



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

Л.І. Нефьодов, І.Ш. Невлюдов, В.В. Безкоровайний

CALS-ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ

Харків 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Л.І. Нефьодов, І.Ш. Невлюдов, В.В. Безкоровайний

CALS-ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ

Навчальний посібник

Харків 2021

УДК 65.011.57

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол №6/13 від 02.07.2021 р)*

Нефьодов Л.І., Невлюдов І.Ш., Безкоровайний В.В.

**CALS-технології і системи: навч. посібник. / Л.І. Нефьодов,
І.Ш. Невлюдов, В.В. Безкоровайний . – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 272 с.**

ISBN 978-966-659-326-2

У навчальному посібнику викладені концепція, основні поняття, принципи та методи, які розкривають сутність CALS-технологій. Розглянуто питання математичного моделювання, прийняття рішень у CALS-технологіях, а також технології синтезу й оптимізації CALS-систем з використанням блочно-ієрархічного підходу.

Рекомендується студентам денної та заочної форм навчання спеціальностей «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» і «Комп'ютерні науки».

Іл. 38. Табл. 27. Бібліогр. наймен. 66.

Рецензенти:

О.П. Алексієв, д-р техн. наук, професор КТМ, ХНАДУ;

О.М. Цимбал, д-р техн. наук, професор, проф. каф. КІТАМ ХНУРЕ.

ISBN 978-966-659-326-2

© Л.І. Нефьодов, І.Ш. Невлюдов,
В.В. Безкоровайний, 2021

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ.....	7
1 Основні положення CALS-технологій і передумови впровадження	9
1.1 Терміни, поняття та визначення.....	9
1.2 Концепція та стратегія CALS	13
1.3 Методологія та основні компоненти CALS-технологій.....	20
1.4 Передумови впровадження CALS-технологій	37
1.5 Контрольні запитання та завдання.....	45
2 Стандарти CALS	46
2.1 Класифікація стандартів та інформації про виріб	46
2.2 Напрямки стандартизації у світі.....	63
2.3 Роль стандарту P_LIB на різних етапах ЖЦВ	69
2.4 Стандартизація в області CALS-технологій	74
2.5 Контрольні запитання та завдання	78
3 Моделювання CALS-системи і задачі забезпечення інформаційної безпеки.....	79
3.1 Життєвий цикл інформаційних систем.....	79
3.2 Моделі життєвого циклу виробу	85
3.3 Концепція CALS-створення єдиної інтегрованої моделі виробу	89
3.4 Інтегроване інформаційне середовище.....	116
3.5 Структура і склад ІС	118
3.6 Задачі забезпечення інформаційної безпеки в CALS-системах	126
3.7 Контрольні запитання та завдання.....	134
4 Математичне моделювання в CALS-технологіях	135
4.1 Моделювання як метод аналізу об'єктів проектування та виробництв.....	135
4.2 Класифікація видів моделювання	137
4.3 Критерії оцінки ефективності моделювання	140
4.4 Послідовність розробки і машинної реалізації моделей.....	142
4.5 Формалізація опису об'єктів моделювання.....	144
4.6 Побудова моделей за методом ідентифікації	147
4.7 Контрольні запитання та завдання.....	151

5	Основні підходи до моделювання об'єктів в CALS-технологіях.....	153
5.1	Системний підхід до моделювання.....	153
5.2	Типові математичні схеми.....	156
5.3	Неперервно-детермінований підхід.....	158
5.4	Дискретно-детермінований підхід.....	160
5.5	Дискретно-стохастичний підхід.....	161
5.6	Неперервно-стохастичний підхід.....	162
5.7	Мережевий підхід.....	165
5.8	Універсальний підхід.....	167
5.9	Контрольні запитання та завдання.....	169
6	Моделювання процесів прийняття рішень в CALS-технологіях.....	171
6.1	Проблема багатокритеріальної оптимізації.....	171
6.2	Бінарні відношення між альтернативними варіантами.....	173
6.3	Моделі задач вибору багатокритеріальних розв'язків.....	175
6.4	Визначення підмножини ефективних рішень.....	176
6.5	Функції корисності часткових критеріїв.....	178
6.6	Формування узагальненого критерію ефективності.....	180
6.7	Контрольні запитання та завдання.....	182
7	Синтез та оптимізація CALS-систем.....	184
7.1	Особливості CALS-систем як об'єктів проектування.....	184
7.2	Системологічний аналіз проблеми синтезу CALS-систем.....	187
7.3	Формалізація цілей створення системи та її структурного опису.....	192
7.4	Вибір і формалізація критеріїв оцінки ефективності системи.....	196
7.5	Декомпозиція проблеми оптимізації системи.....	202
7.6	Синтез логічної схеми системного проектування.....	210
7.7	Формування і вибір рішень задачі системного проектування.....	217
7.8	Контрольні запитання та завдання.....	223
8	Організація впровадження CALS-технологій і систем та проблеми їх розвитку.....	225
8.1	Специфіка CALS-технологій і проблеми їх впровадження.....	225
8.2	Методи реалізації проекту створення CALS-системи.....	236
8.3	Методологія впровадження CALS.....	237
8.4	Комплексний супровід процесів.....	247
8.5	Економічні аспекти застосування CALS.....	248
8.6	Задачі і напрямки впровадження CALS-технологій.....	249

8.7 Проблеми впровадження CALS-технології на етапах створення та застосування ERP у радіоелектронній апаратурі	259
8.8 Проекти розвитку та впровадження стандарту ISO 10303 (STEP).....	262
8.9 Проекти в області інформаційної підтримки етапів експлуатації і логістичної підтримки.....	264
8.10 Контрольні запитання та завдання	265
Перелік джерел посилання	266

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БП	–	бізнес-процес
БСГО	–	базова специфікація графічного обміну
ВП	–	віртуальне підприємство
ВЖЦВ	–	витрати на життєвий цикл виробу
ЄП	–	єдиний інформаційний простір
ЖЦВ	–	життєвий цикл виробу
ЗБДВ	–	загальна база даних про вироби
ЗБДП	–	загальна база даних про підприємство
ІТ	–	інформаційна технологія
ІО	–	інформаційний об'єкт
ІЛП	–	інтегрована логістична підтримка
ІС	–	інтегроване інформаційне середовище
ІЕТК	–	інтерактивне електронне технічне керівництво
КІО	–	клас інформаційних об'єктів
НД	–	нормативний документ
СУД	–	систем управління документами
СТП	–	стандарт підприємства
ЕЦП	–	електронний цифровий підпис
УП	–	управління проектами
CALS	–	Continuous Acquisition and Life-Cycle Support
PDM	–	Product Data Management
PM	–	Project Management
WF	–	Work Flow
CAD	–	Computer Aided Design, САПР
CAM	–	Computer Aided Manufacturing
CAE	–	Computer-Aided Engineering
EDM	–	Enterprise Data Management

ВСТУП

Сьогодні на світовому ринку користуються попитом реалізовані у США проекти, що одержали назву Continuous Acquisition and Life-Cycle Support (CALS)-технології. Дані проекти являють собою сучасну організацію процесів розробки, виробництва, післяпродажного сервісу, експлуатації виробів шляхом інформаційної підтримки процесів їхнього життєвого циклу і безпаперового електронного обміну даними. Ефективність і якість діяльності реалізується за рахунок прискорення процесів дослідження та розробки продукції, додання виробу нових властивостей, скорочення витрат у процесах виробництва й експлуатації продукції, підвищення рівня сервісу в процесах її експлуатації і технічного обслуговування.

Головний принцип CALS-технологій: інформація, яка один раз виникла на якому-небудь етапі життєвого циклу (ЖЦ), зберігається в інтегрованому інформаційному середовищі (ІС) і стає доступною всім учасникам цього й інших етапів (відповідно до наявного в них права користування цією інформацією). Це дозволяє уникнути дублювання, перекодування, несанкціонованих змін даних, а також помилок, пов'язаних із цими процедурами, скоротити витрати праці, часу і фінансових ресурсів. При цьому учасники інформаційної взаємодії можуть бути територіально розділені один від одного і знаходитися в різних містах і навіть державах, а інформація, що спільно використовується (в основному, через Інтернет), може бути дуже різномірною.

З погляду будь-якого учасника життєвого циклу продукції (користувача інформаційних систем) ця задача зводиться до простої формули: одержувати для подальшої обробки необхідну інформацію в потрібний час, у потрібному вигляді, у конкретному місці комп'ютерної мережі підприємства.

На відміну від паперового документообігу та найпростіших форм електронного документообігу, заснованого на використанні електронних образів паперових документів, у рамках CALS йдеться про використання інтегрованих інформаційних моделей (баз даних) продукції й процесів – сутностей, що не мають прямих аналогів у традиційному паперовому документообігу.

У сучасних умовах CALS-технології є найважливішим інструментом підвищення ефективності бізнесу, конкурентоздатності й привабливості продукції. CALS-технології активно застосовуються насамперед, в управлінні

проектами та розробці й виробництві складної наукоємної продукції, створеної інтегрованими промисловими структурами, що включають у себе науково-дослідні інститути (НДІ), конструкторські бюро (КБ), основних підрядників, субпідрядників, постачальників готової продукції, споживачів, підприємства технічного обслуговування, ремонту й утилізації продукції.

Зарубіжний досвід показує, що шлях від усвідомлення необхідності використання CALS-технологій до отримання реальних результатів їх впровадження займає 8–10 років. Застосування CALS-технологій знижує в середньому на 30 % собівартість продукції, підвищуючи при цьому її якість.

У галузі цивільного впровадження CALS-технологій у світі й в Україні лідирують аерокосмічна й атомна промисловості, автомобіле- і суднобудування.

Передові зарубіжні фірми розглядають роботу в цьому напрямку як діючий засіб обмеження доступу на міжнародний ринок наукоємної продукції тих країн, що не зуміють вчасно освоїти відповідні міжнародним вимогам безпаперові електронні технології. Приблизно, у найближчі кілька років світовий ринок наукоємних технологій, так само, як ринок промислової кооперації, цілком перейде на стандарти CALS.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ CALS-ТЕХНОЛОГІЙ І ПЕРЕДУМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

1.1 Терміни, поняття та визначення

Оскільки в Україні не гармонізовані міжнародні CALS-стандарти, основні терміни, поняття та визначення регламентовані згідно з розробленими в Росії Рекомендаціями зі стандартизації «Інформаційні технології підтримки життєвого циклу продукції. Термінологічний словник» (Р 50.1.031-2001) [1].

Ці рекомендації містять основні терміни та визначення, що стосуються до стадій життєвого циклу виробу. Рекомендації розроблені на основі державних стандартів серії ГОСТ Р ІСО 10303, а також документів: DEF STAN 00-60 Integrated Support, MIL-Std-2549 Configuration Management Data Interface, CIMdata Glossary, Glossary of Product Data Management Related Terms.

