). Зазвичай компанії створюють інтрамережі для своїх співробітників, однак повноваження на доступ до них іноді надаються діловим партнерам та іншим групам користувачів. Для створення інтрамережі компанії досить організувати у своїй локальній чи територіально розподіленій мережі web-сервер, надати користувачам web-браузери і в разі потреби передбачити брандмауер.

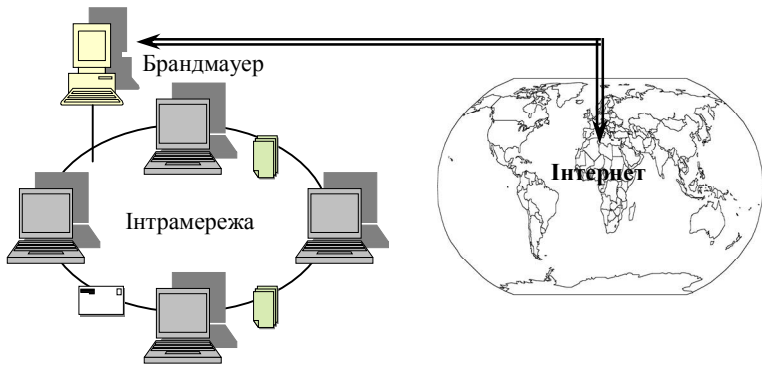


Рис. 6.3. Функціональна схема РВ другого рівня

Брандмауери (*firewalls*) охороняють несанкціоноване потрапляння в мережу чи вихід з неї пакетів даних. Програмне забезпечення брандмауерів визначає, які пакети даних є авторизованими. Зазвичай воно функціонує на маршрутизаторах чи виділених серверах.

Отже, інтрамережа — це приватна мережа організації, яка має вбудовані механізми безпеки й ґрунтується на технологіях Інтернету.

Термін «*intranet*» показує те, що компанія використовує технології Інтернету всередині (*intra-*) мережі своєї організації. Таке внутрішнє використання надає можливість усім співробітникам компанії одержувати доступ до будь-якої необхідної для роботи інформації незалежно від того, де розташовується комп'ютер співробітника і які програмно-

апаратні засоби є в наявності. Використання інтрамережі має на увазі неможливість для зовнішніх, стосовно організації, користувачів одержати доступ до якої-небудь конфіденційної інформації компанії. Крім усіх зазначених переваг використання інтрамережі вона ще й забезпечує мінімальність вартості надання інформації користувачам.

Навіть невеликі організації можуть одержати переваги під час побудови інтрамережі, хоча особливо вагомі результати помітні за використання інтрамережі у великих компаніях. Зі збільшенням компанії для забезпечення координації роботи співробітників необхідне буде використання дедалі більшої кількості документів, які потрібні фактично всім людям для щоденної роботи. Кількість таких документів, їхніх версій, що змінюються, зростає за експонентним законом, і своєчасне надання змінених документів співробітникам стане справді істотною проблемою. За використанні старих, звичних методів обміну подібною інформацією, наприклад електронної пошти, неможливо гарантувати актуальність і негайну доступність змінених версій документів. У таких випадках обов'язковим є застосування механізмів публікації документів на web-серверах компанії.

В інтрамережі будь-який користувач з робочої станції через web-браузер зможе одержати доступ до будь-яких останніх версій документів, тільки-но їх буде поміщено на web-сервері. Публікація документів на web-сервері у форматі HTML «розуміється» будь-якою операційною системою і web-браузером, який використовується клієнтом на своєму робочому місці. Економія засобів за такого підходу у великих організаціях може досягати астрономічних цифр.

Ще одним фактором, що додає значущості побудові інтрамереж, є той факт, що доступ до опублікованої інформації може здійснюватися через Інтернет. Співробітники, котрі перебувають у відрядженні, постачальники й замовники можуть одержувати доступ до інформації, опублікованої в інтрамережі. Однак контроль над доступом кожної конкретної людини до будь-якої інформації, опублікованої в інтрамережі, завжди зберігається.

Технології та продукти, необхідні для створення інтрамережі, є доступними для промислового використання. До складу базового набору входять протокол TCP/IP, NFS (Network File System), браузер, web-сервер, HTML-редактор і електронна пошта. Загальним «зрівнювачем» доступу до інформації є IP-з'єднання [195].

Наведемо основні характеристики типової мережі РВ другого рівня, яке має ряд філіалів (рис. 6.4):

- центральний офіс із кількома сегментами ЛОМ (володіє вбудованими механізмами безпеки і ґрунтується на технологіях Інтернету);

- філія з одним сегментом ЛОМ (володіє вбудованими механізмами безпеки і ґрунтується на технологіях Інтернету);
- мережевий протокол TCP/IP;
- сеансове з'єднання між філією і центральним офісом;
- виділений канал (наприклад, T-1) від центрального офісу до постачальника послуг Інтернету;
- 200—2000 клієнтів;
- інтернет-сервери у філії;
- інтернет-сервери в центральному офісі.

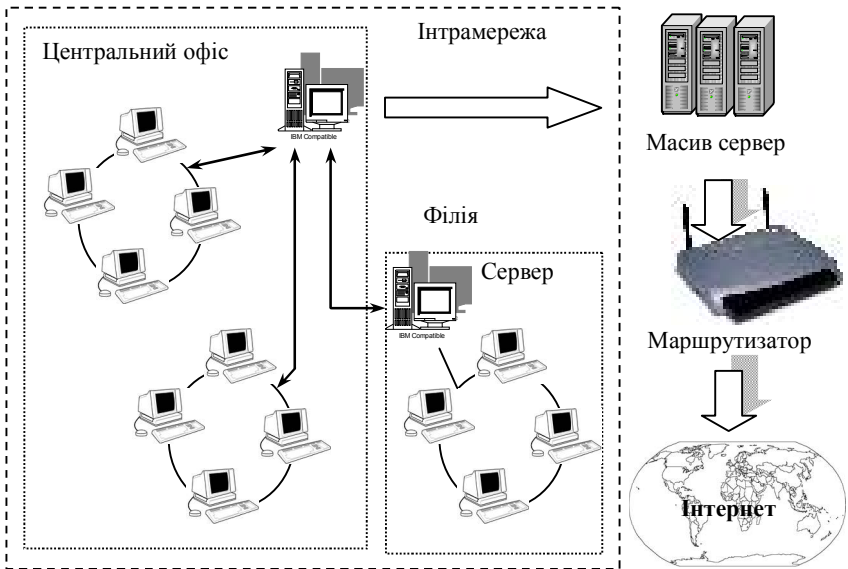


Рис. 6.4. Функціональна схема РВ другого рівня, що мають філії

У цьому разі в центральному офісі встановлюється один сервер-представник чи масив представників, що забезпечує єдину для всіх клієнтів стратегію захисту, розподілене кеширування й виділений канал доступу до Інтернету. Один комп'ютер Сервер у філії забезпечує безпеку й підтримує з'єднання з центральним офісом.

Функція автодозвону Сервер гарантує сеансове з'єднання з центральним офісом і далі — через масив Сервер — з Інтернетом. Для цього Сервер використовує запис телефонної книги RAS, тому сервер-представник у філії треба сконфігурувати як клієнт сервісу віддаленого доступу Windows NT Сервер. У центральному офісі засобами окремого RAS-сервера обробляються вхідні запити з філії.

На комп'ютері Сервер необхідно встановити два внутрішні мережеві інтерфейси — один для зв'язку з інтрамережею філії, а інший, модем чи ISDN-адаптер, — для зв'язку з центральним офісом.

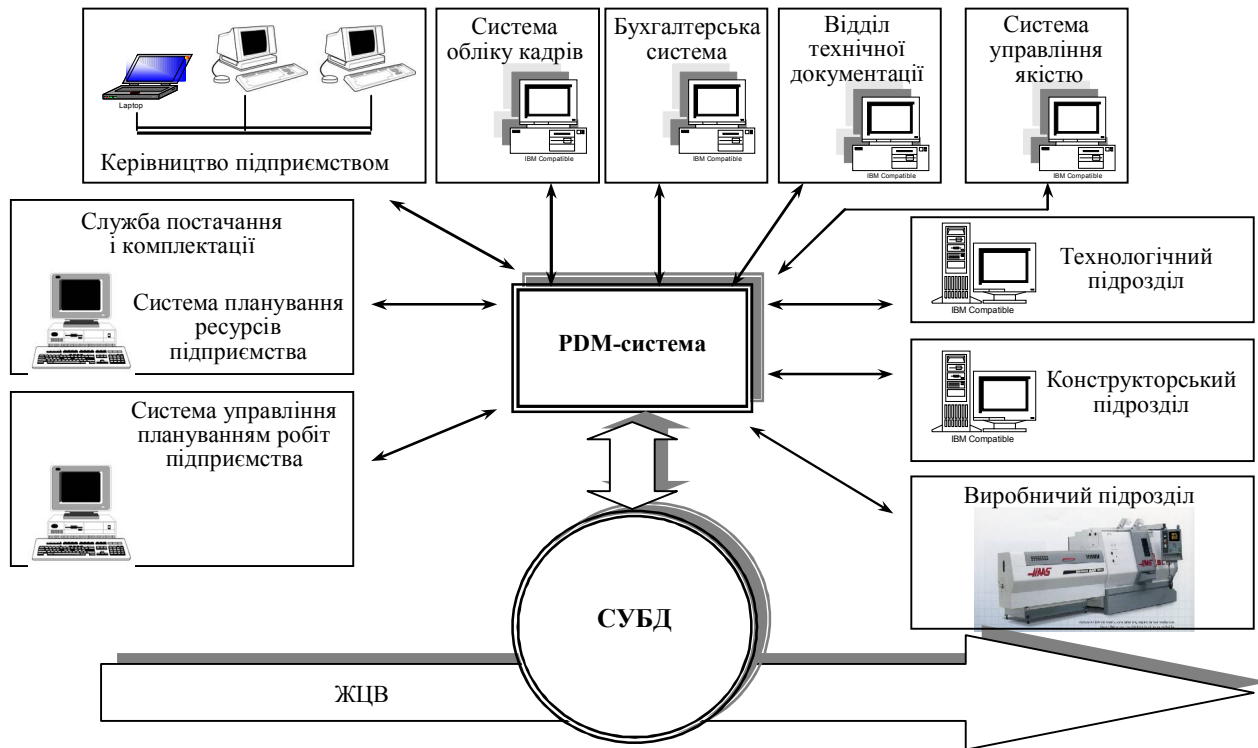


Рис. 6.5. Функціональна схема РВ другого рівня

Таблиця локальних адрес має містити перелік IP-адрес усієї мережі — як філії, так і центральної мережі; IP-адреси Інтернету мають бути виключені. Сервери філії мають автоматично синхронізуватися із серверами центрального офісу.

Для підтримки розподіленого кеширування, рівномірного розподілу навантаження й забезпечення відмовостійкості в центральному офісі слід застосовувати сервер-представник чи масив таких серверів. У разі масиву кожен сервер має два мережеві інтерфейси — один для зв'язку з внутрішньою мережею, а інший — для зв'язку з Інтернетом.

З'єднання з постачальником послуг Інтернету здійснюється через маршрутизатор і лінію T-1. Усі таблиці локальних адрес однакові — вони містять повний адресний простір мереж філії та центрального офісу. IP-адреси зовнішніх інтерфейсів мають бути виключені з таблиці на кожному комп'ютері.

Для обробки вхідних запитів комп'ютера Сервер філії (який є клієнтом RAS) використовують виділений RAS-сервер. За такої конфігурації всі інтернет-запити клієнтів обробляються масивом Сервер незалежно від їхнього джерела, будь то мережа центрального офісу чи мережа філії.

Функціональна схема РВ другого рівня (рис. 6.5) пояснює процеси виробництва продукції на підприємстві.

Варто зазначити можливість організації спільного доступу ділових партнерів РВ до інформації, що зберігається в інтрамережі, шляхом створення екстрамережі (*extranet*). Цим терміном зазвичай називають частину інтрамережі, призначену для доступу ззовні. Ділові партнери часто створюють екстрамережі, що забезпечують обмежений доступ до окремих частин своїх інтрамереж.

Діловим партнерам доступні тільки ті частини інтрамережі, на які вони мають відповідні права доступу. Для конкурентів же будь-який доступ до такої інтрамережі закритий.

6.1.3. Архітектура розширених виробництв третього рівня

Екстрамережі дають можливість компаніям надавати доступ у свої інтрамережі діловим партнерам. Інтрамережі, що ґрунтуються на відкритих стандартах Інтернету, дають змогу організаціям швидко розгортати внутрішні додатки, не застосовуючи дорогих оригінальних розробок.

Екстрамережі забезпечують електронний зв'язок між підприємством і його партнерами, знижують витрати і послаблюють техноло-

гічні струси. Завдяки екстрамережам співробітники підприємства та його партнери користуються технологіями Інтернету для забезпечення безпечного спілкування, співпраці й торгівлі. Крім цього, вони дозволяють організаціям приділяти основну увагу не використанню технологій, а самому бізнесу.

За наявності екстрамережі для одержання безпечного доступу до даних співробітникам уже не потрібно зв'язуватися по телефонній лінії з сервером віддаленого доступу; досить підключитися до Інтернету в будь-якій точці світу через захищений канал зв'язку. Замість застосування неекономічних і обмежених форматів електронного обміну даними в інтегрованих мережах стає можливим відкритий діалог між клієнтами і постачальниками через Інтернет.

Екстрамережеві додатки забезпечують вирішення завдань різного рівня — від спільного використання файлів до здійснення відповідальних бізнесів-операцій з партнерами. Крім цього, постачальники, замовники та інші партнери можуть підключатися до екстрамереж через провайдерів послуг Інтернету для одержання важливої інформації [195].

Звичайна побудова екстрамереж вимагає чималих зусиль. Бази даних, додатки та інша важлива виробнича інформація мають бути захищені за допомогою брандмауерів, шифрування чи поєднання того й іншого.

Традиційні системи віддаленого доступу не підтримують доступ до екстрамереж. Масштабування цих систем — справа клопітка й дорога. Необхідність модернізації апаратної частини, високі управлінські витрати, оплата послуг міжміського телефонного зв'язку — усе це може швидко виснажити засоби, виділені на віддалений доступ.