У процесі добору термінів і формулювання їхніх визначень було прийнято до уваги, що ідеологія, методологія та інформаційні технології (ІТ) підтримки життєвого циклу продукції базуються на уявленнях про єдине (інтегроване) інформаційне середовище підприємства, в якому формуються та використовуються різноманітні інформаційні об'єкти. Ці об'єкти описують виріб на всіх стадіях його життєвого циклу (від проектування до утилізації), технологічне середовище підприємства, процеси взаємодії підприємства з іншими суб'єктами виробничо-господарської діяльності тощо. У зв'язку з цим тлумачення термінів дане з позицій використання зазначених інформаційних технологій, а також з урахуванням вимог міжнародних стандартів ІСО.

Встановлені в рекомендаціях терміни розташовані в систематизованому порядку, що відбиває систему понять в області інформаційних технологій підтримки життєвого циклу продукції.

Терміни обов'язкові для застосування у всіх видах документації та літератури за технологіями безупинної інформаційної підтримки життєвого циклу продукції.

Безупинна інформаційна підтримка життєвого циклу продукції (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support; CALS) – концепція й ідеологія інформаційної підтримки життєвого циклу продукції на всіх його стадіях, заснована на використанні єдиного інформаційного простору (інтегрованого інформаційного середовища), що забезпечує однакові способи інформаційної взаємодії всіх учасників цього циклу: замовників продукції (включаючи

державні установи й відомства), постачальників (виробників) продукції, експлуатаційного та ремонтного персоналу, реалізована за допомогою нормативних документів (НД), що регламентують правила зазначеної взаємодії переважно за допомогою електронного обміну даними.

Технології безупинної інформаційної підтримки життєвого циклу продукції (CALS-technology) – інформаційні технології опису виробів, виробничого середовища й процесів, що протікають у цьому середовищі. Дані, що породжуються та перетворюються цими інформаційними технологіями, подаються у вигляді, обговореному НД інформаційної підтримки життєвого циклу продукції, і слугують для обміну чи спільного використання різними учасниками життєвого циклу продукції.

Нормативні документи (НД) інформаційної підтримки життєвого циклу продукції (CALS-standards) – нормативні документи, що описують правила електронного подання, даних про вироби, середовище й процеси, і правила обміну цими даними.

Логістика (Logistic) – наука про методи та способи управління матеріальними й інформаційними потоками у виробництві та бізнесі; зокрема, вивчає процеси планування, контролю й керування транспортуванням, складанням, переробкою та іншими операціями в процесі доставки готової продукції споживачу.

Система (System) – множина (сукупність) матеріальних об'єктів (елементів) кожної, у тому числі різної, фізичної природи та інформаційних об'єктів, які взаємодіють між собою для досягнення загальної мети, що володіє системною властивістю (властивостями), тобто властивістю, якої не має жоден з елементів і жодна з підмножин елементів за будь-якого способу членування. Системна властивість не виведена безпосередньо з властивостей елементів і частин.

Життєвий цикл виробу (ЖЦВ, Life Cycle) – сукупність етапів, через які проходить виріб за час свого існування: маркетингові дослідження, складання технічного завдання, проектування, технологічна підготовка виробництва, виготовлення, постачання, експлуатація, ремонт, утилізація.

Інтегроване інформаційне середовище (ІС, Integrated Information Environment; ІЕ) – сукупність розподілених баз даних, які містять відомості про вироби, виробниче середовище, ресурси і процеси підприємства, що забезпечує коректність, актуальність, схоронність і доступність даних тим суб'єктам виробничо-господарської діяльності (ВГД), які беруть участь у здійсненні ЖЦВ (далі – суб'єкти ВГД) і яким це необхідно і дозволяється. Усі відомості (дані) у ІС зберігаються у вигляді інформаційних об'єктів.

Інформаційний об'єкт (ІО, Information Object) – сукупність даних і програмного коду, що має властивості (атрибути) і методи, які дозволяють певним чином обробляти дані. Це – самостійна одиниця застосування та збереження в ІС.

Клас інформаційних об'єктів (КІО, Class Of Information Objects) – ІО, властивості якого оголошені, але їм не присвоєні конкретні значення. Клас може породжувати екземпляри, що успадковують його властивості та методи.

Інформаційна взаємодія (Information Interaction) – спільне використання даних, що знаходяться в ІС, і обмін даними, який здійснюється суб'єктами ВГД, відповідно до встановлених правил.

Спільне використання даних (Joint Data Using) – незалежне звертання суб'єктів ВГД до ІО, що знаходиться в ІС, із метою їхнього використання в додатках чи модифікації відповідно до встановлених правил.

Обмін даними (Data Exchange Information Interaction and Data Exchange Rules) – за ГОСТ Р ІСО 10303-1.

Правила інформаційної взаємодії й обміну даними – правила, що регламентують для суб'єктів ВГД:

- доступ до ІО;
- право модифікації ІО;
- право на переміщення нового ІО в ІС;
- протоколи передачі даних каналами зв'язку;
- умови захисту інформації в ІС;
- структуру та форму обмінного файлу тощо.

Загальна база даних про вироби (ЗБДВ – Common Product Data Base; CPDB) – частина ІС – сховище ІО, що містять у довільному форматі інформацію, необхідну для випуску та підтримки технічної документації, необхідної на всіх стадіях ЖЦВ, для усіх виробів, що випускаються підприємством. Кожен ІО у ЗБДВ ідентифікується унікальним кодом і може бути витягнутий із ЗБДВ для виконання дій із ним. ЗБДВ забезпечує інформаційне обслуговування та підтримку діяльності:

- замовників (власників) виробу;
- розробників (конструкторів), технологів, управлінського та виробничого персоналу підприємства-виробника;
- експлуатаційного й ремонтного персоналу замовника. ЗБДВ може складатися з декількох розділів:

- а) нормативно-довідкового;
- б) довгострокового;
- в) актуального.

Загальна база даних про підприємство (ЗБДП – Common Enterprise Data Base, CEDB) – частина ІС – сховище ІО, що містять у довільному форматі дані про фінансово-економічний стан підприємства, його зовнішні зв'язки, виробничо-технологічне середовище, що діє на підприємстві, системи якості тощо.

Електронне сховище (Vault) – область збереження ІС. У сховищі знаходяться або ІО, або інформація про шляхи доступу до них. Інформація в електронних сховищах контролюється на основі спеціальних правил і породжуваних ними процесів.

Електронний цифровий підпис (ЕЦП – Digital Signature) – спеціальний криптографічний засіб забезпечення дійсності, цілісності й авторства електронного документа. ЕЦП зв'язує зміст документа й ідентифікатор особи, що підписує, і унеможливорює зміну документа без порушення дійсності підпису. Формування ЕЦП електронного документа чи пакета документів (файлу чи файлів) в ході їх підготовки та передачі, а також перевірка наявності і неспотвореного підпису забезпечуються спеціальними програмними засобами (див. Закон України «Про електронний цифровий підпис», ГОСТ Р 34.10).

Загальне моделювання виробу (Total Product Modelling) – повний, всебічний опис як самого виробу (склад і структура, геометричні твердотільні моделі САПР, кінцевоелементні й інші моделі для розрахунків), так і технологічних прийомів його виробництва, особливостей функціонування, режимів експлуатації тощо.

Бізнес-процес (БП – Business-Process) – сукупність послідовно чи/і паралельно виконуваних операцій, що перетворює матеріальний чи/і інформаційний потоки у відповідні потоки з іншими властивостями. БП протікає відповідно до керуючого директивами, вироблюваними на основі цілей діяльності. У ході БП споживаються фінансові, енергетичні, трудові і матеріальні ресурси, а також виконуються обмеження з боку інших БП і зовнішнього середовища. Окремими випадками БП є організаційно-ділові, технологічні та інші процеси.

Маркетинг (Marketing) – систематична робота з вивчення: ринків збуту та вимог споживачів до продукції підприємства; умов експлуатації продукції підприємства; постачальників матеріальних ресурсів, їхніх можливостей відносно якості та дисципліни постачань тощо.

Витрати на ЖЦВ (ВЖЦВ – Life Cycle Cost, LCC) – сумарні витрати на придбання, модернізацію, експлуатацію й обслуговування виробу протягом усього ЖЦВ. Точне математичне визначення ВЖЦВ змінюється залежно від

моделі ЖЦВ, яка використовується. Ця модель має бути погоджена всіма сторонами, що беруть участь у проекті.

Інтегрована логістична підтримка (ІЛП – Integrated Logistic Support, ILS) – методика управління, спрямована на оптимізацію витрат протягом ЖЦВ. Вона включає елементи впливу на процес проектування виробу з метою визначення умов протікання поствиробничих стадій ЖЦВ, виконання яких забезпечить максимальну підтримку виробу в період експлуатації.

Постпроектне обслуговування (Post Design Services) – робота над розвитком виробу, що починається після здачі його в експлуатацію з метою гарантованого тривалого виконання виробом вимог затвердженої специфікації чи технічного завдання.

Утилізація (Disposal) – ліквідація виробу з перетворенням вхідних у нього компонентів у вторинну сировину (із дотриманням екологічних вимог), що супроводжується виключенням усіх стосовних до ліквідованого екземпляра виробу ІО із ІС.

Інтерактивне електронне технічне керівництво; ІЕТК (Interactive Electronic Technical Manual, IETM) – комплекс взаємозалежних ІО, що містить відомості, які необхідні обслуговуючому персоналу в ході експлуатації та ремонту виробу. Призначено для відображення необхідних даних (довідкової й описової інформації) в інтерактивному режимі на електронному дисплеї.

1.2 Концепція та стратегія CALS

CALS – це концепція інформаційної підтримки наскрізного інформаційного забезпечення процесів життєвого циклу виробу (ЖЦВ). Спочатку під CALS розумілася правильна організація закупівель, постачань і експлуатації військової техніки, а концепція логістичної підтримки базувалася на комп'ютерних інформаційних технологіях, що розвиваються, (саме тому перші дві літери аббревіатури СА означають Computer-Aided) із метою послідовного перетворення бізнес-процесів у єдиний автоматизований і інформаційно-інтегрований процес управління життєвим циклом. Наступна еволюція цієї концепції привела до інтеграції процесів усього життєвого циклу виробу і тому стала інтерпретуватися спочатку як Computer-Aided Acquisition and Lifecycle Support, а зараз трактується як Continuous Acquisition and Lifecycle Support, що означає безперервний збір інформації про виріб та інформаційну підтримку процесів життєвого циклу виробу.

Для реалізації цієї концепції створюється методологічна база з використанням існуючих і розробкою нових стандартів. Про підтримку даної концепції заявили багато відомих виробників програмного забезпечення (ПЗ), включивши інтерфейси за рядом таких стандартів до своїх продуктів. Відповідно до цих стандартів стали використовуватися численні системні та прикладні інформаційні технології, орієнтовані на всебічне охоплення різноманітних форм електронного подання моделей етапів ЖЦ для різних класів виробів.

Основою концепції CALS є підвищення конкурентоздатності виробу за рахунок ефективного управління інформацією. Задача CALS – перетворення ЖЦ виробу в автоматизований процес шляхом реструктуризації (реінжинірингу) підпроцесів, які входять до його складу.

Постійний розвиток припускає придбання виробом нових властивостей за рахунок його постійної модернізації, що вимагає безперервного контакту між постачальником і споживачем. Підтримка життєвого циклу виробу припускає організацію взаємодії між учасниками цього циклу на основі нових інформаційних і телекомунікаційних технологій. Це приведе до збільшення інвестицій на етапах створення та модернізації виробу, але дозволить більш повно враховувати потреби замовника, що, у свою чергу, знизить витрати на етапах експлуатації й обслуговування виробу і скоротить витрати на весь ЖЦ [2].

Однією з основних проблем на шляху підвищення ефективності управління інформацією є комунікаційні бар'єри між учасниками ЖЦ виробу (насамперед через використання несумісних комп'ютерних систем).

Шлях реалізації концепції CALS міститься в стратегії CALS, що припускає створення єдиного інформаційного простору (ЄІП) для всіх учасників ЖЦ виробу. ЄІП повинен мати такі властивості:

- вся інформація подається в електронному вигляді;
- ЄІП охоплює всю інформацію, створену про виріб;
- ЄІП є єдиним джерелом даних про виріб (прямий обмін даними між учасниками ЖЦ виключений);
- ЄІП будується тільки на основі міжнародних, державних і галузевих інформаційних стандартів;
- для створення ЄІП використовуються програмно-апаратні засоби, що вже є в учасників ЖЦ;
- ЄІП постійно розвивається.

Для руйнування комунікаційних бар'єрів і реалізації концепції CALS необхідно створити єдиний інформаційний простір (ЄІП) для всіх учасників ЖЦВ (у тому числі й для експлуатаційників). ЄІП повинен:

- акумулювати всю інформацію про виріб;
- бути єдиним джерелом даних про нього (прямий обмін даними між учасниками ЖЦВ виключений);
- формуватися на основі міжнародних, державних і галузевих стандартів.

ЄІП створюється за допомогою програмно-апаратних засобів, що вже мають учасники ЖЦВ. В умовах вітчизняного виробництва краще організувати ЄІП у два етапи.

Етап 1 – Автоматизація окремих процесів ЖЦВ виробу та подання даних на них в електронному вигляді;

Етап 2 – Інтеграція автоматизованих процесів і відповідних їм даних.

ЄІП може бути створений для структур різного рівня: від окремого підрозділу до віртуальних підприємств (ВП) чи корпорацій.

Для реалізації стратегії CALS мають використовуватися три групи методів, названі CALS-технологіями:

- технології аналізу і реінжинірингу бізнес-процесів – методи реструктуризації функціонування підприємства. Ці технології потрібні для того, щоб коректно перейти від паперового до електронного документообігу і впровадити в процесі автоматизації нові методи розробки виробів (паралельне проектування, міждисциплінарні робочі групи тощо);

- технології подання даних про виріб – методи стандартизованого подання в електронному вигляді даних, що стосуються окремих процесів ЖЦВ (етап 1 створення ЄІП);

- технології інтеграції даних про виріб – методи інтеграції автоматизованих процесів ЖЦВ і відповідних їм даних (II етап створення ЄІП).

Основними перевагами ЄІП є:

- забезпечення цілісності даних;
- можливість організації доступу до даних географічно вилучених учасників ЖЦВ;
- відсутність втрат даних з переходом між етапами ЖЦВ;
- зміни даних доступні відразу всім учасникам ЖЦВ;
- підвищення швидкості пошуку даних і доступу до них порівняно з паперовою документацією;
- можливість використання різних комп'ютерних систем для роботи з даними.

ЄІП може бути створений для організаційних структур різного рівня: від окремого підрозділу до віртуального підприємства чи корпорації. При цьому розрізняється й ефект, що одержуємо від створення ЄІП (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Ефекти від створення ЄІП

Організаційна структура	Підвищення ефективності управління процесами	Підвищення ефективності управління даними	Підвищення ефективності обміну даними всередині
Підрозділ підприємства	Середнє	Високе	Низьке
Окреме підприємство	Високе	Високе	Середнє
Віртуальне підприємство (корпорація)	Високе	Високе	Високе
Експлуатуюча організація	Середнє	Високе	Середнє

Застосування CALS/ПІВ стає можливим у процесі виконання таких умов:

- наявність сучасної інфраструктури електронної передачі даних;
- введення поняття «електронний документ» як об'єкт діяльності з виробництва та постачання продукції;
- електронно-цифровий підпис і захист інформації;
- реформування (реінжиніринг) бізнес-процесів;
- створення системи національних стандартів, гармонізованих із міжнародними стандартами та рекомендаціями [3].

Займаючись питаннями впровадження CALS-систем, необхідно цілком усвідомлювати, що маємо справу із системою, яка охоплює велику область виробничо-економічної діяльності, що поєднує безліч структурних ланок різних підприємств для вирішення взаємозалежних задач на всіх стадіях ЖЦВ.

У зв'язку з цим методи просування та впровадження мають відповідати вимогам, характерним для системних рішень [4], а саме:

- процес упровадження має містити в собі елементи предпроектного обстеження підприємства з залученням фахівців розробника. Мета – конкретизувати задачі автоматизації й методи їхнього вирішення;
- масштабному впровадженню системи на підприємстві має передувати етап спільної роботи фахівців розробника й замовника в рамках технічного

завдання, виробленого в ході обстеження. Мета – виробити ефективні методи вирішення задач автоматизації з використанням інструментарію CALS [5];

- вирішення задач автоматизації має бути поетапним, з досягненням визначених цілей на кожному конкретному етапі й одержанням економічного ефекту від впровадження.

Етапи вирішення задач автоматизації, їхня тривалість і послідовність можуть бути різними, оскільки це залежить від сполучення багатьох факторів, характерних для кожного конкретного підприємства. Дуже велику роль відіграє можлива наявність «слабкої ланки» у ланцюжку розглянутих проблем. Її виявлення й зосередження зусиль на першочерговому вирішенні проблем у цій області дає найбільший ефект на початкових етапах впровадження:

- створення єдиної бази даних інформації про вироби та наповнення її будь-якими способами (ручне введення, передача з наявних розрізаних баз даних);

- упровадження системи в планових і виробничих службах для проведення розрахунків зведених показників з матеріалоемності, трудомісткості, потреб виробництва в розрізі виробів і замовлень, ведення портфеля замовлень і формування виробничої програми для цехів;

- упровадження системи в цехах із метою організувати відстеження фактичного стану виконання виробничої програми в режимі реального часу;

- підключення до роботи в системі конструкторських і технологічних служб.

Насичення БД системи повною технологічною інформацією дозволить на якісно новому рівні вирішувати задачі планування та управління, завдяки роботі прямо з актуальною конструкторсько-технологічною інформацією в рамках єдиної системи. З'явиться можливість розраховувати потреби цехів у матеріалах, інструменті, оснащенні, що комплектують з урахуванням виробничих циклів замовлень, контролювати проходження деталей і вузлів по технологічному циклі з точністю до операцій.

Включення в роботу конструкторів дозволить «прив'язати» момент виникнення інформації в БД до точки і часу її виникнення в реальному житті і таким чином, мінімізувати помилки, що неминуче виникають у ході передачі інформації, підвищити ступінь її актуальності, автоматизувати процес одержання зведеної конструкторсько-технологічної та іншої інформації про виріб. На цьому ж етапі виробляються ефективні способи взаємодії всіх служб підприємства й об'єднання їх у єдиний інформаційний простір.

На кожному конкретному підприємстві з урахуванням його потреб, реального стану справ у зазначеній області, його технічної готовності та ряду інших факторів спільними зусиллями фахівців розробника й підприємства може і має бути вироблений шлях, що забезпечує у найкоротший термін максимальний ефект від впровадження системи.

Традиційна промисловість за показниками зайнятості та частки в національному продукті поступається провідним місцем сфері послуг, що ґрунтується переважно на обробці інформації. Це – той самий перехід від індустріального суспільства, заснованого на поділі праці і масовому виробництві, до інформаційного чи постіндустріального суспільства.

Основні відмінності підприємства в індустріальному суспільстві від підприємства в інформаційному суспільстві зведені в таблицю 1.2 [6].

Таблиця 1.2 – Основні відмінності підприємства в індустріальному суспільстві від підприємства в інформаційному суспільстві

Підприємство в індустріальному суспільстві	Підприємство в інформаційному суспільстві
Орієнтація на виробництво	Орієнтація на клієнтів
Мета підприємства: Максимізувати випуск продукції. Якість продукції визначається виробником, виходячи з конкуренції на локальному ринку	Мета підприємства: Максимізувати число продажу. Якість продукції визначається споживачем, виходячи з конкуренції на глобальному ринку
Якість продукції = Якість продукції	Якість продукції = Якість управління, гарантії, зниження ризиків
Конкуренція підприємств. Конкурентоздатність – функція від матеріальних ресурсів, займаної території, кількості будинків, продуктивності устаткування	Вживання підприємств за рахунок ефективності управління, наявності розвинутих засобів комунікації й кооперації з клієнтами та партнерами, обсягу професійних знань і умінь використання їх

Слова «Вживання підприємств» не випадково замінили термін «Конкуренція». Справа в тому, що в постіндустріальному суспільстві перестають працювати закони ринкової економіки. Тепер ми говоримо про «мережну економіку».

Кевін Келлі запропонував 12 правил мережної економіки. Ми не будемо наводити всі правила, зупинимося на найважливіших серед них.

1. У мережній економіці цінність продуктів праці впливає з їхньої множинності. Логіка мережі перевертає традиційні уявлення з ніг на голову. У Мережній Економіці цінність виростає з достатку і зростає від широкого

розповсюдження («ефект факсу» – факс апарати стали цінними, коли їх стало багато). У Мережній Економіці дефіцит перекривається зниженням ціни. Коли вартість наступної копії стає зовсім незначною, різко зростає значення стандартів і мережі.

2. Цінність участі в мережній економіці зростає експоненціально від зростання числа учасників. Це зростання «засмоктує» до мережної економіки все нових і нових учасників. Приклади такого зростання спостерігаються для корпорацій Майкрософт, Федерал Експрес, стосовно мережі Інтернет.

3. Постійно дешевшають чіпи, які при цьому мають високу якість і продуктивність, вбудовуються в мережу, що розростається, і це, прямо чи побічно, веде до створення більш удосконалених версій мережних комунікацій. Всі об'єкти, які можна скопіювати, відчутні й неловимі, пристосовуються до закону інверсійного (зворотного) ціноутворення і стають дешевшими в міру їхнього удосконалення.