Доступ через екстрамережу потребує спеціальних продуктів. Для стабільного функціонування екстрамережі критично важлива наявність закінченого комплексу програмного забезпечення чи устаткування.

Кожна модель екстрамереж є певним поєднанням засобів захисту й варіантів розробки, у яких мають бути реалізовані конкретні бізнес-вимоги підприємства та його партнерів. Існують чотири основні моделі екстрамережі:

1) модель із захищеним доступом до інтрамережі (чи з розмежуванням доступу) забезпечує безпечний вхід ділових партнерів безпосередньо в інтрамережу компанії;

2) модель електронної комерції слугує для розв'язання спеціальних технічних проблем обробки EDI-трансакцій (Electronic Data Interchange), тобто угод, укладених за допомогою обміну електронними даними;

3) модель спеціалізованого додатка застосовують за великої кількості партнерів, коли на перше місце виходять питання безпеки мережі;

4) модель, що являє собою вузол із простим захистом за допомогою пароля, забезпечує контакт із величезною кількістю користувачів, якщо безпека не має першорядного значення [196, 197].

Коротко розглянемо функціональні можливості кожної з моделей.

Модель з розмежуванням доступу (рис. 6.6). Додаток, що підтримує захищений доступ до інтрамережі, зазвичай працює через віртуальну приватну мережу (virtual private network — VPN). Це дає можливість створити у відкритій мережі (наприклад, Інтернеті) захищений тунель між клієнтом і сервером. Мережі VPN особливо корисні, якщо необхідно захистити транзакції широкого діапазону (припустимо, для трьох служб — електронної пошти, HTML і telnet) чи якщо з'єднання можуть перекидатися з одного сервера на інший.

Firewall (брандмауер) — асиметричний фільтр, що здійснює блокування спроб доступу ззовні до інтрамережі, захищеної ним, і який прозорий для внутрішніх систем інтрамережі, що працюють в Інтернеті. Дозволяє діловим партнерам одержувати доступ у корпоративну інтрамережу. Найчастіше партнери використовують Інтернет, іноді — телефонні лінії зв'язку. Наприклад, компанія може надати партнеру доступ до програмних засобів та комп'ютерних систем групової роботи й забезпечити участь у конференціях інтрамережі.

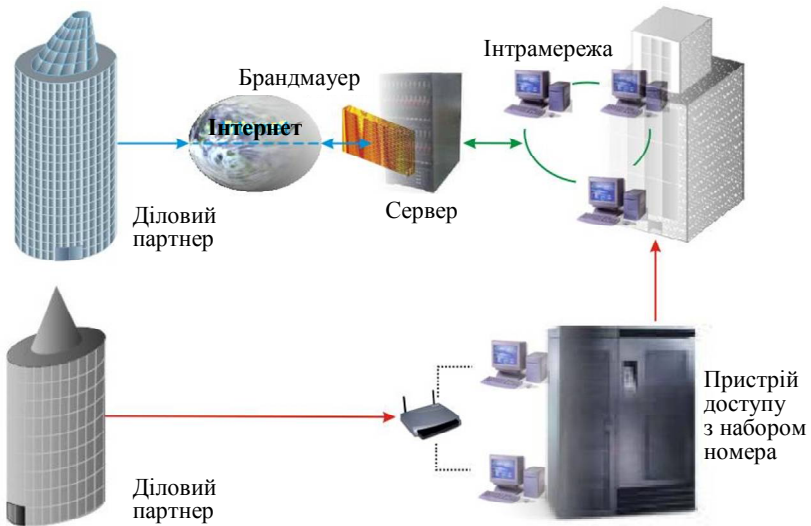


Рис. 6.6. Схема моделі захищеного доступу до інтрамережі

Можливий варіант, що виключає Інтернет за надання прямого доступу до інтрамережі компанії. Для цього можна використовувати звичайні телефонні лінії зв'язку, однак вища вартість експлуатації екстрамережі зведе нанівець переваги її високої окупності. Вартість надання кожному клієнтові захищеної високошвидкісної лінії досить висока. Крім цього, дуже складно створити схему захисту телефонної мережі, у якій кожному постачальнику буде доступна тільки певна інформація.

Підписання контракту з оператором приватної IP-мережі гарантує необхідний рівень обслуговування, у тому числі визначену продуктивність, але це теж обійдеться дорожче, ніж у разі підключення ділових партнерів через Інтернет.

Модель із захищеним доступом до інтрамережі одержала найбільше поширення у великих багатонаціональних корпораціях, які використовують інфраструктуру телефонних мереж.

Модель електронної комерції (рис. 6.7). У моделі екстрамережі для електронної комерції використовують такі самі спосіб захисту й архітектуру мережі, що й на вузлі підприємства, призначеному для електронної комерції. Проте подібні екстрамережі часто розробляються спеціально для здійснення комерційних угод між підприємствами. Для шифрування й дешифрування кожного сеансу зв'язку між сервером і клієнтом можна застосовувати протокол SSL (Secure Sockets Layer), доповнивши захист цифровими підписами (сертифікатами), що забезпечить надійну аутентифікацію й відповідальність учасників договору.

Модель електронної комерції дає можливість обслуговувати різноманітних ділових партнерів, використовуючи звичайні технології систем електронної комерції, у тому числі захист і обробку транзакцій. Наприклад, компанія може надати дистриб'юторам доступ до бази даних, що містить секретну корпоративну інформацію.

Такі мережі використовуються багатьма РВ, які можна умовно розділити на дві групи. Перша складається з невеликих і середніх підприємств, що хоча і не застосовують EDI-системи при угодах з бізнес-партнерами, але хочуть скористатися перевагами електронної комерції. Зокрема, вони прагнуть заощадити завдяки електронному розміщенню замовлень чи одержати можливість за допомогою електронних засобів виписувати рахунки-фактури і зв'язувати угоди із системами бухгалтерського обліку й матеріально-технічного постачання.

Другу групу становлять підприємства, що бажають розширити існуючі EDI-системи засобами торгівлі на базі web-технологій, аби мати можливість продавати електронну інформацію дрібним партнерам, які не мають власної EDI-системи. Однак якщо екстрамережа

будується на основі моделі електронної комерції, а не EDI, мережа, найімовірніше, має працювати через VPN.

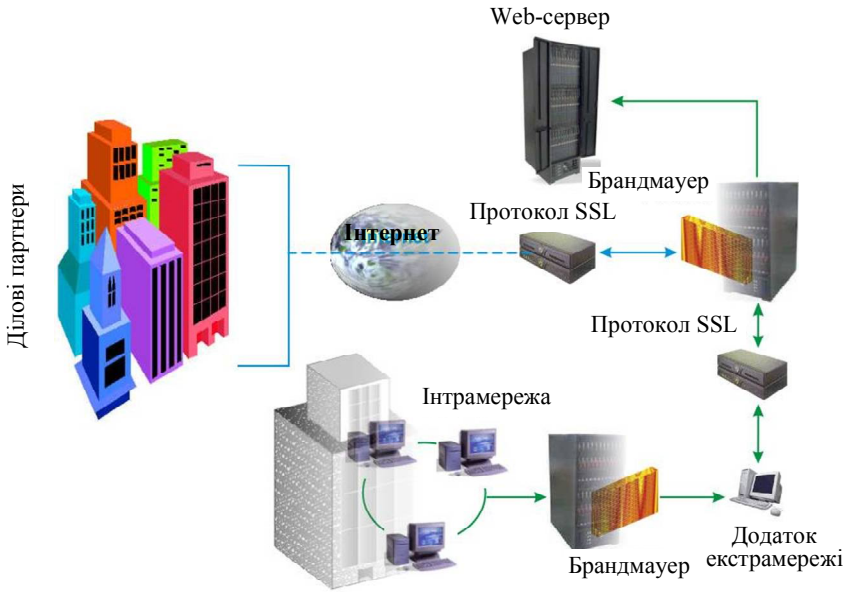


Рис. 6.7. Схема моделі електронної комерції

Спеціалізована модель (рис. 6.8). Модель, орієнтована на спеціалізовані додатки, визначає типовий спосіб побудови екстрамережі. Ця модель не вимагає безлічі заходів для забезпечення безпеки мережі і зводить до мінімуму ризик порушення захисту внутрішньої мережі підприємства. Доступ з додатка екстрамережі до інтрамережі в такій моделі обмежений або ж його взагалі немає.

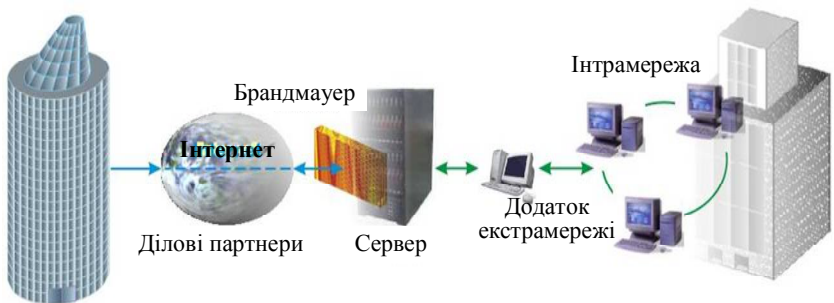


Рис. 6.8. Схема моделі спеціалізованого додатка

Загальноприйнятим методом захисту для спеціалізованої моделі є звичайна аутентифікація. Коли необхідно мати більш високий рівень конфіденційності, у таких мережах можна використовувати протокол SSL і могутніші засоби аутентифікації.

Відповідно до цієї моделі підприємство розробляє додаток спеціально для одного чи більше партнерів. Його співробітники здатні одержувати доступ до додатка з інтрамережі, доступ до якої для партнерів обмежений чи зовсім закритий. Наприклад, підприємство може встановити вузол екстрамережі, через який виробники повідомлятимуть тендер на постачання матеріалів. Прикладів моделі спеціалізованих додатків безліч. Підприємства, що розробляють технології, часто використовують екстрамережу для зв'язку з клієнтами, що обслуговуються за договором, і для своїх дилерів.

Деякі спеціалізовані додатки створювати нескладно, особливо якщо вони є простими захищеними паролем web-вузлами, розміщеними за межами брандмауера. Однак як такий web-вузол не рекомендується застосовувати вузол, що зв'язує підприємство зі споживачем і використовує просту аутентифікацію, оскільки екстрамережа має обмежувати доступ для всіх і надавати його тільки певному колу користувачів.

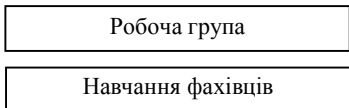
Остання (четверта) з моделей екстрамережі — **простий, захищений паролем вузол** — потребує мінімальних вкладень у забезпечення безпеки. Така мережа захищена менше, ніж екстрамережа. Якщо ділові партнери повинні обмінюватися конфіденційними даними, цю модель вибирати не слід. Найскладніші екстрамережі створюються на базі моделі захищеного доступу до інтрамережі. Такі мережі дають змогу діловим партнерам чи службовцям у відрядженні одержувати доступ безпосередньо до інтрамережі компанії через Інтернет.

6.2. Методика побудови розширених виробництв

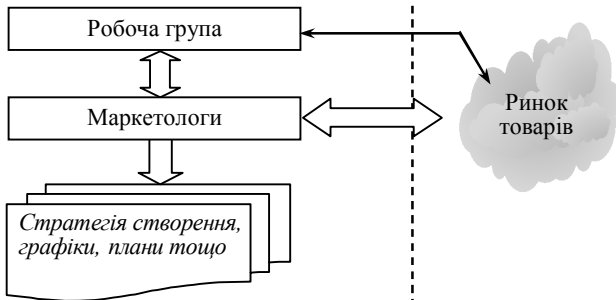
Розглянемо методичні підходи до створення РВ на базі діючих виробничих потужностей [129]. Тобто ми розглянемо деяке підприємство, яке вирішило переглянути свою стратегічну політику щодо ринків збуту та партнерів і збільшити гнучкість виробництва. Рішення обумовлене насиченням ринку товарами, які виробляє підприємство, або їх незадовільною якістю.

Алгоритм методики створення РВ подано на рис. 6.9. Розглянемо кожен з етапів докладніше. Варто зазначити, що названі етапи можуть виконуватися не тільки послідовно, а й паралельно в часі.