4. Якщо послуги стають тим цінніше, чим вони багаточисленніші, і якщо вони коштують тим менше, чим кращими та важливішими стають, то продовжуючи цю логіку, можна сказати, що найцінніші речі мають бути безкоштовні. Електронні копії майже нічого не коштують, а цінність зростає пропорційно їхньому розповсюдженню, породжуючи все більшу потребу в них. Коли буде встановлена важливість і незамінність продукту, компанія може продавати додаткові послуги чи поліпшувати продукт. Викидаючи на ринок «безкоштовний» продукт, ви приковуєте частку людської уваги, а це – частка ринку. І те, що сьогодні безкоштовно, завтра набуде цінності.

5. Необхідно жертвувати досконалістю та пристосованістю до сформованого ринку, що стали більш гнучкими та децентралізованими, щоб не виявитися в положенні «кращий у світі експерт у швидковідмираючій технології». Вміти на самому піку успіху вчасно «провести демонтаж» продукту чи цілого сектора і кинути до нового піка.

Основною сутністю мережної економіки стає підприємство, що не має фіксованої організаційної та територіальної структури – віртуальне підприємство [7].

Віртуальне підприємство створюється шляхом добору необхідних людських, організаційно-методичних і технологічних ресурсів із різних підприємств і їхньої комп'ютерної інтеграції, що приводить до формування гнучкої, динамічної організаційної системи, найбільш пристосованої для якнайшвидшого випуску нової продукції та її оперативного постачання на ринок.

Йдеться про інтенсивну взаємодію реально наявних фахівців і підрозділів різних підприємств у віртуальному просторі за допомогою новітніх інформаційних і комунікаційних технологій. Ця взаємодія покликана підвищити рівень кооперації та координації партнерів, а в остаточному підсумку, конкурентоздатність виробленої ними продукції і, відповідно, прибуток.

Поняття віртуального підприємства є цілком орієнтованим на замовника, оскільки його основні характеристики – швидкість виконання замовлення та повнота задоволення потреб клієнта.

Віртуальне підприємство не має галузевих чи відомчих бар'єрів. Із включенням замовників і підрядників у єдину відкриту організаційну структуру границі між взаємодіючими підприємствами стають нечіткими, прозорими і рухливими. Необхідний рівень партнерських відносин між постачальниками та клієнтами зростає: успіх одних є необхідною умовою успіху інших. При цьому підприємство має більше шансів залишитися задоволеним своїми постачальниками, якщо вони будуть активно брати участь у розробці нових продуктів, послуг і навіть стратегій його діяльності.

Створення віртуального підприємства означає інтеграцію унікального досвіду, виробничих можливостей і передових технологій ряду підприємств-партнерів навколо деякого проекту, що вони не можуть виконати окремо. Зокрема, утворення віртуальної організації з неоднорідних агентів може забезпечити взаємну компенсацію їхніх недоліків і посилення переваг. Так, наприклад, можна об'єднати переваги великих підприємств (могутніх, але які володіють сильною інерцією і повільно реагують на зміни проектів чи ринку) і малих підприємств (які відчують потребу у ресурсах, але здатні швидко реагувати на зміни і перебудовуватися) [6].

1.3 Методологія та основні компоненти CALS-технологій

Методологічною основою CALS є більш ніж 150 стандартів. Деякі стандарти спочатку розроблялися або як стандарти Міністерства оборони (МО) США, або під його патронатом, інші ж під егідою міжнародних організацій. Сутність методології полягає в тому, що за допомогою нормативної бази для організації інформаційної підтримки процесів життєвого циклу виробу забезпечується створення єдиних інтегрованих інформаційних моделей. Оскільки виконавцями робіт на різних етапах ЖЦ складних виробів є різні юридичні особи (організації), розділені географічно, то існування цих моделей передбачається в спеціальному комп'ютерному середовищі, що організується

у формі віртуальної корпорації. Стандарти розділені на кілька груп, вони дозволяють у єдиних інтегрованих інформаційних моделях всебічно відобразити всі аспекти ЖЦВ – від формулювання вимог майбутнього виробу до юридичного супроводу спільно використовуваної інформації:

- функціональні стандарти;
- інформаційні стандарти;
- стандарти технічного обміну;
- стандарти щодо захисту інформації;
- стандарти з електронного цифрового підпису.

Слід зазначити, що стандарти постійно розвиваються. Так, наприклад, стандарт STEP має опис інтерфейсів для XML-обміну даними, а обмін даними по Internet відповідає сучасним концепціям B2B [8].

Так для розвитку методології CALS у США створена Керуюча промислова група з питань CALS (ISG) і її виконавчий консультативний комітет. Зараз у світі діє понад 25 національних організацій (комітетів чи рад з розвитку CALS), у тому числі в США, Японії, Канаді, Великобританії, Німеччині, Швеції, Норвегії, Австралії та інших країнах, а також у НАТО.

Усі програмні продукти, які використовуються у CALS-технологіях, можна розділити на дві великі групи:

- програмні продукти, що використовуються для створення й перетворення інформації про виробу, виробниче середовище та виробничі процеси, застосування яких не залежить від реалізації CALS-технологій;
- програмні продукти, застосування яких безпосередньо пов'язано з CALS-технологіями та вимогами відповідних стандартів.

До першої групи належать програмні продукти, що традиційно застосовуються на підприємствах різних галузей промисловості і призначені для автоматизації різних інформаційних та виробничих процесів і процедур. До цієї групи належать наступні програмні засоби та системи:

- підготовки текстової й табличної документації різного призначення (текстові редактори, електронні таблиці тощо – офісні системи);
- автоматизації інженерних розрахунків і ескізного проектування (CAE-системи);
- автоматизації конструювання та виготовлення робочої конструкторської документації (CAD-системи);
- автоматизації технологічної підготовки виробництва (CAM-системи);
- автоматизації планування виробництва й управління процесами виготовлення виробів, запасами, виробничими ресурсами, транспортом тощо (системи MRP/ERP);

– ідентифікації й аутентифікації інформації (засобу ЕЦП).

На ринку програмних засобів перераховані вище групи програмних продуктів представлені досить широко. Короткий перелік деяких з них наведений у таблиці 1.3 [9].

Таблиця 1.3 – Короткий перелік деяких програмних засобів

Призначення системи	Найменування програмного продукту	Фірма-розробник (країна)
1	2	3
Офісні системи: Текстовий редактор. Електронні таблиці	MS Office 2000: Word 2000 Excel 2000	MicroSoft Corp (США)
Системи автоматизованого проектування (CAE/CAD/CAM)	AutoCAD, 2000	Autodesk (США)
	Unigraphics	Unigraphics Solutions (UGS, США)
	CATIA v.5	Dassault Systems (США)
	ProEngineer	Parametric Technology Corp. (США)
	SolidWorks 2001	SolidWorks Co (США)
	SolidEdge	UGS (США)
	CADDS	Parametric Technology Corp (США)
	CadKey	CadKey Corp (США)
	ANSYS	ANSYS Inc. (США)
	Euclid	Matra Datavision (Франція)
	T-Flex	АТ «Топ системи» (РФ)
	Компас	АСКОН (РФ)
	Кредо	НІЦ АСК (РФ)
Засоби ЕЦП	Крипто Офис	ЛАН Крипто (РФ)
	Верба	МО ПНІЕІ (РФ)
	PGP	Network Associates inc. (США)
	Priva Seal	Aliroo Inc. (США)
Системи планування та управління виробництвом (MRP/ERP)	SAP R/3	SAP AG (ФРГ)
	BAAN IV	Baan Engineering (США)
	J.D. Edwards	J.D. Edwards (США)
	Oracle Application	Oracle Corp. (США)

До другої групи належать програмні засоби та системи:

- управління даними про виріб і його конфігурацію (системи PDM – Product Data Management);
- управління проектами (Project Management);
- управління потоками завдань у процесі створення та зміни технічної документації (системи WF – Work Flow);
- забезпечення інтегрованої логістичної підтримки (ІЛП) виробів на поствиробничих стадіях ЖЦ (замовлення і постачання запчастин і матеріалів, управління процесами технічного обслуговування та ремонту (ТОiP), включаючи інтерактивні електронні технічні посібники до цих процесів тощо;
- функціонального моделювання, аналізу і реінжинірингу бізнес-процесів.

Короткий перелік, наявних на ринку, програмних засобів другої групи наведений у таблиці 1.4 [9].

Таблиця 1.4 – Короткий перелік наявних на ринку програмних засобів другої групи

Призначення системи	Найменування програмного продукту	Фірма-розробник (країна)
1	2	3
Системи управління даними про виріб (PDM)	PDM STEP Suite (PSS)	НДЦ «Прикладна Логістика» (РФ)
	TeamCenter Engineering (iMAN)	EDS (США)
	Windchill	PTC (США)
	Matrix	MatrixOne Co (США)
	TeamCenter Enterprise (Metaphase)	EDS (США)
	Enovia	IBM Corp (США)
	Agile	Agile Software Co (США)
	Part Y	Лоція Софт (РФ)
	Лоцман PLM	Аскон (РФ)
Засоби управління проектами (Project Management)	MS Project	Microsoft Corp. (США)
	Open Plan	WTS (США)
	Primavera Project Planner (P3)	Primavera Systems, Inc. (США)

Продовження табл. 1.4

1	2	3
Засоби управління потоками завдань та документообігу (WF – Work Flow)	CoCreate Work Manager	CoCreate Software, GmbH (ФРГ)
	Staffware	Staffware Plc (Великобританія)
	Casewise	CASEwise Systems (США)
	Product Center	Workgroup Technology Corp (США)
Засоби підтримки (ІП)	Technical Guide Builder (TGB), v. 3 PDM STEP Suite (PSS)	НДЦ «Прикладна Логістика» (РФ)
	BQR	BQR Reliability Engineering Ltd. (Ізраїль)
	RELEX	Relax Software Corporation (США)
	Комплекс програмних продуктів	LBS (Великобританія)
Засоби підготовки інтерактивних електронних технічних керівництв	Technical Guide Builder (TGB), v. 3	НДЦ «Прикладна Логістика» (РФ)
Засоби функціонального моделювання, аналізу та реінжинірингу бізнес-процесів	WorkFlow Modeller, v.4.2	MetaSoft Corp (США)
	BP-Win, v. 4	Computer Associates International (США)
	ARIS	IDS Scheer AG (ФРГ)

Основними компонентами CALS-технологій є:

- інструментальний комплекс технічних і програмних засобів автоматизованого проектування виробів (CAD – Computer Aided Design, САПР);
- системи автоматизації технологічної підготовки виробництва (CAM – Computer Aided Manufacturing, АСТПВ);
- системи інженерного аналізу (CAE – Computer Aided Engineering, АСНД);
- засоби реалізації технології паралельного тотального проектування в режимі групового використання даних (Concurrent Engineering);

- система управління проектними й інженерними даними (EDM – Enterprise Data Management);
- системи візуалізації всього процесу розробки документації;
- могутні засоби обміну даними;
- могутні засоби розробки прикладного програмного забезпечення;
- методики аналізу процесів проектно-технологічної, виробничої й управлінської діяльності.

Переходу до CALS-технологій сприяв успіх CAD/CAM індустрії в об'ємному твердотільному проектуванні, генерації точних траєкторій механообробки, ефективному одержанні креслень, створенні систем управління даними [10].

Втім, традиційні CAD/CAM-системи використовують тільки геометрію деталі (у кращому випадку конструкторсько-технологічну текстову інформацію про виріб), вони не забезпечують створення та ведення єдиної конструкторської бібліотеки деталей, вузлів, складальних одиниць, що значно прискорюють процес проектування виробів. Крім того, традиційні системи не забезпечують інтегровану інформаційну підтримку всіх учасників процесу проектування, виробництва, експлуатації й обслуговування виробів.

Наведемо коротку характеристику програмних засобів, які найчастіше використовуються.

CAD/CAM/CAE-система Unigraphics американської корпорації EDS (Electronic Data Systems) займає на ринку САПР особливе місце. Зараз система Unigraphics є універсальною інтегрованою системою автоматизації проектування та виробництва і фактично є стандартом для САПР аерокосмічної, автомобільної, машинобудівної, і багатьох інших галузей промисловості, які виробляють високотехнологічну і наукоємну продукцію.

Однією з відмінностей Unigraphics від інших продуктів на ринку САПР-систем є можливість використання на підприємстві технології KDA (Knowledge Driven Automation – автоматизація з використанням бази знань). Пропоноване рішення дозволяє об'єднати в єдиній системі процеси проектування та знання, накопичені фахівцями підприємства.

На багатьох виробничих підприємствах існує проблема відновлення кадрів і збереження безцінних знань, накопичених поколіннями проектувальників. Це особливо стосується підприємств космічної галузі і військово-промислового комплексу. Використання Unigraphics і технології KDA дозволяє уникнути втрати неоціненного досвіду проектування продукції на цих підприємствах.

Використання загального ядра дозволяє системі вищого рівня Unigraphics не тільки обмінюватися геометричними даними з абсолютною точністю, але й підтримувати реальний зв'язок між компонентами збірок, деталі яких створені в різних системах. Це дозволяє створити багаторівневу структуру САПР на підприємстві, використовуючи різні системи для вирішення оптимальних задач, домагаючись максимальної ефективності проектування.

В системі Unigraphics різне сполучення модулів дозволяє вибрати конфігурацію, що найбільш повно відповідає вимогам конкретного підприємства.

Solid Edge є визнаним лідером на ринку 3-вимірних САД-систем середнього рівня. Будучи недорогою системою, Solid Edge заснований на тому самому ядрі твердотільного моделювання Parasolid, що й система вищого рівня Unigraphics [5].

SolidWorks давно вийшов за рамки САПР середнього рівня. Сьогодні це комплексна система рівня таких САПР, як Pro/ENGINEER і Unigraphics, а за деякими позиціями вже й перевершила їх, наприклад, за такими критеріями, як зручність інтерфейсу і підтримка ЄСКД.

Система SolidWorks реально конкурує на ринку САПР країн СНД із Pro/ENGINEER, Unigraphics, CATIA, Solid Edge і Inventor.

Основними перевагами SolidWorks перед конкурентами є:

- функціональні можливості SolidWorks не поступаються Pro/ENGINEER, а багато в чому і перевершують його;
- підтримка ЄСКД і русифікації, яка виконана компанією-розробником;
- чудовий користувальницький інтерфейс;
- простота освоєння системи і високий функціонал.

Область використання SolidWorks дуже широка – це і виробництво товарів народного споживання, електротехнічних пристроїв, приладобудування, конструювання технологічного оснащення, двигунобудування, важке машинобудування та ін.

Найбільш популярні додатки під SolidWorks:

- «SWR-специфікація». Великою популярністю користуються бібліотеки стандартних елементів – стандартизовані з різними каталогами, а найчастіше, із повним набором;
- система ведення електронного документообігу SWR-PDM;
- система для міцнісного аналізу CosmosWorks;
- САМ-системи для технологічної підготовки виробництва.

У SolidWorks входить набір необхідних спеціалізованих додатків. Наприклад, стандартний набір для інженера-конструктора, конструктора

технологічного оснащення, технолога ЧПУ й інші. Такі комплекти коштують дешевше, ніж сукупність тих самих модулів, придбаних окремо.

SolidWorks не зможе далі успішно розвиватися без інтегрованої PDM-системи. Ведуться розробки в трьох напрямках: PDM-система SWR-PDM, потім додаток «SWR-специфікація» і різні бази даних стандартних елементів.

Система SWR-PDM має інтегрований і автономний режими роботи. Коли система SWR-PDM інтегрована з SolidWorks, у ній дуже зручно працювати, тому що вона об'єднує у собі такі якості, як дружній інтерфейс, широкі функціональні можливості та простоту роботи. Крім того, SWR-PDM легко адмініструвати й надбудовувати.

Компанія «АСКОН» (РФ), що є розробником продукту «КОМПАС», також є і реселером SolidWorks. Спільне використання SolidWorks і «КОМПАС» є частиною їхньої маркетингової політики.

Основа успішного впровадження САПР – триєдність між САПР, кваліфікацією фахівців із впровадження систем і твердою волею керівництва підприємства в досягненні поставленої мети.

В процесі оснащення конструкторсько-технологічних служб системами автоматизованого проектування надзвичайно важливе оптимальне співвідношення «ціна/якість».

Офіційним представником SolidWorks Russia в Україні є INTERSED. Систему SolidWorks використовують понад 29 тисяч підприємств. Клієнтами його є 36 підприємств України.

Принципами роботи INTERSED із впровадження, адаптації та супроводу системи SolidWorks для підприємств-користувачів є:

– сервіс-комплект за повної підтримки ЄСКД:

а) програма автоматичного створення конструкторської специфікації для збірок SolidWorks;

б) бібліотеки стандартних елементів:

- 1) кріплення;
- 2) підшипники;
- 3) прокатний сортамент;
- 4) трубопровідна арматура;
- 5) ущільнення;
- 6) елементи штампів;
- 7) елементи пресформ.

Системи автоматизованого проектування КОМПАС (компанія АСКОН) успішно застосовуються більш ніж на 750 підприємствах України, Росії,

Білорусії й інших країн СНД. Системи були розроблені стосовно до вимог ЄСКД, ЄСТПВ і особливостей вітчизняної практики організації та ведення конструкторсько-технологічних робіт. Їхня популярність обумовлена насамперед багатством можливостей, зручністю застосування, легкістю в навчанні, безупинним розвитком, а також прийнятною, навіть для невеликих підприємств, вартістю. Накопичено великий досвід впровадження даних систем у різних галузях промисловості.

КОМПАС 5.7 – могутня креслярсько-конструкторська система з параметричними можливостями. КОМПАС 5 однаково зручний для машинобудування, приладобудування, будівництва й архітектури. Його відрізняють високий рівень функціональних можливостей, повна підтримка вітчизняних стандартів, сучасний інтерфейс, широкий набір готових бібліотек і прикладних САПР, могутні інструментальні засоби випуску специфікацій і розробки додатків.

Компас-менеджер, PARTY – системи управління проектом для робочих груп/відділів.

ДОЗ 4.0 – високоефективна тривимірна графічна недорога система для масового використання в ході проектування об'єктів у машинобудуванні, архітектурі, будівництві, дизайні. На основі базових можливостей ДОЗ розроблено ряд додатків: WCUTS і LOM – системи пошарового лазерного синтезу, SHIP – 3D-моделювання конструкцій корабля і планово-технологічної підготовки виробництва, DEVELOP – проектування розгорнень повітроводів, ДОЗ-ДИЗАЙН – проектування меблів, торгового устаткування, дизайн-інтер'єрів.

DOCSOpen – могутнє рішення корпоративного рівня, що надбудовується, для управління документообігом.

Spotlight, Vectorsy – системи обробки і векторизації сканованих растрових зображень для переведення в електронний вигляд паперових креслень, схем, карт та інших графічних документів.

Power MILL – сучасна система автоматизованої підготовки управляючих програм для багатокоординатної фрезерної обробки на верстатах із ЧПУ.

COSMOS/Works, InCheck (NASTRAN for SolidWorks), DesignWorks – спеціальні версії для SolidWorks широко відомих систем для міцнісних і теплових розрахунків.

MoldFlow Part Adviser, Polygon – системи для моделювання лиття з пластмас і металів.

В процесі проектування може також знадобитися не тільки підготовка документації на автономному носії, але й організація «on-line» доступу до

проекту. Для вирішення такого роду задач уже створені адекватні засоби UG/Gateway як для Unigraphics, так і для SolidEdge.

Модулі передачі даних в Internet.

1. UG/Web Render – частина модуля UG/Gateway. Він дозволяє переводити екранні зображення моделі Unigraphics у такі формати, як CGM, VRML, TIFF, MPEG, GIF і JPEG. Модуль являє собою набір інструментальних засобів для підключення Unigraphics як сервер до клієнтської частини браузера. З використанням UG/Open і архітектури Web можна побудувати велику кількість додатків. Можливо безпосереднє управління моделлю UG із клієнтського місця браузера. Цей модуль дозволяє створювати Web-сторінки, використовуючи дані з частин і збірок Unigraphics. Великий набір побудованих команд дає можливість користувачу виділяти такі дані моделі Unigraphics, як атрибути, визначення і дані, що зберігаються в електронній таблиці. У систему включені шаблони HTML для Unigraphics, що можуть використовуватися для швидкого створення власних шаблонів. Дані можуть бути доступні через модуль UG/Open API і включені у Web-сторінку. UG/Web Express забезпечує швидку передачу даних на Web, використовуючи стандарти Internet і комунікаційні технології CAD/CAM/CAE. Отриманий документ може бути переглянутий на будь-якому браузері.

2. Модуль Web Publisher спрощує публікацію інформації про виріб, що проектується, у форматі HTML. Він дозволяє користувачу швидко та легко створити Web – сторінки проєктованого в Solid Edge виробу. Модуль запускається прямо з вікна Solid Edge. Він містить інтерактивну процедуру з покроковим процесом створення Web-сторінки, що підтримує 3D-модель, структуру виробу, специфікацію й інформацію про файл, який містить модель. Програма створює Web-сторінки, точно відображаючи в ній твердотільну модель, яку можна побачити через будь-який стандартний браузер [2, 11].