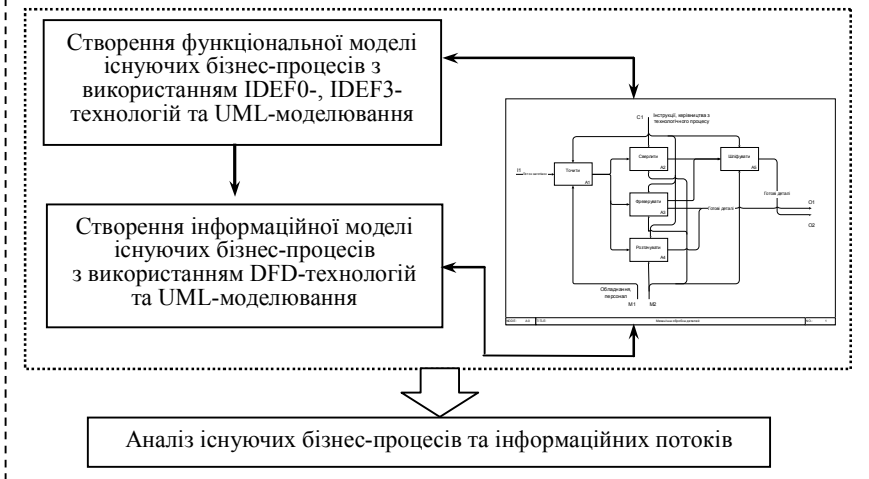
Етап 1. Формування робочої групи, навчання фахівців

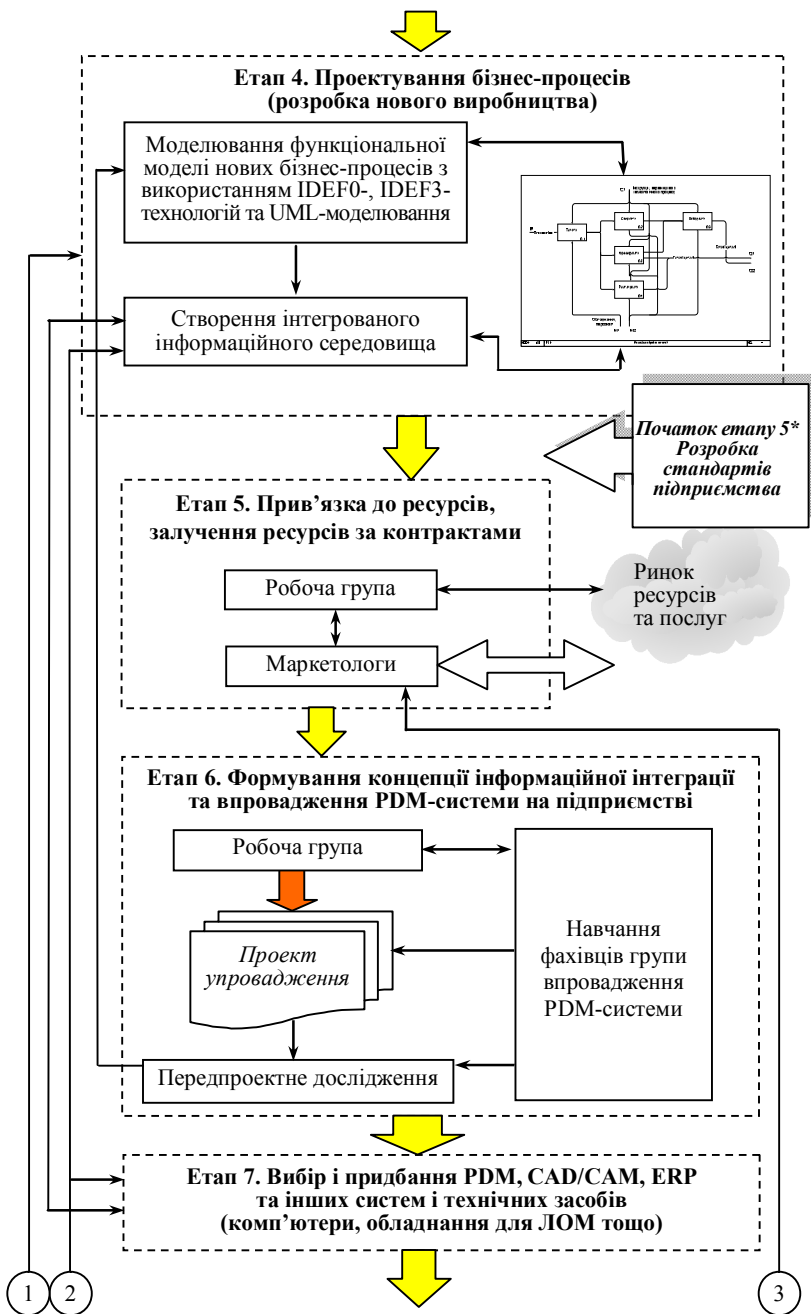


Етап 2. Розробка образу майбутнього виробництва та стратегії її створення



Етап 3. Аналіз існуючих бізнес-процесів та інформаційного забезпечення на підприємстві





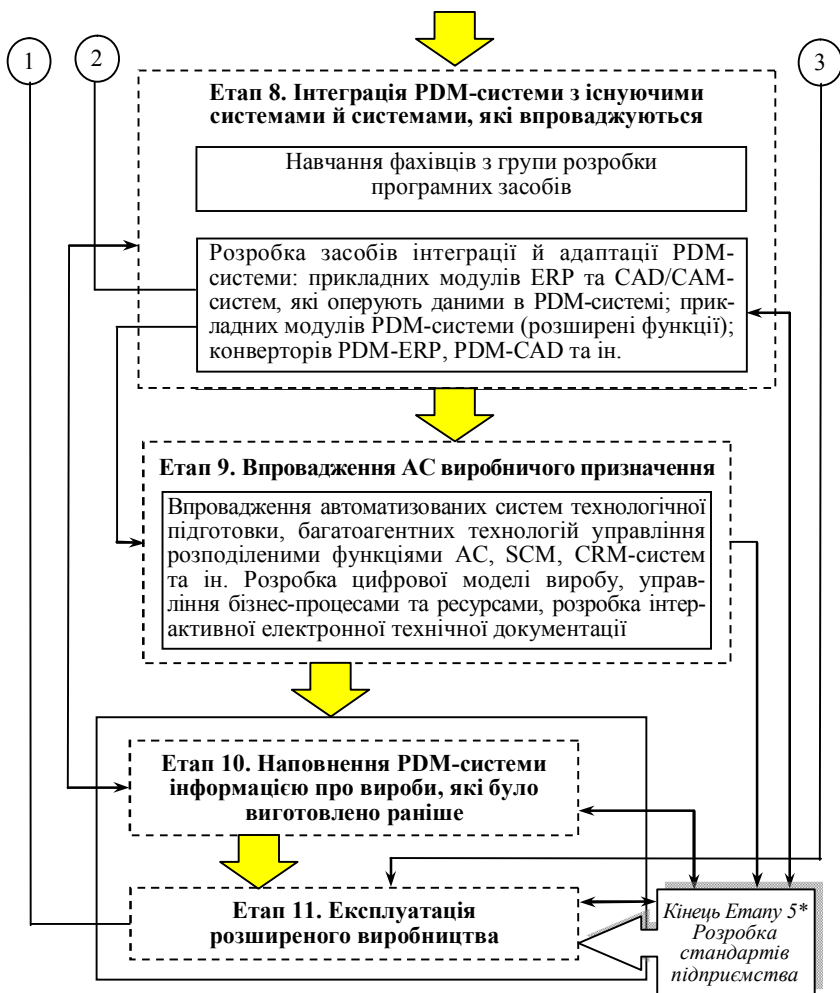


Рис. 6.9. Алгоритм методики побудови розширених виробництв протягом усього процесу створення РВ

Етап 1. Формування робочої групи, навчання фахівців. Робоча група має охоплювати як співробітників відділів підприємства (конструкторів, технологів, бухгалтерів та ін.), так і фахівців відділу автоматизації (програмістів та системних аналітиків). Крім цього, у робочу групу мають входити:

- координатор проекту створення РВ від топ-менеджерів підприємства;

- менеджер проекту (керівник напряму інформаційних технологій);
- консультанти з функціональних напрямів автоматизованих та експертних систем, які впроваджуються або розробляються на підприємстві.

Усі співробітники робочої групи мають пройти навчання з відповідних CALS-технологій та програмних продуктів. Для збереження спадкоємності рішень склад робочої групи має бути постійним протягом усього процесу створення РВ. Узагалі навчання всіх фахівців підприємства (не тільки робочої групи) повинно відбуватися плано-во протягом усього процесу впровадження для того, щоб етап експлуатації розпочався без зволікань. Варто визначити чотири напрями діяльності фахівців:

- 1) для запровадження CALS-технологій на підприємстві;
- 2) використання CALS-технологій під час розроблення та виготовлення продукції;
- 3) розробки програмних засобів, які реалізують CALS-технології;
- 4) управління якістю продукції на основі стандартів ISO.

Виходячи з цих напрямів діяльності можна виокремити дев'ять груп спеціалістів, підготовка, перепідготовка й атестація яких необхідні для створення РВ. На рис. 6.10 показано зв'язки між напрямами діяльності та фахівцями, які потрібні для кожного конкретного напрямку.

Етап 2. Розробка робочого проекту РВ та стратегії його створення. На цьому етапі робоча група розробляє робочий проект, деталізований стратегічний план та цілі створення РВ. Цей етап характеризується інтенсивною роботою членів групи з маркетологами з метою визначення перспективних напрямів розвитку майбутнього виробництва на основі аналізу ринку товарів та можливостей існуючого підприємства. Необхідно чітко визначити стратегічні цілі підприємства, його структуру з урахуванням майбутніх партнерів та за-сад співпраці з ними.

Використовуються стандарти (група ГОСТів 34 на автоматизовані системи, ISO/IEC 15288 та методики Cobit, SISP (P&C) чи ITSM [43, 44, 90 та ін.].

Наступний крок — узгодження термінів виконання робіт зі створення РВ та призначення фахівців, які відповідатимуть за якість робіт і дотримання графіка їх виконання.

Етап 3. Аналіз існуючих бізнес-процесів та інформаційного забезпечення на підприємстві. Проводять дослідження процесу функціонування підприємства. Головна мета аналізу — виявити існуючі зв'язки між бізнес-процесами й оцінити їхню раціональність та ефективність. Для цього розробляються функціональні моделі, які

докладно описують виконання процесів та їхні взаємозв'язки. Отримана функціональна модель дає змогу вирішувати цілу низку завдань, пов'язаних з оптимізацією, оцінюванням величини й розподілом витрат, оцінюванням продуктивності завантаження та збалансованості складових частин.

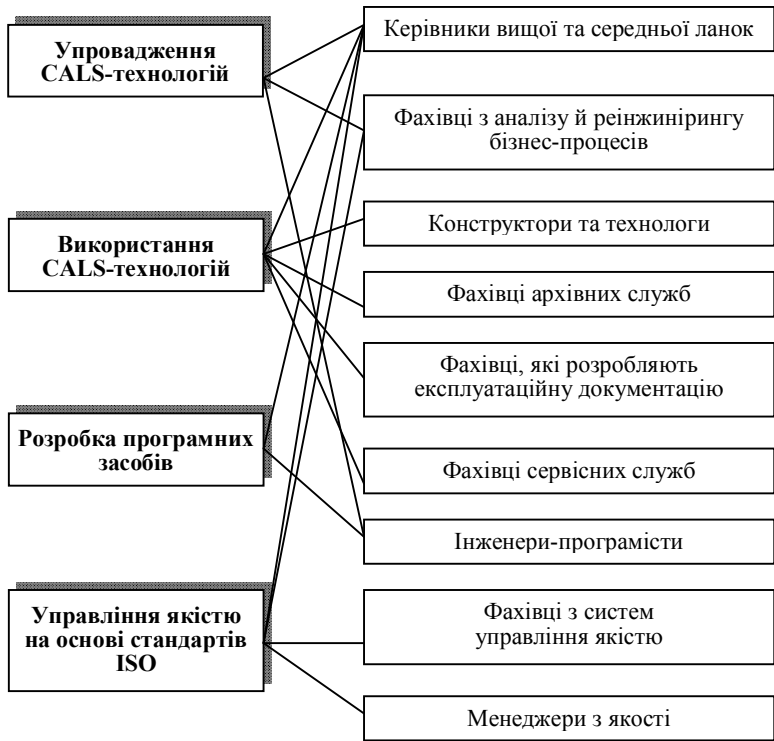


Рис. 6.10. Концепція підготовки фахівців з CALS-технологій

Представлення та якісна оцінка перетворень, які виконуються функціональними блоками, дають можливість створити математичні моделі, які відображають (імітують) фізичні, економічні, організаційні, фінансові, логічні і т. ін. відносини між структурними підрозділами. Від якісного аналізу існуючого виробництва залежить формування подальшої політики щодо напрямів удосконалення старого та розробки нового виробництва.

Для кількісного оцінювання цих відносин використовують моделі масового обслуговування. Вони дозволяють оцінити ефективність

блоків, які виконують операції перетворення матеріальних та інформаційних об'єктів, визначають реальну пропускну спроможність каналів, якими передаються ці об'єкти, виявити вузькі місця й резерви, оцінити залежність виробництва (пропускну спроможність) від надійності елементів, а також від витрати ресурсів. Саме від цього етапу значною мірою залежить успіх подальшої побудови нового виробництва. Під час розгляду такої моделі, отриманої в результаті глибокої декомпозиції виробничої системи, аналітик може зробити аналіз системи з погляду реальної ефективності системи (сумарний обсяг браку, час простоювання обладнання, обсяг незавершеного виробництва тощо).

Етап 4. Проектування бізнес-процесів (розробка нового бізнесу). Розробляють нові та (або) змінені процеси та інформаційну систему, що їх підтримує. Виконують моделювання й тестування нових бізнес-процесів. Загальним для етапів 3 і 4 є механізм створення та аналізу функціональних моделей — IDEF0, IDEF3, DFD та використання мови візуального моделювання UML. За допомогою цих інструментів описується кожна функція, яка бере участь у процесі, і всі аргументи, які будуть використовуватися [198, 199]. Потім необхідно визначити ресурси, необхідні для підтримання цих процесів (етап 5), оцінити сумарний час, необхідний для їх виконання, та вартість процесів. Коли всі бізнес-процеси цілком визначено та оцінено, їх використовують під час складання техніко-економічного обґрунтування створюваного виробництва, а робоча група отримує інформацію про те, як підприємство має функціонувати.

Етап 5. Прив'язка до ресурсів, залучення ресурсів за контрактами. Після того, як сукупність процесів повністю спроектована, кожен функцію в кожному процесі необхідно прив'язати до певного ресурсу. Після завершення етапу в розпорядженні підприємства є список необхідних ресурсів, а для кожного ресурсу — список функцій, які він повинен буде виконувати, разом з описом входу, виходу та специфікаціями якості обслуговування.

Крім того, на цьому етапі здійснюється визначення кількості агентів багатоагентної експертної системи, їхнього складу та функцій, а також наповнення бази знань агентів. Бази знань є основними елементами інтелектуального агента, що дають йому можливість мати певний рівень сприйняття, уміння пізнавати й діяти. Вони містять моделі найпростіших цінностей і відносин та алгоритми аналізу, навчання й ситуативної орієнтації. Для збереження простоти агента сфера його діяльності має бути дуже вузькою.

Етап 5*. Розробка стандартів підприємства. Розробка комплексу нормативної документації, яка регламентує порядок уведення та

змін інформації про виріб в PDM-системі на основі міжнародних, державних і галузевих стандартів, необхідна для організаційного забезпечення впровадження PDM-системи. Розробка корпоративних стандартів займає не менш як 4—6 місяців. Етап має номер 5*, тому що починається майже одночасно з етапом 5.

Зв'язок між етапами 8, 9 та етапом 5* вказує на інтенсивний обмін між групами, які впроваджують pdm-систему та розробляють стандарти.

Етап 5* завершується із закінченням робіт щодо наповнення системи даними (створенням бази даних).