Популярність Unigraphics, SolidWorks і Solid Edge дозволяє говорити про лідерство в цій області ядра Parasolid компанії UGS. Швидкі й точні математичні операції, підтримка багатопроцесорної обробки, моделювання 3D-об'єктів будь-якої складності, наявність більше 250 різних програм на Parasolid і понад півмільйона їхніх користувачів – усе це вплинуло на рішення про ліцензування Parasolid для побудови T-FLEX. Починаючи з версії 7.0, користувачі одержали можливість працювати в повнофункціональній САПР і прямо обмінюватися геометричними даними з іншими системами через модуль, що дозволяє за моделями у форматі Parasolid оформляти технічні креслення. Робота з єдиною структурою даних та час моделювання окремих деталей і збірних конструкцій

виключає непродуктивні втрати часу розробників, зокрема, в процесі паралельної роботи. Ключовою відмінністю T-FLEX CAD стала можливість моделювання збірних конструкцій за схемою «зверху – вниз», від збірки до деталі. Конструктор може після створення збірної моделі виділити будь-яку деталь в окремий файл для подальшої доробки чи використання в інших збірних моделях. При цьому зберігаються всі параметричні зв'язки, які дозволяють реалізувати швидку й точну модифікацію проектів.

Використання могутнього геометричного ядра Parasolid дозволяє створювати моделі складної геометрії, що робить інструменти T-FLEX ефективними не тільки для машинобудування, приладобудування, будівництва, радіотехніки, але й для авіа-, суднобудування.

CALS-технології, що активно розвиваються, вимагають розвинутих систем управління, і тут знову на одне з перших місць виходять системи PDM.

PDM – система Part'97 (компанія Люція-Софт) цілком адаптована до вимог вітчизняних стандартів в області проектування, має прийнятну ціну і відрізняється гнучкістю настроювання, що дозволяє використовувати її у різних галузях народного господарства.

Part дозволяє управляти інформацією, необхідною для проектування виробу, підготовки виробництва, виготовлення, комплектації, подальшого супроводу. Part підтримує режим паралельної колективної роботи різних груп користувачів і забезпечує управління всією інформацією, що стосується виробу.

Це підвищує продуктивність праці за рахунок автоматизації виробничих інформаційних процесів, можливості управління ЖЦВ і досягнення поставлених цілей з мінімальними витратами.

Part забезпечує:

- цілісність даних – вся інформація з проекту зібрана в одному місці;
- управління версіями, виконанням та варіантами;
- автоматизацію процедур випуску й зміни проектної документації;
- збереження інформації з проекту в електронному вигляді з надійним захистом від несанкціонованого доступу.

Як результат:

- зменшення часу виходу на ринок;
- зменшення помилок у ході проектування;
- зменшення часу на переробку (виправлення) документів;
- збільшення ефективності роботи конструкторів і проектувальників;
- збільшення продуктивності праці співробітників.

За допомогою Part і додаткових модулів можливо здійснювати:

- управління документами;

- виклик додатків для обробки документів;
- паралельний обіг електронних і паперових документів у рамках одного проекту;
- автоматизоване складання специфікації на виріб;
- інтеграцію з різними САПР;
- управління конфігурацією та структурою виробу;
- управління конфігурацією з підтримкою можливості створення варіантів і виконань.

Part може використовуватися як самостійний додаток, або краще, як складова частина системи технічного документообігу та управління проектними даними масштабу підприємства. Так, Part цілком інтегрована з однією з лідируючих на світовому ринку систем управління документами (СУД) DOCS Open (PC DOCS та ін.) і рішеннями на її основі. Таким чином, використання системи Part у рамках єдиного рішення із системою автоматизації документообігу й електронного архіву дозволяє вирішити такі задачі:

- архівне збереження документів;
- документообіг у масштабах підприємства;
- групова робота співробітників над проектом і управління проектною інформацією протягом усього життєвого циклу виробу;
- автоматизація проведення змін;
- введення інформації у систему управління документами з паперових носіїв із прив'язкою їх надалі до структури виробу.

Таким чином, система Part має всі можливості системи PDM світового рівня та вартість, прийнятну для українського ринку.

PDM-системи TeamCenter – це PDM-системи вищого рівня, які забезпечують акумулювання всіх даних проектно-конструкторських робіт у рамках єдиної системи.

Ряд продуктів PLM/PDM, який поставляється фірмою IBM і, отже, є рідними для системи САТІА, представлена трьома продуктами: ENOVIA VPM, ENOVIA LCA, Team PDM SmarTeam. Усі три системи підтримують роботу з конструкторськими та виробничими даними, але мають різну функціональну спрямованість. За необхідності може забезпечуватися взаємна сумісність розглянутих систем, а також сумісність з іншими CAD/PDM-системами як засобами інтеграції, так і за допомогою порталів ENOVIA/SmarTeam.

Система ENOVIA VPM призначена переважно для забезпечення процесу проектування і є неперевершеною в частині підтримки цифрової моделі, управління конфігураціями, проектування в контексті тощо

В умовах українського ринку сполучення високої функціональності системи Team PDM SmarTeam і унікальних можливостей її впровадження робить цю систему кандидатом номер один для реального впровадження в Україні. Система Team PDM – SmarTeam за своєю функціональністю може бути віднесена до класу CPC (Collaborative Product Commerce) із розвинутою функціональністю, а також розглядатися як CPD (Collaborative Product Development) система початкового рівня. У випадку використання Team PDM – SmarTeam як основної PDM-системи підприємства, частина функціональності в області CPD (підтримки цифрової моделі й ін.) забезпечується за допомогою засобів системи CATIA (DMU), компонента системи ENOVIA DMU Navigator і побудованих засобів інтеграції систем.

Team PDM являє собою модифіковане розширене ядро SmarTeam. Головне розширення полягає в тому, що у вихідне ядро системи компанія DASSAULT SYSTEMES включає засоби інтеграції із системою автоматизованого проектування CATIA. Крім того, розширене ядро містить також і інші компоненти, що не входять у стандартне ядро SmarTeam.

Найбільш розвинутими PDM-функціями системи SmarTeam порівняно з іншими системами класу PDM є:

- управління документообігом (TDM);
- управління інженерними змінами (ECO);
- управління бізнес-процесами (Workflow);
- інтеграція з різними CAD-системами.

Використання унікальних засобів кастомізації і відкритих API COM інтерфейсів SmarTeam дозволяє надбудовувати систему на роботу з довільними структурами і поданням даних відповідно до заданих стандартів (наприклад, ЄСТД і ЄСКД). Система забезпечує роботу більш ніж із 150 форматами даних і має засоби інтеграції з найбільш розповсюдженими CAD-системами, а також із MS Office.

Система стандартно поставляється для роботи із системами управління базами даних (СУБД) Interbase, Oracle і MS SQL Server. Вона може бути налаштована на роботу з будь-якою реляційною СУБД, що має достатню функціональність, наприклад, DB/2, Informix і ін. Обмін даними з менш розвинутими СУБД можливий через механізм імпорту/експорту.

За 200 параметрами оцінювалися 13 провідних продуктів управління потоками робіт – BizFlow 2000, COSA Workflow, DOLPHIN, Eastman EW, InTempo, MQseries Workflow, SERfloware, Staffware, TeamWARE, TIB/InConcert, Visual Workflowand, W4 і WFX.

Виділені такі переваги Staffware – збалансованість функціональних і адміністративних можливостей, що покривають майже всі вимоги користувачів:

висока продуктивність, середовище об'єктної розробки, мова сценаріїв, що підтримують клієнти Windows і Java, інтерфейси до Lotus Notes, Microsoft Exchange і популярних серверних систем електронного обміну даними (EDI).

Слід відзначити гнучкі Інтернет-можливості BizFlow 2000, серйозний прогрес Інтернет-версії W4, високий рівень інтеграції SERfloware із системами обробки документів і навчання SERdocware/SERbainware, стикування COSA Workflow з організаційною моделлю Baan ERP, засоби оптимізації й об'єднання з іншими додатками за допомогою XML у MQseries Workflow, розширення можливостей розгортання InTempo, підтримку документообігу в Visual Workflowand і засоби роботи з графікою в Eastman EW.

Staffware забезпечує інтерфейс між каналами постачань і з усіма складовими архітектури системи. Продукт Staffware 2000 розроблений для спільної роботи з різноманітними корпоративними додатками. Використання ядра Staffware і WEB-клієнта надає ідеальну платформу, із якою можна розвиватися та використовувати переваги нових технологій без зміни базової інфраструктури системи.

Розробники ERP-систем починають розуміти, що скільки б функцій вони не додавали, корпоративні бізнес-процеси завжди залишаються набагато обширнішими, ніж їхні поточні пропозиції. ERP-системи стали поставлятися як набір «відкритих» технологій, що дозволяють більш «точно і ємно» автоматизувати корпоративні бізнес-процеси та інтегруватися з продуктами CRM третіх фірм.

Технологія SEO Staffware полегшує співробітництво з ERP-системами, користувальницькими додатками й іншими продуктами, покликаними реалізувати рішення CRM, із лідерами на ринку інтеграції корпоративних додатків (EAI) – BEA, Candle, Active Software. Це забезпечує користувачів можливістю обрати кращі у своєму класі продукти EAI що дають єдину точку інтеграції додатків у масштабах корпорації (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Ключові принципи ефективності управління взаєминами з клієнтами

Принцип	Визначення	Переваги Staffware
1	2	3
Економічна сегментація	Компанія приймає рішення в області маркетингу, продажу і сервісу, базуючись на чіткому розумінні значимості клієнта, його недоліків і переваг	Напрямок руху завдань Workflow може бути динамічно змінено, виходячи з історії взаємин із замовником, його перевагами і значимістю. Різні бізнес-процеси можуть бути з'єднані разом для підтримки циклу відносин із замовником

Продовження табл. 1.5

1	2	3
Пам'ять організації	У ході звертання замовника в компанію всі її співробітники (від сервісних служб до служб підтримки й продажу) повинні мати знання про попередні контакти, невирішені питання і очікувані можливості	Під час взаємодії із замовником у реальному режимі часу доступний статус поточної транзакції й історія попередніх транзакцій
Співробітництво	Замовники включаються в процес опису, проектування і\чи доставки бажаного результату	Рішення класу e-Commerce від Staffware надають замовникам можливість безпосередньо брати участь у бізнес-процесах – від визначення потреб процесу до завершення задачі
Розподіл контактів	Замовникам мають бути доступні різні способи ведення бізнесу з вашою компанією, що визначаються відповідно до потреб замовника та їх значенням для вашого бізнесу	SEO інтегрується легко з технологіями, що підтримують різні канали взаємодії. Система Staffware здатна управляти процесом в умовах поточного та майбутнього стану інфраструктури компанії. Staffware робить доступним управління процесом за допомогою WEB для самообслуговування чи безпосередньої взаємодії клієнта з персональним менеджером
«Тут і зараз» One&Done	Замовники очікують задоволення своїх запитів у процесі свого першого контакту	Staffware допомагає поліпшити показник «обслуговувати відразу» за рахунок інтеграції різних каналів зв'язку з поточним статусом корпоративних бізнес-процесів
Управління інформацією в реальному масштабі часу	Співробітники мають доступ до актуальної інформації у реальному масштабі часу, щоб забезпечити замовнику сервіс і вирішення його проблем без зволікання	Staffware дозволяє в реальному часі співробітникам і клієнтам контролювати і мати доступ до бази знань, що сприяє підвищенню ефективності операцій і прийнятих рішень, таких, як активізація процесу, перерозподіл робочого навантаження, визначення статусу задачі, призначення пріоритетів тощо

Продовження табл. 1.5

1	2	3
Статистика відносин із замовником (Customer Scorecard)	Підключення співробітників до інформації про специфічні характеристики замовника (сталість відносин, платоспроможність, середній обсяг закупівлі тощо)	Staffware зберігає інформацію про динаміку зміни бізнес-процесів, що дозволяє одержати аналітику показників, критичних для процесу – час виконання замовлення, час ухвалення рішення замовником, час постачання, тобто зв'язати роботу персоналу з поведженням замовника в єдину картину
Завершеність процесів	Агрегування інформації фронт-офісу (зовнішніх процесів) і ВАС-офісу (внутрішніх процесів)	Staffware гарантує одночасне відновлення інформації у всіх системах, як тільки замовник зробив вибір чи задача завершена, що досягається за рахунок інтеграції всіх задач у рамках усього процесу від Call-центру і CRM-технології до успадкованих додатків і ERP- систем, що функціонують в офісі
Зворотний зв'язок	Компанії приймають і використовують оцінки своїх клієнтів за якістю обслуговування та задоволеності їхніх потреб і безупинно враховують ці оцінки в бізнес-процесах і операціях	Графічний будівник процедур Staffware (Staffware's Graphical Definer) дозволяє швидко визначати, модифікувати та впроваджувати процеси в реальну діяльність. За рахунок цього досягається безупинна еволюція процесу
Безупинне накопичення досвіду	Управління всіма контактами між вашою компанією та клієнтами в єдиному середовищі дозволяє «накопичувати» досвід взаємин із клієнтами	Інтеграція різних каналів у єдину структуровану систему в рамках єдиного бізнес-процесу гарантує, що клієнт одержує найбільш якісний сервіс, відповідно до його значимості

Суть технології розробки стандартів IETP полягає в розробці засобів формального опису структури електронних документів, які створюються. Відповідно до існуючих стандартів – для опису структури використовується мова SGML, введена стандартом ІСО 8879. IETP розробляються за допомогою комплексу засобів підготовки – Technical Guide Builder (TGB).

Впровадження системи управління даними про виріб (PDM) – це практична реалізація елементів системи якості – «управління документацією».

Системи PDM і ERP можна й потрібно розглядати як засіб інформаційної підтримки процесів управління якістю. Сьогодні ми можемо зберігати в PDM властивості та характеристики конкретних екземплярів виробів і агрегатів, результати випробувань і контролю, дані про постачальників, можемо знати, за яким контрактом куплений матеріал, з якого виготовлена та чи інша деталь.

Одним із відомих засобів електронного цифрового підпису є криптопровайдер «Криптопро CSP» призначений для:

- авторизації й забезпечення юридичної значимості електронних документів у ході обміну ними між користувачами за допомогою використання процедур формування та перевірки ЕЦП відповідно до стандартів ГОСТ Р 34.10-94, ГОСТ Р 34.11-94;

- забезпечення конфіденційності та контролю цілісності інформації за допомогою її шифрування та імітозахисту, відповідно до ГОСТ 28147-89;

- контролю цілісності, системного та прикладного програмного забезпечення для його захисту від несанкціонованої зміни чи від порушення правильності функціонування;

- управління ключовими елементами системи відповідно до регламенту засобів захисту.

Базова програмна оболонка для Бібліотек шифрування й електронного цифрового підпису (Win32) Верба-OW дозволяє користувачу в діалоговому режимі криптографічними методами вирішувати задачі захисту інформації під час її збереження і передачі каналами зв'язку.

На рівні файлів виконуються такі функції:

- шифрування/розшифрування за ключами, включаючи імітозахист;
- шифрування забезпечує збереження інформації у таємниці, неможливість її прочитання без знання ключа;
- формування/перевірка електронно-цифрового підпису.

ЕЦП забезпечує підтвердження авторства й дійсності повідомлення. До сертифікованих ФАПСІ засобів криптографічного захисту інформації належать «Крипто-Про CSP», «Про» і «Crypton».

На думку експертів, 75% витрат у структурі собівартості національного валового продукту припадає на організацію управління ресурсами. Оптимізація цих витрат за рахунок процесної організації управління виробництвом і перекладу більшості процесів у взаємозалежні процедури, які здійснюються в реальному режимі часу, дозволить вивільнити до 60% витрат із структури собівартості промислової продукції. Сучасні ІТ надають таку можливість.

ІТ – це інструментарій для виявлення потенціалу виробництва і його втілень у виробленій продукції. Рівень розвитку інструментарію ІТ досяг такого рівня, коли він дозволяє інформаційно об'єднати не тільки процеси управління окремого підприємства, але й групи підприємств у всьому життєвому циклі існування виробу. ІТ носять прикладний характер, і необхідно розуміти, чи будуть вони доречні в цьому середовищі.

1.4 Передумови впровадження CALS-технологій

У 60-х роках ХХ століття в зв'язку з розвитком засобів обчислювальної техніки проектування виробу стало поступово переводитися в комп'ютерне середовище, з'явилися перші системи автоматизованого проектування (САПР). За допомогою САПР з'явилася можливість створювати набагато більш складні вироби, ніж до їхньої появи, спростити процеси проектування та внесення змін у виріб, зв'язати між собою різні етапи ЖЦВ. Так, із застосуванням САПР став можливим автоматичне переведення геометричної моделі деталі в програму її виготовлення для верстата з ЧПУ.

Водночас з появою САПР стали з'являтися нові проблеми. Справа в тому, що жодному з виробників САПР не вдалося зайняти домінуючого положення на ринку, що призвело до ситуації, за якої на різних підприємствах, що співробітничать, а найчастіше й у рамках одного підприємства, використовуються САПР різних розробників. Перевага паперового креслення полягає в тому, що ознайомитися з ним можна без будь-яких додаткових засобів, а для його редагування досить олівця. Креслення чи інша модель виробу, створено в САПР, марні, якщо немає доступу до самої САПР. Несумісність різних САПР з іншими програмними системами, які використовуються протягом ЖЦВ, значно скорочувала можливості кооперації між різними підприємствами в ході створення складних виробів. Викликала дорікання й необхідність закупівлі однорідних систем окремим підприємством.

Перші роботи в області інтеграції різних САПР стартували в США на початку 70-х років. Першим практичним результатом цих зусиль стала специфікація IGES (Initial Graphics Exchange Specification – Базова Специфікація Графічного Обміну), що дозволяла організувати обмін графічними даними між САПР. Природно, що IGES не була позбавлена недоліків, одним з яких була відсутність міцної методологічної та наукової основи. Це призвело до початку робіт у 1982 році в рамках ініціативи PDDI (Product Data Definition Interface – Інтерфейс Завдання Даних про Виріб).

Метою PDDI (роботи велися в рамках програми «Комп'ютерне Інтегроване Виробництво» ВВС США) було створення механізму обміну даними, чи спільного використання даних без участі людини. Багато напрацювань були потім використані під час створення стандарту STEP.

Роботи з промислової інтеграції велися й у Європі. Так, ще в 1977 році європейська аерокосмічна промисловість в особі асоціації АЕСМА визнала важливість цієї проблеми і розпочала розробку загального обмінного формату для представлення поверхонь; лідером робіт виступала Великобританія. У ФРН у 1982 році спільними зусиллями підприємств автомобільної промисловості був розроблений стандарт VDA-FS для вирішення аналогічних проблем. Нарешті, у Франції підприємства аерокосмічної й автомобільної промисловості в 1983 році створили національний стандарт SET.

У 1984 році були остаточно усвідомлені значні обмеження специфікації IGES. Глобалізація бізнесу, збільшення складності виробів, збільшення кількості постачальників, розмаїтість використовуваного програмного забезпечення (ПЗ) призвела до необхідності підтримки ЖЦ, це поклало початок роботам за програмою PDES (Product Data Exchange Specification – Специфікація Обміну Данями про Виріб). Ця специфікація мала розроблятися, маючи під собою чітку методологічну та наукову основу і переважно спираючись на логічне засідання підкомітету ISO TC184/SC4, яке поклало початок розробці міжнародного стандарту для обміну даними про виріб ISO 10303 STEP. Основою, на якій передбачалося розробляти цей стандарт, стали практично всі попередні роботи. IGES, PDDI, АЕСМА, VDA-FS, SET, згодом відбулася інтеграція зусиль із програмою PDES. У процесі створення STEP велику роль зіграла міжнародна електротехнічна комісія (IEC). У 1994 році були офіційно опубліковані перші томи нового міжнародного стандарту ISO 10303.

Використання концепції CALS дає можливість реалізувати програмне управління на всіх етапах виробництва, включаючи складання та контроль геометричних розмірів. Сучасні принципи CALS базуються на локальних рішеннях, розроблених і реалізованих на попередніх етапах розвитку інформаційних систем (САПР-К, САПР-Т, АСУТП, АСУ різних рівнів (CAD/CAM/CAE/PDM), окремі комп'ютеризовані виробництва). У цьому контексті CALS можна розглядати як стандартизований комплекс цифрових технологій роботи з даними, що характеризують етапи ЖЦ продукту (із даними про сам продукт, процеси й середовище), спрямованими на їх ефективне спільне використання [3].

Створення на підприємствах чи в проектних організаціях комп'ютерних мереж дає величезний позитивний економічний ефект у всіх сферах їхньої діяльності: від підвищення ефективності управління персоналом до автоматизації бухгалтерських задач.

Необхідність створення на підприємствах систем автоматизованого проектування нині ні в кого не викликає сумнівів. Особливо гостро ця проблема постає перед підприємствами космічної, авіаційної, машинобудівної й інших наукоємних галузей промисловості [4].

Бурхливий розвиток ІТ призвів до того, що розробка та випуск конкурентоздатної наукоємної продукції неможливий без використання сучасних засобів автоматизації проектування на всіх етапах ЖЦВ – від дизайнерського задуму до виробництва й утилізації.

Значною мірою розвиток САПР в усьому світі спрямований на інтеграцію програмних продуктів у єдину програмну платформу, а не на комбінацію різних систем. Саме тому всі «важкі» системи (Unigraphics, Pro/Engineer, Catia), пропонують інтегровані рішення в рамках єдиної програмної платформи.

Програмна платформа, що забезпечує комплексне вирішення задач конструкторсько-технологічної підготовки в широкому значенні має відповідати таким ключовим властивостям:

- параметризація, як на рівні 3D-моделі, так і під час підготовки креслярської та технологічної документації;
- геометричне ядро, що розвивається, 3D-моделювання;
- інструментарій для адаптації та створення додатків;
- підтримка CALS-технологій.

Розглянемо реалізацію такої програмної платформи на основі системи T-FLEX.