Етап 6. Формування концепції інформаційної інтеграції та впровадження PDM-систем на підприємстві. Проводиться вибір показників оцінювання ефективності процесів, формування цілей упровадження CALS-технологій та стратегії їх досягнення. Основною на етапі є розробка проекту впровадження PDM-системи на підприємстві, яка складається з таких підетапів:

- Визначення стратегічних цілей проекту та тактичного плану впровадження. Завдання етапу — складання базового плану впровадження. У нього включають: організацію проекту; його структуру; цілі та сферу застосування; склад проектної групи; методику впровадження; план підготовки проектної групи; методику оцінювання якості основних етапів роботи.

- Передпроектне дослідження. Завданням дослідження є «рання діагностика» проблем, які можуть виникнути під час упровадження. Результатом дослідження є документ, в якому визначено систему, обрано організацію, яка впроваджуватиме систему, та компанію-консультанта, а також передбачено можливі проблеми та способи їх розв'язання.

- Навчання фахівців групи впровадження. Варто зазначити, що фахівці цієї групи будуть відповідальні і за інтеграцію цієї системи з уже існуючими програмними засобами, і за розробку програмних засобів, які реалізують CALS-технології. У цю групу входять керівники середньої ланки та інженери-програмісти, тобто фахівці з групи впровадження CALS-технологій.

Основними цілями впровадження PDM-систем є:

- Прискорення процесів проектування за рахунок паралельного виконання робіт та електронного обміну даними між фахівцями в єдиному інформаційному середовищі.

- Підвищення якості та достовірності інформації за рахунок прозорості системи та взаємного контролю учасників процесів проектування.

- Збереження інформації в електронному вигляді.

- Збільшення швидкості передавання досвіду проектування молодим фахівцям.

- Підготовка інформації та кадрів для впровадження CALS-технологій.

PDM-система створює єдине інформаційне середовище підприємства, забезпечуючи обмін інформацією між системами проектування та учасниками РВ, автоматично підтримуючи механізм ведення версій інформації та документів, а також інтегруючи всі АС підприємства.

Етап 7. Придбання та впровадження АС та технічних засобів (комп'ютери, обладнання для ЛОМ). Перед кожним підприємством стоїть завдання, які АС обрати і як їх застосувати для вирішення конкретних завдань. У будь-якому разі підприємство має враховувати, що воно придбає не тільки комп'ютерну систему, а й цілий комплекс послуг, тому необхідно враховувати не тільки якість самих систем, а й спроможність постачальників забезпечити їх супровід, модернізацію й адаптацію до вимог підприємства.

Обов'язковим для цього етапу є врахування вимог АС до технічних засобів. Ці рекомендації, як правило, дають підприємства, що проводять роботи з упровадження АС.

Етап 8. Інтеграція PDM-системи з існуючими АС та системами, які впроваджуються. Інтеграція PDM-системи з існуючими системами й системами, які впроваджуються, та її адаптація до умов підприємства необхідна для створення єдиного інформаційного середовища РВ. Крім цього, під час впровадження необхідно врахувати специфіку виробництва. Засобами інтеграції й адаптації PDM-систем є:

- прикладні модулі ERP або CAD/CAM/CAE-систем, які оперують даними в PDM-системі;
- прикладні модулі PDM-системи (розширені функції);
- конвертори PDM-ERP, PDM-CAD/CAM/CAE та з іншими АС.

Розроблений план інтеграції не має обмежуватися лише встановленням програмного забезпечення на підприємстві й навчанням користувачів функціям системи. Проекти з установа нових систем автоматизації етапів ЖЦВ традиційно охоплюють набагато ширший спектр завдань від додаткової формалізації процедур збирання і збереження управлінської інформації до здійснення змін в організаційній структурі підприємства й перерозподілу обов'язків. Проекти з упровадження подібних систем можна віднести до класу організаційних проектів — проектів, які ведуть до розвитку структури організації. Відмітною особливістю даного проекту є те, що від успіху або провалу проекту може залежати ефективність функціонування організації в цілому та її окремих підрозділів. Тому ретельне плану-

вання й контроль не тільки технічних, а й інших аспектів впровадження системи набувають особливої важливості.

Інтеграція автоматизованих систем дає змогу уніфікувати та скоротити інформаційне та програмне забезпечення конкретного підприємства й забезпечити значне скорочення міжетапних виробничих затрат часу та фінансів.

Загальні рекомендації з упровадження АС:

- чітке визначення мети впровадження систем;
- послідовне впровадження, використання функцій планування й управління від простого до складного. Рекомендується розпочати з планування й контролю часових параметрів, потім освоїти функції ресурсного планування й тільки після цього переходити до вартісного планування та контролю;

- поетапне впровадження систем у структурні підрозділи.

Методику аналізу та вибору сучасних CAD/CAM/CAE-систем наведено в [133].

Етап 9. Впровадження АС виробничого призначення. Проводять упровадження та запуск у промислову експлуатацію АС технічної підготовки виробництва. АСТПВ забезпечує формування ІС й автоматизує роботу конструкторсько-технологічних підрозділів, маркетингу, архіву, керівників структурних підрозділів та ін.

Для розподіленого управління автоматизованими системами та спільного вирішення завдань підготовки й управління виробництвом, а також для управління даними для SCM- і CRM-систем використовують багатоагентні технології. Відповідні програмні модулі створені й функціонують під управлінням PDM-системи SmarTeam. Розподілене управління даними автоматизованих систем дає змогу вирішувати завдання управління завантаженням обладнання та використанням ресурсів РВ.

На цьому етапі створюються цифрові моделі виробів РВ, за допомогою АС забезпечується управління бізнес-процесами як окремих підрозділів, так і в цілому РВ. За допомогою відповідних АС розробляють інтерактивну електронну технічну документацію, яка забезпечує всіх учасників ЖЦВ необхідним інформаційно-технічним супроводом.

Технологію побудови багатоагентної АС розкрито в підрозд. 5.4.

Етап 10. Наповнення PDM-системи інформацією про вироби, які виготовлено раніше. Для ефективного використання нагромадженого підприємством виробничого досвіду потрібні значні витрати на переведення існуючої документації про вироби, які вже розроблено, у цифрове представлення й занесення її до сховища даних інтегрованої інформаційної системи з використанням засо-

бів адаптації. Наповнення системи інформацією має відбуватися паралельно з експлуатацією РВ, що забезпечить динаміку розвитку підприємства та скоротить терміни виходу підприємства на повну потужність.

Етап 11. Експлуатація розширеного виробництва. Важливою властивістю кожного РВ є висока організаційна гнучкість. Завдяки цьому досягається швидке об'єднання конкретних підприємств з певною спеціалізацією так, щоб задовольнити поточні потреби ринку. Це відображено на рис. 6.9 двоспрямованою стрілкою між етапом 10 «експлуатація розширеного виробництва» і етапом 5 «прив'язка до ресурсів, залучення ресурсів за контрактами». Варто окремо зупинитися на зворотному зв'язку між етапом 10 та етапом 4, який вказує на те, що під час експлуатації створеного виробництва постійно відбувається процес удосконалення нового бізнесу виходячи з умов ринку.

Етапи, що об'єднані пунктирними прямокутниками, можуть виконуватися паралельно, що значно скорочує процес створення виробництва. Під час створення виробництва з «нуля» етапи 2, 4 пов'язані з реінжинірингом, можуть бути пропущені, а етап 8 значно спрощується, оскільки немає потреби інтегрувати PDM-систему з АС, що використовувалися раніше.

Наведена методика створення РВ потребує чіткого розуміння суті CALS-технологій з метою максимально ефективного використання їх можливостей і передбачає спільну роботу фахівців з інформаційних технологій, аналітиків, технологів, інженерів та ін., що висуває високі вимоги до керівника проекту. Необхідно зазначити, що на етапі експлуатації виробництва постійно здійснюється підготовка та перепідготовка фахівців, які використовують CALS-технології та є відповідальними за управління якістю на їх основі. Для використання CALS-технології необхідно навчання:

- керівників вищої та середньої ланок;
- конструкторів і технологів (вони повинні вести розробку продукції в електронному середовищі з використанням новітніх технологій і програмних засобів);
- фахівців архівних служб (їх навчання знадобиться, якщо на підприємстві значна частина актуальної технічної інформації перебуває в паперовому вигляді, тому що в цьому разі її слід буде перевести в електронний вигляд);
- фахівців, що розробляють експлуатаційну документацію (якщо ринок або стратегічний замовник висуває вимоги подати експлуатаційну документацію в електронному вигляді, то ці фахівці повинні розробляти інтерактивні електронні технічні керівництва на продукцію);

- фахівців сервісних служб (використання CALS-технологій можливе не тільки на підприємствах — виробниках продукції, а й там, де продукція експлуатується, а для цього людей необхідно навчити працювати з електронними версіями експлуатаційної документації у вигляді інтегрованих електронних технічних керівництв).

До групи фахівців, яких необхідно буде підготувати для управління якістю, входять фахівці з систем управління якістю та менеджери з якості.

Подані етапи створення РВ можна деталізувати й розширити. Їхня кількість багато в чому залежить від фінансових можливостей підприємства.

6.3. Функціональні можливості та експлуатація АСТПВ

Інформація, створена на етапі ТПВ, містить значну частину загальної інформації ЖЦВ. Ця інформація утворюється в різних автоматизованих системах різними методами, і під час створення електронної моделі виробу виникає проблема інтеграції результатів діяльності багатьох спеціалістів. Розв'язання цієї проблеми розробники CALS-технологій вбачають у використанні типових PLM-рішень.

Розроблена автоматизована система ТПВ забезпечує формування інтегрованого інформаційного середовища підприємства, у якому вирішують завдання підготовки виробництва всі фахівці, які причетні до даних про виріб на всіх етапах ЖЦВ. Структурну схему АСТПВ показано на рис. 6.11.

АСТПВ автоматизує процес роботи спеціалістів, які створюють і працюють з конструкторсько-технологічною інформацією. Система може експлуатуватися такими спеціалістами:

- керівниками структурних підрозділів;
- конструкторами;
- співробітниками відділу стандартизації;
- технологами-проектувальниками технологічних процесів;
- технологами для розробки норм витрат матеріалів і норм трудових витрат;
- диспетчерами дільниць і цехів;
- співробітниками служб маркетингу;
- операторами електронного архіву.

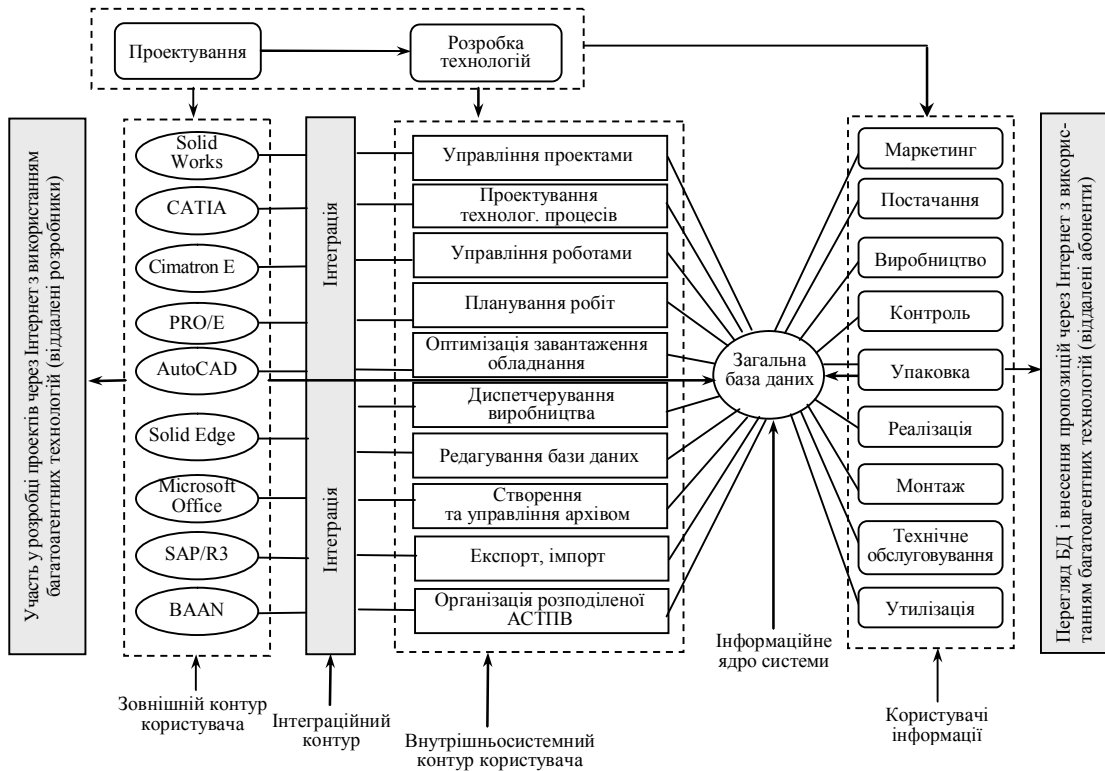


Рис. 6.11. Структурна схема АСПІВ

Основні функціональні можливості системи:

- управління організаційною структурою підприємства;
- розробка планових завдань і диспетчеризація робіт над проектами;
- управління конструкторськими проектами;
- управління конструкторською документацією (КД) у процесі проектування, у тому числі з використанням САD-систем;
- ведення бази даних (БД) матеріалів, стандартних, купівельних та інших виробів на проекти;
- ведення стандартів і нормативно-технічної документації в електронному вигляді;
- «розв'язування» виробів;
- проектування заготовок і ведення норм витрат матеріалів з урахуванням специфікованих норм;
- розробка «розцеховок»;
- розробка ТП з автоматичним наслідуванням усієї інформації, уведеної під час проектування виробу;
- ведення «наскрізних» і типових ТП;
- автоматичне формування технологічної документації (ТД);
- автоматичне формування карт замовлень оснастки і портфеля замовлень для конструкторського бюро оснастки;
- проектування карт ескізів з використанням САD-систем, у тому числі з застосуванням 3D-моделей і креслень, створених конструктором;
- створення і ведення БД технологічного призначення (обладнання, інструмент тощо);
- створення і ведення БД нормативно-технологічної документації, у тому числі інструкцій, типових операцій тощо;
- інтеграція даних з ERP-системами;
- оптимізація завантаження обладнання розширених виробництв;
- диспетчерування робіт, планів та управління завантаженням обладнання;
- ведення електронних архівів та архівів твердих копій КД і ТД.

Розглянемо вирішення основних завдань на етапах ТПВ (рис. 6.12).



Рис. 6.12. Вирішення завдань технологічної підготовки виробництва під управлінням PDM-системи SmarTeam

Робоче місце керівника має функціональність, яка дає можливість керувати розробкою проектів, переглядати документи, креслення, 3D-моделі з поворотом і розрізами без входження в CAD-системи, робити анотації документів «червоним олівцем», виконувати пошук інформації за атрибутами, ієрархічними і логічними зв'язками між об'єктами БД, установлювати дату закінчення робіт над документами, автоматично фіксувати початок запланованої роботи над інформацією та її закінчення. На робочому місці керівника може бути створено набори індивідуальних запитів, наприклад: «Що має бути виконано до заданої дати, але не виконано?» Робоче місце охоплює інтеграцію з однією із CAD-систем (SolidWorks, Cimatron E, AutoCAD, MTD, Inventor тощо). Отже, керівник одержує швидкий і зручний доступ до всіх створюваних на етапах технічної підготовки виробництва даних і документів про виріб. Фрагмент інформаційної моделі виробу наведено на рис. 6.13.

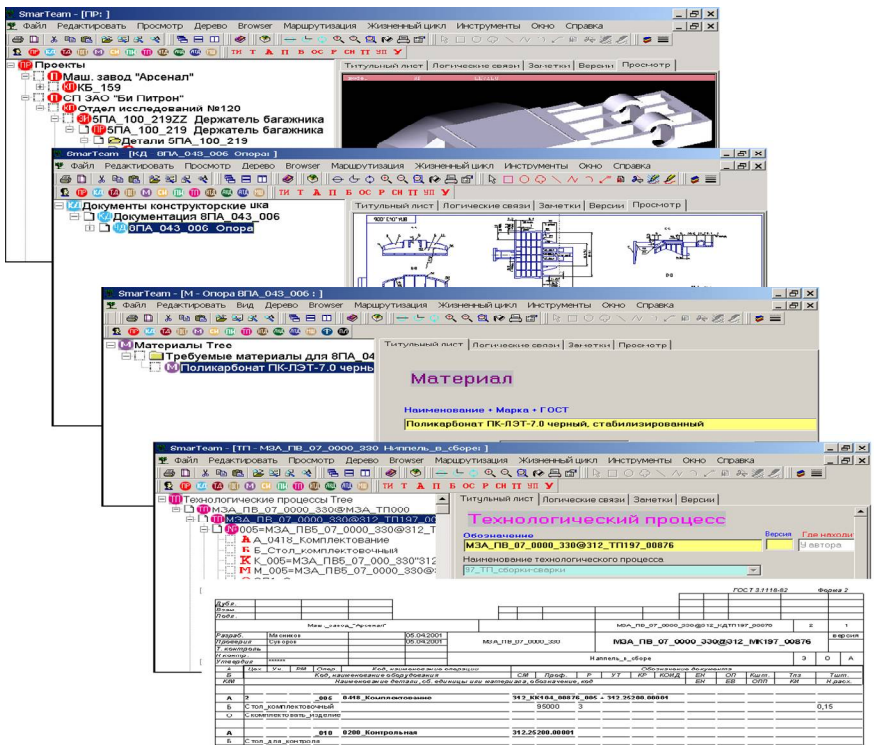


Рис. 6.13. Інформаційна модель проекту

Робоче місце конструктора має додаткову функціональність, що забезпечує створення 3D-моделей і конструкторської документації відповідно до вимог стандартів ЄСКД.

До цих засобів належать:

- оригінальна структура бази даних;
- програмне забезпечення, яке здійснює трансформацію структури проекту в CAD-системах у структуру проекту за ЄСКД;
- програми і методики, які забезпечують проектування в CAD-системах «великих» зборок;
- програми «розв'язування» виробів;
- програми формування і виведення конструкторської текстової документації;
- програми й методики управління базами даних стандартних виробів;
- забезпечення паралельної колективної роботи фахівців;
- проектування «згори вниз» із дворівневою деталізацією 3D-моделей;
- автоматичне управління структурою виробу за ЄСКД із дерева проекту CAD.

АСТПВ забезпечує також виведення всіх основних документів (специфікацій, відомостей специфікацій, відомостей матеріалів, відомостей купівельних виробів), «розв'язування» і підтримку життєвого циклу інформації та документації. Після узгодження і перевірки КД переміщується в архів і кожен документ одержує статус «Затверджений». При цьому в системі автоматично створюється «Архівна папка», у яку працівники архіву поміщують усі необхідні облікові дані по ЄСКД для контролю експлуатації цього документа в електронному вигляді.

Система дає змогу також створити загальний електронний архів підприємства. Підтримуються такі схеми створення електронного архіву виходячи з ГОСТ 2.501-88 та вимог компактного збереження і полегшення ручного пошуку оригіналів на паперових носіях:

- поформатно в порядку зростання позначень документів у межах кожного формату й коду підприємства-розробника (схема «1»);
- за зростанням позначень документів у межах виробу (проекту) без обліку форматів (схема «2»).

Обидві зазначені схеми збереження не відповідають структурі документації конструкторських і технологічних проектів, зазначеній у специфікаціях, тому PDM SmartTeam дозволяє крім схем збереження, зазначених вище, організувати збереження документації відповідно до структури конструкторських проектів, тобто в тій послідовності та в тому складі, в якому вони записані в специфікаціях проектів без сортування за форматами чи за зростанням позначень (далі схема «3»).

Наявність у БД структурованої інформації за складом проекту (виробу) і за складом ТП (тобто за схемою «3») забезпечує такі можливості:

- автоматичне формування специфікацій, відомостей специфікацій і відомостей купівельних виробів;
- автоматичне формування комплектів технологічної документації;
- передавання інформації проектів в автоматизовані системи управління виробництвом;
- розрахунки зведених трудових і матеріальних нормативів;
- автоматичне формування конструкторсько-технологічних специфікацій на вироби й замовлення.

Крім цього, передбачено функції, які дають змогу виконати аналіз рівнів стандартизації та уніфікації проектів й автоматичний аналіз тривалості технологічного процесу.

Склад виробів формується програмним шляхом, на основі дерева 3D-моделей (отриманого з CAD-системи) після його затвердження. Склад виробу може формуватися також при управлінні архіву за схемою «3». Якщо 3D CAD не використовується, а створення КД здійснюється на кульмані чи в 2D CAD, то склад виробу формують вручну.

Робочі місця технологів, які розробляють технологічні процеси, є системою проектування з можливістю запозичення раніше введеної інформації конструкторами, розцехувальниками, розраховувачами норм витрати матеріалів та іншими фахівцями, інформація яких використовується в ТП. Ці запозичення забезпечують механізми створення ієрархічних і логічних зв'язків між інформаційними об'єктами, що дає змогу подавати ТП у вигляді «павутини» посилань на необмежену кількість даних у межах усієї бази даних підприємства.

Інформація всіх технологічних процесів організовується за принципом групових ТП, тобто у вигляді двох складових — постійної та змінної частин. Постійну частину можна використати в будь-якому ТП на рівні будь-якого компонента ТП, таких як найменування операції, устаткування, оснастка, технічні вимоги, посиальні документи тощо. При запозиченні змінна частина інформації, наприклад номер цеху, трудомісткість, розряди робіт, розмірні зв'язки, кількість оснастки тощо, можуть набувати інших значень, щоб відобразити індивідуальність конкретного виробу і ТП.

Технологічний процес подається в системі у вигляді деревоподібної структури, вузлами якої є номери операцій і номери переходів. До складу цих об'єктів уводять найменування операцій, їхній зміст, устаткування та інші компоненти ТП. Приклад структури ТП наведено на рис. 6.14.

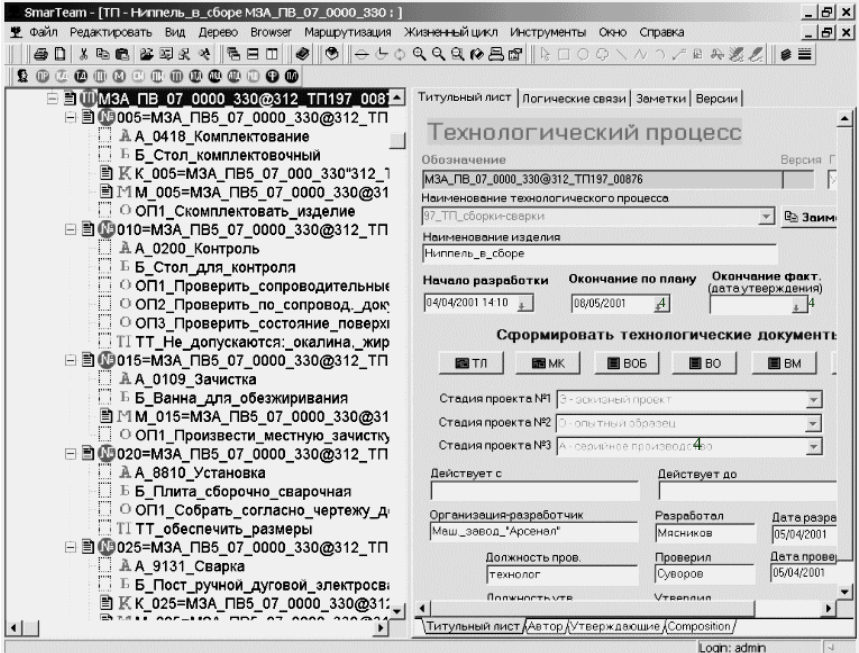


Рис. 6.14. Структура технологического процесса в АСТПВ

Технологічні процеси з різних видів обробки даного виробу можуть розроблятися паралельно, незалежно від загальної технологічної послідовності, але потім існуючий у системі механізм підтримки «наскрізних» технологічних процесів дає змогу об'єднати ці ТП у єдиний технологічний маршрут і автоматично вивести загальну маршрутну карту.

Бібліотеки найменувань і змістів операцій, устаткування, оснастки та інструменту, допоміжних матеріалів та інших компонентів ТП доступні за допомогою «гарячих клавіш» у межах усієї БД. Кожен новий компонент ТП, уведений будь-яким із технологів у «свій» ТП, автоматично додається у відповідну бібліотеку й може бути запозичений іншим технологом для нового ТП.

Текстова технологічна документація у необхідній формі та карти ескізів формуються автоматично. За запитом технолога на виведення необхідного технологічного документа в БД автоматично створюється паспорт цього документа, заповнюються всі поля паспорта та формується файл інформації у формі цього документа. Отриманий у такий спосіб документ можна перевірити, затвердити і здати у

електронний архів. Для друку карт ескізів у БД потрібно ввести файли ескізів, виконані в одній із САД-систем. Виведення на друк можливе за одним документом чи комплектами. Система підтримує стандарти ЄСТД, однак у системі є всі засоби для розробки програм виведення документації за будь-якою формою силами користувачів.

Робочі місця технологів-розробників міжцехових маршрутів, норм витрат матеріалів і трудових нормативів забезпечують можливість уведення відповідної інформації у відведені розділи бази даних з використанням усієї необхідної й раніше створеної іншими фахівцями інформації. Сформовані в такий спосіб документи можна перевірити, затвердити і здати в електронний архів. Для роботи з архівом ТД використовують функції, аналогічні функціям архіву КД.

У разі потреби спроектувати й виготовити оснастку чи інструмент технолог створює замовлення на її проектування, зазначаючи терміни проектування і відділ, який буде займатися розробкою. Система формує карту-замовлення на необхідну оснастку, після чого в портфелі замовлень підрозділу-проектувальника міститься замовлення на проектування оснастки. Робота над проектом оснастки виконується аналогічно роботі над проектом основного виробництва.

Якщо в ТП використовується устаткування з ЧПК, то технолог створює замовлення на проектування керуючих програм з обробки деталей. Підрозділ, що займається проектуванням керуючих програм, може використовувати геометричні моделі деталей, розроблені конструктором, чи моделі з попередніх операцій даного ТП.

Уся інформація, отримана в процесі проектування й ТПВ виробу, зберігається в БД й надалі може бути передана в системи управління виробництвом ERP-системою через спеціальні інтерфейси, що є в PDM-системі SmarTeam.

АСТПВ дає змогу вирішувати такі завдання управління ТПВ:

1. Управління проектами: управління роботами, процедурами й документами у складі проекту, контроль над виконанням проекту.
2. Планування і диспетчерування робіт.
3. Розподіл прав доступу до інформації між окремими учасниками проекту (відповідно до рольового розподілу).
4. Організація й ведення розподілених архівів конструкторської та технологічної документації (електронні архіви).
5. Управління розподіленим функціонуванням ТПВ розширених виробництв.
6. Управління завантаженням обладнання розширених виробництв.
7. Управління змінами в документації: контроль версій документів, ведення протоколу роботи з документами, листків реєстрації змін і повідомлень.

8. Фіксування стандартних етапів проходження документів, контроль проходження документів за етапами.

9. Інтеграція з CAD/CAM- та ERP-системами, їхніми додатками, які використовують розширені виробництва.

10. Контроль цілісності проектів.

11. Пошук необхідної інформації в проектах на підставі запитів тощо.

6.4. Оцінка економічної ефективності впровадження автоматизованих систем

Розглянемо методику оцінки економічної ефективності діяльності РВ від упровадження автоматизованих систем. Для цього розглянемо, з одного боку, вплив кожної автоматизованої системи на ефективність виробничих процесів, а з іншого — вплив засобів і методів впровадження АС. Так ми зможемо сформулювати задачу вибору оптимальних етапів впровадження АС, які забезпечують максимальний ефект їх використання.

Необхідно встановити, якими методами та засобами необхідно реалізувати АС, щоб загальний економічний ефект \dot{A}_c в розрахунку на один промисловий виріб був максимальним:

$$\dot{A}_c = \Delta \dot{I}^{\dot{A}\dot{N}} - (\zeta^i - \zeta^a) \rightarrow \max, \quad (6.1)$$

де $\Delta \dot{I}^{\dot{A}\dot{N}}$ — додатковий прибуток підприємства від упровадження АС за рахунок скорочення тривалості розробки технологічного проекту і термінів упровадження нового виробу:

$$\Delta \dot{I}^{\dot{A}\dot{N}} = \sum_i \sum_j j \left(\Delta T_{ij}^{AC} \cdot x_{ij} \right), \quad (6.2)$$

де $\Delta T_{ij}^{\dot{A}\dot{N}}$ — скорочення тривалості проходження i -го процесу j -м засобом за впровадження АС;

x_{ij} — керуюча змінна, що забезпечує вибір варіанта автоматизації;

$x_{ij} = 1$, якщо i -й процес автоматизується j -м засобом, $x_{ij} = 0$, якщо ні;

ζ^a — витрати на реалізацію процесів освоєння промислового виробу до впровадження АС, обчислюються за традиційними методами, які враховують специфіку кожного конкретного підприємства.

ζ — витрати на реалізацію процесів освоєння промислового виробу після впровадження АС, розраховуються так:

$$\zeta = \sum_i \sum_j (C_{ij}^{\delta i} + C_{ij}^{\delta i \acute{a}}) \delta_{ij} x_{ij}, \quad (6.3)$$

де $C_{ij}^{\delta i}$ — витрати на автоматизацію i -го процесу j -м способом (комплекс технічних і програмних засобів) за впровадження АС;

$C_{ij}^{\delta i \acute{a}}$ — витрати на виконання робіт з автоматизації i -го процесу j -м засобом;

T_{ij} — трудомісткість створення i -го процесу j -м засобом;

$x_{ij} = 1$, якщо i -й процес автоматизується j -м засобом, $x_{ij} = 0$, якщо ні;

за обмежень

$$\sum x_{ij} = 1. \quad (6.4)$$

Упровадження АС охоплює всі процеси виробничої діяльності кожного конкретного виробництва. Це є кінцевою метою впровадження сучасних САІС-технологій на підприємствах, головна мета яких — створення ІІС та повна автоматизація ЖЦВ у межах цього середовища. Проте ця мета може бути недосяжна за значних обмежень часових та фінансових ресурсів. У такому разі процес створення та впровадження АС можна розподілити на окремі етапи. Для кожного з них потрібно сформулювати своє завдання оптимізації за обмежень на часові та фінансові ресурси даного періоду.

Завдання полягає в тому, що потрібно визначити, для яких виробничих процесів розробки й освоєння промислових виробів має бути впроваджено АС з інформаційною інтеграцією на кожному етапі їх упровадження за умови, що загальний ефект від упровадження на даному етапі, за обмежених ресурсів $E_3^{\text{обм}}$, буде максимальним.

Цільова функція дорівнює різниці додаткового прибутку від скорочення тривалості процесу розробки проекту й освоєння нового промислового виробу за рахунок автоматизації певних етапів ЖЦВ та витрат на реалізацію цих процесів новими методами з використанням сучасних інформаційних технологій. Математично цільова функція має такий вигляд:

$$\hat{A}_\zeta^{i \acute{a} i} = \Delta \hat{I}^{\acute{A} \acute{N}} - (\zeta^i - \zeta^{\acute{a}}) \rightarrow \max, \quad (6.5)$$

за обмежень:

$$\sum_i \sum_j (x_{ij} \cdot C_{ij}^{\acute{a} i \delta}) \leq \zeta^{\acute{a} i i}, \quad (6.6)$$

де $i \in I$; I — множина процесів, що автоматизуються; $j(i) \subset J_i$; J_i — множина можливих засобів (варіантів) автоматизації процесів за впровадження АС; $C_{ij}^{\hat{a}i\delta}$ — вартість упровадження автоматизованих систем для i -го процесу j -м способом; $\zeta^{\hat{a}i\delta}$ — допустима величина витрат на впровадження автоматизованих систем на даному етапі створення ІС.

У загальному випадку вартість упровадження АС, ураховуючи формулу (5.3), розраховують за такою формулою:

$$C_{ij}^{\hat{a}i\delta} = \sum_i \sum_j (C_{ij}^{\delta i} + C_{ij}^{\delta i \hat{a}}) \delta_{ij}. \quad (6.7)$$

Обмеження під час автоматизації полягає в тому, що сума витрат на впровадження необхідних CAD/CAM/CAE- та PDM-систем має не перевищувати наявні фінанси підприємства.

Витрати на впровадження АС у загальному вигляді охоплюють: вартість ліцензій на програмне забезпечення, вартість технічного забезпечення (сервери для зберігання інформації, автоматизовані робочі місця, мережеве обладнання), вартість розробки інтерфейсів для прикладних програм та систем, вартість робіт щодо створення баз даних і наповнення інформацією систем, витрати на підготовку кадрів, підготовку стандартів підприємства тощо.

ВИСНОВКИ

У монографії представлена методологія побудови автоматизованих систем технологічної підготовки та методи управління ТПВ, які забезпечують створення розширених виробництв, що в цілому забезпечує підвищення ефективності промислового виробництва.

В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень отримано такі наукові та практичні результати:

1. Запропоновано принципи побудови АСТПВ, які базуються на процесах глобальної трансформації виробництва, можливостях сучасних інформаційних технологій та методологічному забезпеченні розробок автоматизованих систем. Встановлено ефективність використання розширених виробництв, сформовано сукупність наукових і технічних проблем побудови АСТПВ та методів управління ТПВ.

2. Запропоновано вимоги до інтегрованого інформаційного середовища ТПВ, що реалізується засобами PDM-системи, які забезпечують можливість ефективної роботи конструкторів, технологів та інших фахівців підприємства. Проведено аналіз організаційних аспектів побудови АСТПВ, визначено схему ефективної взаємодії фахівців підприємства та інжинірингових фірм, що забезпечують розробку та поставку інструментальних засобів (PLM-рішень). У результаті проведеного аналізу запропоновано схему поетапної побудови та впровадження АСТПВ, яка передбачає ряд послідовних і паралельних процедур впровадження CAD/CAM, CAE та PDM-систем. Розроблено структуру інтегрованої бази даних та складу інформаційних об'єктів розширених виробництв.

3. Запропоновано математичні моделі інформаційних об'єктів ТПВ, на основі яких розроблено методику побудови імітаційних моделей для завдань управління функціями ТПВ.

4. Розроблено математичні моделі процесу управління інформаційними потоками розподілених АСТПВ розширених виробництв та проведено математичне моделювання завантаження обладнання на підприємствах машинобудівної галузі.

5. Вирішено завдання оптимального управління функціями ТПВ в інтегрованому інформаційному середовищі автоматизованих систем, яка базується на методах теорії оптимального управління.

6. Побудовано загальну структуру інтегрованого інформаційного середовища ТПВ, яка ґрунтується на структуруванні моделі ТПВ як сукупності даних «продукт – процес – ресурс» і утворює методологічну основу для побудови архітектури та розробки компонентів АСТПВ.

7. Проведено дослідження з функціонального моделювання основних процесів ТПВ з розробкою правил деталізації UML діаграм і побудовою графіків виробничих завдань засобами PDM-систем, які дозволили проводити аналіз предметної галузі ТПВ, оптимізувати бізнес-процеси ТПВ та створює методологічну базу для переходу від функціональних моделей бізнес-процесів ТПВ у нотації UML до їх практичної реалізації в АСТПВ.

8. На основі аналізу форм представлення геометричних моделей виробів у CAD-системах розроблено інформаційну структуру 3D-моделі, в якій відображено характеристики, атрибути та властивості, необхідні автоматизованим системам, що забезпечує інтеграцію 3D-моделі з базами даних та знань, підвищує рівень автоматизації управління ТПВ, гнучкість створюваної АСТПВ.

9. Розроблено методику паралельного проектування формуючого оснащення та інструменту з використанням інтегрованих CAD-додатків, яка забезпечує як високий рівень автоматизації рішення проектних завдань, так і можливість колективного проектування.

10. Подальший розвиток отримали методи використання 3D-моделей елементів системи «верстат—пристрій—інструмент—деталь» під час вирішення завдань розробки ОТП і КП для верстатів із ЧПК. Розроблено математичні моделі операцій обробки деталі та управління процесом обробки на верстатах із ЧПК. Запропоновано структурну схему системи управління процесом технологічного проектування та обробки на верстатах з ЧПК на основі інформації автоматизованих систем та змін у 3D-моделі.

11. Розроблено методику управління конструкторськими та технологічними проектами в інтегрованому інформаційному середовищі АСТПВ, на основі якої запропоновано новий метод автоматизації технологічного проектування, що дозволяє розв'язати проблему дублювання даних та забезпечує автоматичну інтеграцію результатів проектування в інтегроване інформаційне середовище ТПВ.

12. Розроблено алгоритм управління бізнес-процесами з проектування і виготовлення оснащення в умовах кооперації, який викорис-

товує наявність спеціальних програмних засобів, що вирішують завдання автоматизації прийому та оцінки замовлень на проектування оснащення. Запропоновано схему оптимізації розміщення замовлень на проектування і виготовлення оснащення серед учасників розширеного виробництва, яка забезпечує ефективність управління процесом обробки інформації та прийняття рішень.

13. Запропоновано метод інтеграції АСТПВ із системами управління виробництвом, що полягає в підготовці необхідної інформації для ERP-систем засобами спеціально розробленого додатка PDM-системи, та методика підвищення сумарної ефективності процесів ТПВ і процесів виробництва за рахунок інтегрованого розв'язання задач проектування ТП та оптимізації завантаження устаткування при спільному функціонуванні АСТПВ і ERP-систем.

14. Запропоновано метод розподіленого функціонування АСТПВ у відкритому інформаційному середовищі на основі застосування багатогентних експертних технологій під час організації розширеного виробництва, що здійснює OEM-діяльність. Метод покладено в основу розробки багатоагентної експертної системи в інформаційному середовищі розподілених АСТПВ.

15. Запропоновано нові архітектурні рішення технічних засобів розширених виробництв трьох рівнів, котрі можуть бути покладені в основу побудови як розподілених АСТПВ, так і інших автоматизованих систем.

16. Розроблені методи управління ТПВ та методологія побудови АСТПВ дозволили запропонувати типову методику побудови розширених виробництв, яка може використовуватися на різних підприємствах машинобудування, приладобудування та інших галузей промисловості України.

17. Представлено функціональні можливості промислової експлуатації розробленої АСТПВ, приклади управління функціями ТПВ в інформаційному середовищі PDM-системи та ін.



ЛІТЕРАТУРА

1. Балабуев П. В. Глобальная информатизация — прорыв информационных (компьютерных) технологий // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 64—83.
2. Евгеньев Г. Б. Системология инженерных знаний. — М.: Изд-во МГТУ им. И. Э. Баумана, 2001. — 376 с.
3. CIMdata Reports Continuing Strong PLM Market Growth // ANN ARBOR. — Michigan, 2005. — P. 47—54.
4. Кривов Г. А. Эффективно организованная электронная технологическая среда — основа компьютерного проекта самолета // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 327—398.
5. Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства / Пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. — М.: Мир, 1987. — 528 с.
6. Энгельке У. Д. Как интегрировать САПР и АСТПП. Управление и технология / Пер. с англ. под ред. Д. А. Корягина. — М.: Машиностроение, 1990. — 320 с.
7. Business System Planning // Information Systems Planning Guide. — Atlanta: IBM Corp. GE 20-0527-4, 1984. — 146 p.
8. Очердько С. А. Глобальная трансформация промышленного бизнеса и новая концепция управления жизненным циклом изделия // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 626—646.
9. Computer Integrated Manufacturing // IBM CIM Architecture. Principles for Implementation: Data Integration. — Milfort: IBM Corp. CT06460, 1993. — 56 p.
10. Рынок PLM растет и развивается: обзор по материалам CIMdata // CAD/CAM/CAE Observer. — 2003. — № 2. — С. 4—8.
11. Grady J. O. System integration. — USA, Florida: CRC Press, 1994. — 256 p.

12. Искусственный интеллект: Применение в интегрированных производственных системах / Пер. с англ. под ред. С. Н. Дашенко, Е. В. Левнера. — М.: Машиностроение, 1991. — 544 с.

13. *Смирнов А. В., Шереметов Л. Б.* Многоагентная технология проектирования сложных систем // Автоматизация проектирования. — 1998. — № 3. — С. 33—39.

14. *Смирнов А. В., Шереметов Л. Б.* Многоагентная технология проектирования сложных систем // Автоматизация проектирования. — 1999. — № 1. — С. 21—27.

15. *Schuh G., Millarg K., Goransson A.* Virtuelle Fabrik: neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke. — Munchen, Wien: Carl Hanser Verlag, 1998. — 117 p.

16. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении: Учеб. пособие / Т. А. Альперович, В. В. Баранов, А. Н. Давыдов и др.; Под ред. Б. И. Черпакова. — М.: ГУП «ВИМИ», 1999. — 512 с.

17. *Тарасов В. Б.* Предприятия XXI века: проблемы проектирования и управления // Автоматизация проектирования. — 1998. — № 4. — С. 15—21.

18. *Мухин А. В.* Новая концепция организации промышленного производства // Промышленность России. — 2000. — № 6 (38). — С. 33—41.

19. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Миляев, Б. С. Падун; Под ред. С. П. Митрофанова. — Л.: Машиностроение, 1987. — 352 с.

20. *Шнур Г., Краузе Ф. Л.* Автоматизированное проектирование в машиностроении / Пер. с нем. под ред. Ю. М. Соломенцева, В. П. Виденко. — М.: Машиностроение, 1988. — 648 с.

21. *Горанский Г. К., Бендерова Э. И.* Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. — М.: Машиностроение, 1981. — 456 с.

22. Автоматизация технологической подготовки заготовительного производства / Г. П. Гырдымов, Л. И. Зильбербург, И. Д. Савченко, В. Н. Шалыгин. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. — 350 с.

23. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении / Р. А. Алик, В. И. Бородянский, А. Г. Бурин и др.; Под ред. Р. А. Алика. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. — 319 с.

24. *Гельмерих Р., Швиндт П.* Введение в автоматизированное проектирование / Пер. с нем. под ред. В. Н. Фролова. — М.: Машиностроение, 1990. — 176 с.

25. *Hoda A.* ElMaraghy Evolution and Future Perspectives of CAPP, Annals of the CIRP. — 1993. — Vol. 42, № 2. — P. 739—749.

26. *Bouzeghoub M.* Using Expert Systems in Schema Design // Conceptual Modelling, Databases and CASE: An Integrated View of Information Systems Development. — 1992. — P. 465—487.

27. Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков; Под ред. А. Пальчикова. — М.: Анахарсис, 2002. — 304 с.

28. *Норенков И. П., Кузьмик П. К.* Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. — М.: Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 320 с.

29. CALS в авиастроении / А. Г. Братухин, Ю. С. Давыдов, Ю. С. Елисеев и др. — М.: Изд-во МАИ, 2000. — 304 с.

30. Интеграция данных об изделии на основе ИПИ / CALS-технологий. — М.: Европ. центр по качеству, 2002. — Ч. 1. — 174 с.

31. *Martin J.* Information Engineering, Book II, Planning and Analysis. — N. Y.: Prentice—Hall, 1990. — 540 p.

32. *O'Connor A. D.* Successful Strategic Information Systems Planning // Journal of Information Systems. — 1993. — № 3 (2). — P. 71—83.

33. *S. Vajna u.a.* Interdisziplinäres und neutrales CIM-Modell // Zwf. — 2001. — № 10. — P. 561—565.

34. *Volck R.* Entscheidungsverhalten bei der CAD-Einführung // CAD-CAM Report. — 1995. — № 10. — P. 89—97.

35. *Grant J., Cullen R.* Creation of a «Shared» Design Environment, Using 3D Product Modelling and Visualisation Technologies // 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding. — Yokohama: ICCAS'97, 1997. — P. 261—284.

36. *Alex G., Alex S.* A Formal Model for Oriented Design of Shipbuilding Database // 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding. — Yokohama: ICCAS'97, 1997. — P. 173—188.

37. *Jari S.* CALS. — Stockholm: Magnusson Torbjorn Holm., 1996. — 182 p.

38. *Smith J. M.* CALS. An introduction to CALS: The Strategy and the Standards. — Dublin: The Cromwell Press Ltd, 1990. — 143 p.

39. Handbook of Life Cycle Engineering: Concept, Tools and Techniques / Edited by A. Molina, J. M. Sanchez, A. Kusiak. — London: Chapman & Hall, 1998. — P. 37—59.

40. *Chung L., Katalagarianos P.* From Information System Requirements to Designs: A Mapping Framework // Information Systems. — France, 1991. — № 6 (4). — P. 429—461.

41. *Kahu G.* Some Strategical Aspects and Proposals Concerning Information Technology Development in Romanian Shipbuilding Industry. — International Conference on Informational and Communication Technology in black Sea Area-Galati, November 15—17, 1999. — 18 p.

42. *Barkmeyer E. J., Feeney A. B., Denno P., Flater D. W.* Concepts for Automating Systems Integration. — National Institute of Standards and Technology, February 2003. — 90 p.

43. *Дмитров В. И., Макаренков Ю. М.* CALS-стандарты // Автоматизация проектирования. — 1997. — № 2. — С. 17—25.

44. *Дмитров В. И., Макаренков Ю. М.* Аналитический обзор международных стандартов STEP, P_LIB, MANDATE // Информационные технологии. — 1996. — № 1. — С. 6—11.

45. *Дмитров В. И., Макаренков Ю. М.* Аналитический обзор международного стандарта ISO 13584 (P_LIB) // Автоматизация проектирования. — 1997. — № 3. — С. 15—18.

46. Industrial Automation Systems and Integration. PARTS LIBRARY. ISO TC 184/SC4/WG2 ISO CD 13584 — 1. — 1995. — 33 p.

47. *Дмитров В. И., Макаренков Ю. М.* Аналитический обзор международных стандартов ISO 10303 STEP // САПР и графика. — 1997. — № 11. — С. 6—11.

48. *Овсянников М. В., Шильников П. С.* Глава семьи информационных CALS-стандартов ISO 10303 STEP // САПР и графика. — 1997. — № 11. — С. 76—82.

49. *Danner William F.* Developing Aps using the architecture and methods of STEP: Fundamentals of the STEP methodology // ISO TC184/SC4/WG10. — 1997. — January. — № 87. — P. 10—33.

50. ISO 7372:1993. Trade data interchange — Trade data elements directory (Endorsement of document: United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Trade Facilitation, Trade Data Elements Directory (TDDED)). — Geneva: International Organization for Standardization, 1993. — Vol.1, № 7. — P. 39—44.

51. ISO 8879:1986(E). Information processing — Text and Office Systems — Standard Generalized Markup Language (SGML). — Geneva: International Organization for Standardization, 1986. — P. 71—93.

52. *Choi S. I.* CAD/CAM Systems for Halla Shipyard // Papers presented for the KCS User's Meeting 1996. — Newcastle upon Tyne. — 1996. — 18 p.

53. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе и др.; Под ред. Н. М. Капустина. — М.: Высш. шк., 2004. — 415 с.

54. *Kestelyn J.* The Future of Enterprise Applications // Intelligent Enterprise. — 2003. — April. — P. 27—39.

55. *Tu Y.* Production Planning and Control in a virtual Scheduling and Control in a Virtual Scheduling. — Computers in Industry, 1997. — Vol. 34. — P. 271—283.

56. *Yamato H., Koyama T., Fushimi A., Tanaka Y.* GPME Extension on the Network for the Virtual Enterprise // 9th International Conference on

Computer Applications in Shipbuilding. — Yokohama: ICCAS'97, 1997. — Vol. 2. — P. 461—474.

57. Кошкин К. В., Петриненко И. В. Организация виртуальных производств в судостроении на основе GPME // Вестник Херсонского государственного технического университета. — Херсон: ХГТУ, 2000. — № 1 (7). — С. 217—221.

58. Кузнецов П. М. Многообъектное технологическое проектирование с интеллектуальным управлением в распределенных производственных системах: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2001. — 32 с.

59. Куликов Д. Д. Моделирование объектов и процессов в автоматизированных системах технологической подготовки производства в машино- и приборостроении: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Л.: ЛИТМО, 1993. — 43 с.

60. Судов Е. В., Левин А. И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. — М.: НИЦ CALS «Прикладная логистика», 2002. — 130 с.

61. Ковалевский В. Б., Стрелков П. В. Внедрение программных систем: миф или вынужденная необходимость? // CAD/CAM/CAE Observer. — 2004. — № 1. — С. 22—26.

62. Nilsson P.O. The Digital Product Model — a Valuable Tool for Shipbuilders and Shipowners // Scandinavian Yearbook of Maritime Technology. — 2000. — P. 85—87.

63. Гавриш А. П., Ефимов А. И. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства. — К.: Техніка, 1982. — 215 с.

64. Жук К. Д., Тімченко А. А., Родіонов А. А. Побудова сучасних систем автоматизованого проектування. — К.: Наук. думка, 1983. — 247 с.

65. Жук К. Д. Методология системного проектирования. — К.: Знание, 1979. — 28 с.

66. Норенков И. П. Подходы к проектированию автоматизированных систем // Информационные технологии. — 1988. — № 2. — С. 2—9.

67. Павлов В. В. Системы человек—машина. Проблемы и синтез. — К.: Вища шк., 1987. — 54 с.

68. Петренко А. И., Семенов О. И. Основы образования систем автоматизированного проектирования. — К.: Высш. шк., 1985. — 294 с.

69. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посіб. — К.: Вища шк., 1993. — 414 с.

70. Скурихин В. И. Принципы организации и исследование некоторых классов автоматизированных систем управления и обработки данных: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — К., 1969. — 85 с.

71. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация технологических процессов. — М.: Наука и техника, 1979. — 264 с.

72. *Челищев Б. Е., Боброва И. В.* Автоматизированные системы технологической подготовки производства. — М.: Энергия, 1975. — 136 с.
73. *Колосов В. Г., Туккель И. Л.* От мобилизационного к инновационному развитию предприятий // Инновации в науке, образовании и производстве. — Труды СПб ГПУ. — 2002. — № 484. — С. 6—17.
74. *Глоба Л. С.* Інтелектуальна комп'ютерна технологія конструкторсько-технологічної підготовки механооброблюючого виробництва: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — К.: НТУУ «КПІ», 1996. — 47 с.
75. *Забаица В. Ф.* Программные информационные комплексы в технологическом проектировании изделий авиационной техники // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 405—424.
76. *Блинцов В. С., Кошкин К. В., Марченко А. Г.* Организация взаимодействия проектов виртуальных производств в судостроении: 36. наук. пр. УДМТУ. — Миколаїв: УДМТУ, 2000. — № 3 (369). — С. 148—152.
77. *Кривов Г. А.* Технология самолетостроительного производства. — К.: КИИЦ, 1997. — 459 с.
78. *Ямпольский Л. С., Калинин О. М., Ткач М. М.* Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства. — К.: Высш. шк., 1987. — 271 с.
79. *Глоба Л. С., Остафьев В. А., Жданов Б. И.* Проектирование интеллектуальных компьютерных технологий для технологической подготовки производства. — К.: НАУКМА, 1996. — 198 с.
80. *Киселев Г. А., Гуленков В. Ю.* Гибкие производственные системы в машиностроении. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 288 с.
81. *Громов А. И., Каменнова М. С.* Идеологические стандарты управления вчера, сегодня, завтра // Информационные технологии в проектировании и производстве. — 2001. — № 3. — С. 41—44.
82. *Зворыкин К. О.* Методологические аспекты формирования информационного базиса компьютерного проектирования и оценки конструкторско-технологических решений // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 424—435.
83. *Павленко П. Н., Заклевский Д. Е.* Внедрение CALS-технологий в промышленность Украины // Оборудование и инструмент для профессионалов. — 2003. — № 8 (43). — С. 58—61.
84. *Луцаев В. В.* Проектирование программных средств: Учеб. пособие для вузов — М.: Высш. шк., 1990. — 343 с.
85. *Schach S. R.* Software Engineering, 2nd Ed. — Irwin: Homewood, IL. — 1993. — 442 p.

86. *Davis A. M., Bersoff E. H., Comer E. R.* A Strategy for Comparing Alternative Software Development Life Cycle Models // *IEEE Transactions on Software Engineering*. — October 1988. — V. 14. — P. 1453—1461.
87. Department of Defense. Defense Systems Software Development. — DOD-STD-2167A. — 21 February. — 1986. — 127 p.
88. SSADM: Directory of Services. — 1995/6. — ISUG: Waterlooville, 1995. — 297 p.
89. ГОСТ 34.201—89. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. — М.: Госстандарт СССР, 1989. — 35 с.
90. *Воронин Г. П., Якимов О. С.* Нормативное обеспечение в области CALS // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 12 — 24
91. ДСТУ ISO/IECTR 15504—1:2002. Інформаційні технології. Оцінювання процесів життєвого циклу програмних засобів. Концепції та вступна настанова. — Чинний від 01.10.2003. — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — Ч. 1. — 12 с.
92. ДСТУ ISO/IECTR 15504—2:2002. Інформаційні технології. Оцінювання процесів життєвого циклу програмних засобів. Еталонна модель процесів та потужності процесу. — Чинний від 01.10.2003. — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — Ч. 2. — 33 с.
93. *Лунав В. В., Поманов А. И.* Оценка затрат на разработку программных средств. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 217 с.
94. *Hwang C., Jooh K.* Multiple Attribute Decision Making Methods and Appl. — N.J.: Spriger-Verlag, 1981. — P. 47—54.
95. *Petroski H.* To Engineer is Human. — N. Y.: St. Martin's Press, 1985. — 73 p.
96. *Zilles S.* Types, Algebras and Modelling, On Conceptual Modeling: Perspectives from Artificial Intelligence, Databases and Programming Languages. — New York: Springer — Verlag., 1984. — 442 p.
97. *Steiner J.* Zur Schnittverschärfung in der Gemischtganzzahligen Optimierung // 21 Int. Wiss. Kollg. Techn. Hochsch. — Ilmenau, 1976. — P. 19—21.
98. *Bossa J. B.* MegaLog: a Programming Platform for Constructing Information Systems. Conceptual Modelling, Databases and CASE // An Integrated View of Information Systems Development. — 1992. — P. 269—285.
99. *Loucopoulos P.* Conceptual Modelling // Conceptual Modelling, Databases and CASE: An Integrated View of Information Systems Development. — N. Y.: John Wiley & Son, 1992. — P. 1—26.

100. *Смирнов А. В., Юсупов Р. М.* Технология параллельного проектирования: основные принципы и проблемы внедрения // Автоматизация проектирования. — 1997. — № 2. — С. 50—55.
101. *Fitzerald B.* Formalised Systems Development Methodologies: A Critical Perspective // Information Systems. — 1996. — № 6 (1). — P. 3—23.
102. *Соколов В. П., Цырков А. В.* Математическое, методическое и организационное обеспечение технологической подготовки производства // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 475—501.
103. ГОСТ 14.417-81. ЕСТПП. Проектирование автоматизированное. Входной язык технологического проектирования. Язык описания детали. — М.: Госстандарт, 1983. — 162 с.
104. Р 50-34-87. САПР. Типовые методы геометрического моделирования объектов проектирования. — М.: Госстандарт, 1988. — 111 с.
105. РД 50-446-83. САПР. Язык представления графической и текстовой информации. — М.: Госстандарт, 1987. — 22 с.
106. *Duncan W. R.* A Guide to the Project Management. Body of Knowledge. — USA: Project Management Institute, 1996. — 176 p.
107. *Назаретов В. М., Ким Д. П.* Робототехника и гибкие автоматизированные производства // Техническая имитация интеллекта. — М.: Высш. шк., 1982. — 144 с.
108. *Лесников Е.* CATIA V5 — настоящее и перспективы // CAD/CAM/CAE Observer. — 2004. — № 1. — С. 18—20.
109. *Уено Х., Кояма Т.* Представление и использование знаний. — М.: Мир, 1989. — 218 с.
110. *Марка Д., Мак-Гоуэн К.* Методология структурного анализа и проектирования: Пер. с англ. — М.: МетаТехнология, 1993. — 240 с.
111. Р50.1.028-2001. Методология функционального моделирования. — М.: Госстандарт России, 2000. — 47 с.
112. *Окулевский В. А.* Функциональное моделирование — методологическая основа реализации процессного подхода. — М., 2001. — 30 с.
113. *Кватрани Т.* Rational Rose 2000 и UML. Визуальное моделирование: Пер. с англ. — М.: ДМК, 2001. — 176 с.
114. *Семенов А. С.* Информационные технологии: объектно-ориентированное моделирование. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 2001. — 68 с.
115. *Клир Дж.* Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1990. — 544 с.
116. *Зиндер Е. З.* Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг // Системы управления базами данных. — 1995. — № 4. — С. 37—49.

117. *Йордан Э., Аргила К.* Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании. — М.: ЛОРИ, 1999. — 264 с.
118. *Жук К. Д., Тимченко А. А., Доленко Т. И.* Исследование структуры и моделирование логико-динамических систем. — К.: Наук. думка, 1975. — 197 с.
119. *Шеннон К.* Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 410 с.
120. *Михалевич В. С., Волкович В. Л.* Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. — М.: Наука, 1982. — 280 с.
121. *Hammer M., Champy J.* Reengineering the Corporation a Manifesto for Business Revolution. — New York: HarperCollins, 1993. — 273 p.
122. *Ойхман Е. Г., Попов Э. В.* Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии. — М.: Финансы и статистика, 1997. — 336 с.
123. *Робсон М., Уллах Ф.* Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов: Пер. с англ. — М.: Аудит «ЮНИТИ», 1997. — 224 с.
124. *Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А.* Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ. — М.: ДМК, 2000. — 432 с.
125. *Якобсон А., Буч Г., Рамбо Дж.* Унифицированный процесс разработки программного обеспечения. — СПб.: Питер, 2002. — 496 с.
126. CALS (поддержка жизненного цикла продукции): Руководство по применению / М-во экономики РФ. НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»; ГУП «ВИМИ», 1999. — 44 с.
127. *Никитин А., Дмитриев С.* PDM в вопросах и ответах // САПР и графика. — 2003. — № 5. — С. 12—15.
128. Collaborative Product Definition management (CPDm): An Overview of a Collaborative Approach to Managing the Product Definition Lifecycle. — 2001. — P. 30—42.
129. *Бабак В. П., Павленко П. М.* Методика створення розширених промислових виробництв // Технологические системы. — 2005. — № 2. — С. 42—51.
130. *Конвисар Е.* Организационные аспекты выбора САПР // САПР и графика. — 2004. — № 5. — С. 30—34.
131. *Павленко П. М.* Стратегія використання автоматизованих систем технічної підготовки виробництва на промислових підприємствах України // Стратегія економічного розвитку України: Наук. зб. — Вип. 1 (8). — К.: КНЕУ, 2002. — С. 210—217.
132. *Голев В.* Три составляющие части САПР предприятия: аппаратное обеспечение // САПР и графика. — 2000. — № 11. — С. 3—5.

133. *Павленко П. Н.* Методика анализа и выбора современных систем CAD/CAM/CAE // Мир техники и технологии. — 2002. — № 6. — С. 48—50.

134. *Бабак В. П., Павленко П. М.* Проблемы внедрения CALS-технологий у промышленности та освіти України // Матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф. «Інформаційно-діагностичні системи» (ABIA 2003). — К.: НАУ України, 2003. — Т. 1. — С. 11.127—11.129.

135. *Буч Г.* Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. — М.: Конкорд, 1992. — 519 с.

136. *Лешек А., Мацяшек В.* Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML: Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. — 432 с.

137. *Леоненков А. В.* Самоучитель UML. — СПб.: BHV-Петербург, 2002. — 304 с.

138. *Павленко П. Н.* Разработка и внедрение компьютеризированной технологической службы КОМТЕС // Производственно-технический опыт. — М.: ЦНТИ, 1989. — № 11. — С. 29—31.

139. *Павленко П. Н., Яблочников Е. И.* Техническая подготовка производства в едином информационном пространстве // Оборудование и инструмент для профессионалов. — 2004. — № 4 (51). — С. 30—32.

140. *Павленко П. Н., Пикула С. И.* Сквозная комплексная автоматизация технической подготовки производства // Материалы межвуз. науч.-практ. конф. «Проблемы и направления использования САПР в учебном процессе и автоматизация проектно-конструкторских работ современных производств». — Кривой Рог: Криворож. техн. ун-т, 1999. — С. 285—288.

141. Концепция применения CALS-технологий на машиностроительном заводе (МЗ). — М.: НИЦ «Прикладная логистика», 2001. — 37 с.

142. *Бродский Л. Л., Рыбаков А. В., Шептунов С. А.* Возможности информационных технологий по управлению жизненным циклом разработки и изготовления наукоемкого изделия в машиностроении // CAD/CAM/CAE Observer. — 2003. — № 3. — С. 77—82.

143. *Пономарев В. М.* Системное проектирование интегрированных производственных комплексов. — Л.: Машиностроение, 1986. — 319 с.

144. *Артюшин Л. М., Машков О. А., Сивов Н. С.* Теория автоматического управления. — К.: КИВВС, 1995. — 628 с.

145. *Barker R.* CASE Method. Entity-Relationship Modeling. — Addison-Wesley Publishing, 1990. — 212 p.

146. *Климов В. Е., Клишин В. В.* Реинжиниринг процессов проектирования и производства // Автоматизация проектирования. — 1996. — № 1. — С. 37—41.

147. *Месарович М., Такахара И.* Общая теория систем. Математические основы. — М.: Мир, 1978. — 310 с.
148. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования / Г. Г. Куликов, А. Н. Набатов, А. В. Речкалов и др. — Уфа: УГАТУ, 1998. — 222 с.
149. *Павленко П. М.* Формалізація процесів управління в інформаційному середовищі автоматизованих систем виробничого призначення // Вісн. Черкас. держ. технол. ун-ту. — 2004. — № 4. — С. 122—127.
150. *Хинчин А. Я.* Работы по математической теории массового обслуживания. — М.: Физматгиз. — 1963. — 150 с.
151. *Васуленко П. П.* Математическое моделирование производственных процессов. — М.: Наука, 1964. — 364 с.
152. *Мудров В. И.* Очередь с нетерпеливыми клиентами и переменным временем обслуживания, линейно зависящим от времени пребывания клиента в очереди // Проблемы кибернетики. — 1961. — № 5. — С. 31—37.
153. *Михалевич В. С.* Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений. — К.: Наук. думка, 1977. — 178 с.
154. *Подиновский В. В., Гаврилов В. М.* Оптимизация по последовательно применяемым критериям. — М.: Советское радио, 1975. — 187 с.
155. *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.
156. *Павленко П. Н., Руденко П. А., Затворницкий С. Н.* Метод диалоговой структурно-параметрической оптимизации технологического проектирования // Межреспубл. межвед. науч.-техн. журн. «Технология и автоматизация машиностроения». — К.: Техніка, 1992. — Вып. 48. — С. 35—40.
157. *Шаумян Г. А., Попов Л. А.* Производительность обрабатывающих центров // Изв. ВУЗов СССР. Сер. машиностр. — 1972. — № 2. — С. 116—119.
158. *Пропой А. И.* Элементы теории оптимальных дискретных процессов. — М.: Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1973. — 256 с.
159. *Гихман И. Г., Скороход А. В.* Управляемые случайные процессы. — К.: Наук. думка, 1977. — 250 с.
160. *Прокофьев Г. И.* Ранние стадии создания продукции. — СПб.: Изд-во СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. — 71 с.
161. *Бабак В. П., Павленко П. М.* Розробка та впровадження віртуальних виробництв на базі CALS-технологій // Матеріали IV Міжнар.

наук.-техн. конф. «Інформаційно-вимірювальні системи» (ABIA 2002). — К.: НАУ України, 2002. — Т.1 — С. 11.5 — 11.6

162. *Ширяев Н.* Использование систем PDM: проблемы и преимущества // САПР и графика. — 1999. — № 7. — С. 65—70.

163. Инструментарий ARIS: методы. — М.: Весть-метатехнология, 2000. — 206 с.

164. *Павленко П. Н., Дмитриев Н. М.* Современные формы технической подготовки производства // Оборудование и инструмент для профессионалов. — 2004. — № 6 (52). — С. 62—64.

165. *Хорафас Д., Легг С.* Конструкторские базы данных: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с.

166. *Павленко П. Н., Руденко П. А., Беляев Н. М.* Образование унифицированных конструктивно-технологических элементов деталей в САПР ТП механической обработке // Известия ВУЗов. — М.: Машиностроение, 1990. — № 3. — С. 120—123.

167. *John MacKrell.* Supporting Collaborative Product Definition via Scalable, Web-Based PDM. — Prepared by CIMdata, Inc. — 2000. — P. 17—43.

168. Автоматизация процессов подготовки авиационного производства на ЭВМ и оснащение с ЧПУ / В. А. Вайсбург, Б. А. Медведев, А. Н. Бакумский и др. — М.: Машиностроение, 1985. — 216 с.

169. *Бабак В. П., Павленко П. Н., Пикула С. И.* Комплексная автоматизация технической подготовки производства // Вісн. Київ. міжнар. ун-ту цив. авіації. — 1999. — № 2. — С. 92—95.

170. *Пуховский Е. С., Мясников Н. Н.* Технология гибкого автоматизированного производства. — К.: Техніка, 1989. — 208 с.

171. *Павленко П. Н., Зильбербург Л. И., Пелипенко А. Б.* CAD/CAM в машиностроении. Сквозная автоматизация технической подготовки производства // Рос. науч.-техн. журн. «Инструмент». — СПб., 1998. — № 7. — С. 4—6.

172. Автоматизація технічної підготовки виробництва / П. М. Павленко, Є. І. Яблочников, Ю. А. Буренников, П. Г. Козлов; Під ред. П. М. Павленка: Навч. посіб. — Вінниця, 2005. — 108 с.

173. *Павленко П. Н., Пелипенко А. Б.* Новые интегрированные решения для повышения производительности технической подготовки производства // Науч.-техн. журн. «Мир техники и технологий». — Харьков, 2002. — № 10. — С. 62—66.

174. *Павленко П. Н., Галена В. Н.* Современные технологии технической подготовки инструментальных производств // Оборудование и инструмент для профессионалов. — 2004. — № 8 (54). — С. 20—23.

175. *Павленко П. Н., Зильбербург Л. И., Яблочников Е. И.* CAD/CAM Simatрон 90 — современная система для технической подготовки производства. — К.: Общество «Знание Украины», 1993. — 27 с.

176. *Гребеников А. Г., Кривцов В. С.* Интегрированные технологии проектирования самолетных конструкций // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. — К.: Техніка, 2001. — С. 154—177.

177. *Semantics and Verification of Object—Role Models / Van Bommel P., Hofstede A.H.M., et. al.* // Information Systems. — 1991. — № 16 (5). — P. 471—495.

178. *Гырдымов Г. П., Молочник В. И., Гольдштейн А. И.* Проектирование постпроцессоров для оборудования гибких производственных систем. — Л.: Машиностроение, 1988. — 232 с.

179. *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.

180. *Пелипенко А. Б.* Исследование и разработка методов решения задач конструкторско-технологической подготовки производства машино- и приборостроения в условиях применения САД/САМ-систем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: ГИТМО (ТУ), 1998. — 33 с.

181. *Павленко П. Н., Руденко П. А., Руденко Н. И.* Классификация задач структурного синтеза в гибких производственных системах // Межреспубл. межвед. науч.-техн. журн. «Вестник Киевского политехнического института». — К.: Техніка, 1989. — Вып. 26. — С. 6—10.

182. *Верников Г. А.* Стандарт MRP-II. Структура и основные принципы работы систем промышленного планирования ресурсов // READ ME. — 2000. — № 3. — СС. 11—14, 19—21.

183. *Keller K, Erik L.* Enterprise Resource Planning. The changing application model // Gartner Group, February 5, 1996. — 8 p.

184. *Павленко П. Н., Младинов С. Д.* ERP-система Technoklass — успешное решение проблем управления промышленным предприятием // Науч.-техн. журн. «Мир техники и технологий». — Харьков, 2002. — № 7. — С. 66—67.

185. *Дмитров В. И.* CALS как основа для проектирования виртуальных предприятий // Автоматизация проектирования. — 1997. — № 5. — С. 12—19.

186. *Поспелов Д. А.* Многоагентные системы — настоящее и будущее // Информационные технологии и вычислительные системы. — 1998. — № 1. — С. 14—21.

187. *Поспелов Г. С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. — М.: Наука, 1988. — 280 с.

188. *Лорьер Ж. Л.* Системы искусственного интеллекта. — М.: Мир, 1991. — 568 с.

189. Transformation of Database Populations and Operations from the Conceptual to the Internal Level / Van Bommel P., Kovach G., et. al. // Information Systems. — 1994. — № 19 (2). — P. 175—191.
190. Энрю А. Искусственный интеллект. — М.: Мир, 1985. — 320 с.
191. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: Пер. с англ. — М.: Финансы и статистика, 1990. — 320 с.
192. Колесников С. Как организовать проект внедрения // ComputeReview. — 1999. — № 9. — С. 7—9.
193. Computer Integrated Manufacturing: Update to the IBM CIM Architecture. — Milfort: IBM Corp. GB 35-4196-00, 1993. — 27 p.
194. Зленко М. Технология быстрого прототипирования — послойный синтез физической модели на основе 3D-CAD-модели // CAD/CAM/CAE Observer. — 2003. — № 2 (11). — С. 9—11.
195. Борзенко А., Федоров А. Internet для всех. — М.: Компьютер-Пресс, 1997. — 300 с.
196. Пинсинс Т. Дж. Экстрасети: ключи к корпоративному царству // Сети. — 1998. — № 5. — С. 11—13.
197. Борт Дж. Модели экстранет // Сети. — 1998. — № 6. — С. 114—118.
198. Левин А. И., Окулевский В. А., Юденков А. Г. Количественная оценка характеристик бизнес-процессов в функциональных моделях сложной структуры / НИЦ CALS-технологий. — 2002. — 24 с.
199. Павленко П. М. Моделювання бізнес-процесів в задачах формалізації управління підготовкою виробництва // Технологические системы. — 2005. — № 1. — С. 50—53.