Зараз серед засобів тривимірного твердотілого моделювання практично немає систем, що не мали б параметричних можливостей. Більшість доступних систем не дозволяє одержувати параметричні креслення будь-якої складності, включаючи складальні; у кращому випадку системи оснащуються параметричними бібліотеками стандартних елементів.

У таких системах, як SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Mechanical Desktop, Inventor, використовується параметрична підсистема компанії D-CUBED, побудована на параметризації по розмірах. Ця підсистема орієнтована, насамперед, на побудову ескізів для тривимірних операцій.

У T-FLEX використовується геометрична параметризація. Параметризуються всі елементи: лінії, збірки, тексти, атрибути елементів. При цьому параметри

можуть бути пов'язані будь-якими відношеннями. Якщо ж користувачу немає необхідності використовувати параметризацію, то можна працювати так як і в інших системах проектування, наприклад, у AutoCAD. У тривимірному моделюванні параметризація ефективно слугує для побудови ескізів і зміни будь-яких атрибутів тривимірних операцій. Крім того, під час перерахування змінених моделей часто виникають проблеми відновлення ланцюгів операцій (для ідентифікації вихідних елементів). Це стосується окремих деталей, складальних конструкцій, що мають схильність «розсипатися», і креслень, отриманих на основі тривимірних моделей. У версії T-FLEX CAD 7.1 передбачений новий механізм асоціативної параметризації, що розширив рамки параметричної модифікації складних моделей.

Сучасні інтегровані САПР (такі як система Unigraphics) дозволяють автоматизувати весь спектр конструкторсько-технологічних проблем, що стоять перед сучасним підприємством, яке випускає або проектує наукоємну продукцію [4].

Інтегровані САПР дозволяють:

- різко підвищити якість продукції, що випускається;
- скоротити терміни розробки нових виробів і розширити асортимент продукції, що випускається;
- скоротити виробничий цикл;
- вийти на світовий рівень виробництва і сертифікувати його на відповідність міжнародним стандартам якості серії ISO 9000. Це є необхідною умовою для ведення міжнародного бізнесу.

Впровадження сучасних інтегрованих САПР докорінно змінює концепцію проектування та виробництва. В основі нового підходу лежить створення електронної моделі виробу (ЕМВ) і принципи спільної роботи колективу розробників у єдиному інтегрованому середовищі.

Розробка ЕМВ у сучасній САПР вищого і/чи середнього рівня (системи Unigraphics і/чи Solid Edge) дозволяє :

- спроектувати на основі математичної моделі технологічне оснащення, необхідне для виробництва;
- провести всі необхідні інженерні аналізи та розрахунки;
- підготувати комплект конструкторсько-технологічної документації на виріб;
- одержати програми для верстатів з ЧПУ і виготовити оснащення і вироби.
- створити між усіма компонентами системи, постійну взаємодію й автоматичну передачу змін між форматворними поверхнями деталей, складань,

техоснастки, програмами для ЧПУ й конструкторсько-технологічною документацією;

– організувати електронний документообіг, що забезпечує миттєвий доступ до необхідної та достовірної інформації про виріб для всіх розробників (на основі систем iMan і/чи UG/Manager, TeamCenter).

До спеціалізованих систем, що автоматизують окремі задачі конструкторсько-технологічних робіт, належать: випуск креслень (AutoCAD MechanICS, T-FLEX CAD 2D, T-FLEX CAD 3D), розробка технологічних процесів (T-FLEX / Технопро) тощо

Важливим елементом CALS-технології є програми PDM – системи ведення проектів і документообігу. Якщо простежити тенденцію розвитку САПР, то стане очевидним, що останнім часом усі найбільші розробники програмного забезпечення приділяють цим системам серйозну увагу (Windchill (PTC), IMAN (UGS)). В Росії також протягом багатьох років розробляються подібні системи, зокрема, T-FLEX DOCS. Ці системи цілком логічно укладаються в концепцію CALS-технологій, але головне, що вони вирішують реальні задачі, які виникають на підприємствах.

Деякі відомі розробники ПЗ вважають необхідним проходити процедуру сертифікації на відповідність стандарту ISO 9000-3. Свого часу найефективнішою була інша модель стандартів, запропонована Американським Інститутом Програмної інженерії (Software Engineering Institute – SEI) – модель зрілості процесу розробки ПЗ. Система SEI CMM (Capability Maturity Model) дозволяє на основі оцінки процесів розробки віднести організацію до одного з п'яти рівнів відповідності якості. Здавалося, що CMM – прямий і серйозний конкурент стандартам ISO серії 9000. Але, при найближчому розгляді, з'ясувалося, що SEI CMM створювалась з метою отримання обґрунтованих процедур для оцінки і подальшого розвитку технологій в організаціях, які претендують на замовлення на розробку оборонних проектів. Іншими словами, методологія CMM розроблювалась з подачі Міністерства Оборони США. З усього сказаного випливає, що CMM повною мірою може бути задіяна в організаціях, які розроблюють складні (наприклад, ті, що працюють у реальному часі) системи з тривалим часом життя, – тобто тільки там, де дефекти у ПЗ можуть призвести до техногенної катастрофи. На сьогодні лише одиниці з Hi-Tech-компаній зуміли досягти вищого (Optimized) п'ятого ступеня ієрархії CMM. А ось 85% фірм, які намагалися пройти сертифікацію по CMM, за деякими оцінками, належать до початкового (Initial) рівня. Ось чому українські та російські розробники ПЗ, в основному, віддають перевагу

сьогодні стандартам ISO серії 9000. Виняток складають лише ті компанії, які працюють на ринку офшорного програмування, тобто виконують зарубіжні та насамперед американські замовлення на розробку ПЗ.

Рішення задач управління якістю в забезпеченні заданих показників надійності складних технічних виробів, що мають тривалий ЖЦ, неможливе без застосування інформаційних CALS-технологій. Оволодіння механізмами реалізації цих принципів дозволить створювати вироби з заданою ознакою якості в умовах стійкого процесу із заданим рівнем настроювання. Для успішного вирішення цих задач необхідно визначити рівень CALS-готовності підприємства.

CALS-готовність конструкторсько-технологічної інформаційної підсистеми підприємства – це здатність оперативно забезпечувати всі задіяні підрозділи і сторонні організації достовірною інформацією про виріб і ресурси, необхідні для забезпечення його працездатності в будь-який момент часу. Доцільно також визначити деякий чисельний критерій CALS-готовності.

В ідеальному випадку вся необхідна інформація про випущений раніше виріб або безпосередньо міститься у електронній інформаційній системі, або може бути отримана автоматично на основі іншої наявної у системі інформації. Будь-яка неформальна обробка виключається. З погляду отримання вигоди від CALS-технологій підприємству-виробнику необхідна електронна експлуатаційна (ремонтна) документація у відповідному форматі.

Жодна система PDM не є сама по собі універсальним рішенням задач CALS-технологій. Необхідно визначити чіткі правила, за якими система документування має функціонувати в нових умовах. Звичайно, можна придумати нову систему із зовсім новими правилами, але чи так погана Єдина система конструкторської документації? Навіть якщо буде винайдена зовсім інша система, то підприємство все рівно буде змушено спілкуватися зі своїми суб- чи генпідрядниками в тій системі, що їм зрозуміла. Необхідно знайти еволюційний шлях, який дозволяв би працювати зі старою документацією настільки ефективно, наскільки це можливо, і водночас не гальмував впровадження сучасних технологій проектування і підготовки виробництва.

Насамперед слід зазначити: електронні документи, які розроблені згідно з ЄСКД і ЄСТД, мають право на життя. Щодо основного документа, то для складальної одиниці, комплексу чи комплекту жодних нововведень не потрібно. Електронні документи можуть включатися в розділ «Документація» за ГОСТ 2.106-96 (розділ 3.4) і в розділ 5 ГОСТ 28388-89. На наш погляд, доцільно відмовитися від визначення неспецифікованих складових частин.

Деталі можна визначати специфікацією, що складається винятково з розділу «Документація», включаючи в неї всі документи, що описують цей виріб. У цьому випадку основним документом також буде специфікація. Дане рішення, яке застосовується на ряді підприємств, зветься «паспорт деталі». Коди документів, відсутні в ГОСТ 2.102-68, можуть бути визначені на рівні стандарту підприємства (СТП). Однак було б доцільно опрацювати це питання централізовано.

Основні складнощі й втрата часу пов'язані з необхідністю виконувати неформальне опрацювання документації. Пункт 3 Додатка 5 ГОСТ 2.503-90 говорить: «На один документ допускається одночасна дія не більше чотирьох попередніх повідомлень (ПП)». Це означає, що документ тільки 20% часу знаходиться в статичному стані. Інший час (80%) документ і відповідні повідомлення мають творчо пророблятися. Така увага до ПП пов'язана з тим, що їхня дія носить тимчасовий характер і зміст зміни не обов'язково має вноситися в оригінал. Цією обставиною активно користуються для створення варіантів конструкції без зміни оригіналів. У результаті на виріб, випущений за ПП, немає оригіналу, що відбиває його реальний вид. Щоб у майбутньому розібратися, як виглядав виріб, крім документації будуть потрібні книга реєстрації повідомлень і самі повідомлення.

Сьогодні середня кількість ПП для одного документа в першому наближенні характеризує CALS-готовність конструкторсько-технологічної інформаційної підсистеми підприємства. Для кількісної оцінки наочніше використовувати таку величину:

$$\text{CALS-готовність} = 1 / (\text{середня кількість ПП} + 1), \text{ виражену у відсотках.}$$

Причини, за якими зміни оформляються ПП, чи вносяться закресленням, підчищенням і іншими подібними способами, а не заміною документів, добре відомі. Виготовлення, розмноження та розсилання паперової документації вимагають великих витрат – як фінансових, так і часових. А обходитися без паперового креслення виробництво ще довго не зможе, та й навряд чи це взагалі можливо. Крім того, далеко не всі субпідрядники готові прийняти електронну конструкторську документацію. Для цього єдиний вихід – скорочувати кількість змін.

Радикально скоротити кількість помилок і спростити відпрацювання конструкції дозволяє повний електронний макет виробу. Крім того, він дає можливість швидко й безпомилково доопрацювати виріб під вимоги замовника. Прогнозувати динаміку можливостей субпідрядників досить складно, і тут може допомогти тісна інтеграція на всіх стадіях життєвого циклу

виробу. Електронний макет комплектуючого виробу дозволить усунути помилки (і, як наслідок – зміни) в процесі компонування основного виробу.

Зрозуміло, що неможливо відразу перейти від креслень до повного електронного макета виробу. Втім, вибравши критичні компоненти виробу та створивши їх повний електронний макет, можна значно скоротити кількість помилок і усунути необхідність внесення змін чи випуску ПП до цих компонентів і, в такий спосіб дещо підвищити CALS-готовність конструкторсько-технологічної інформаційної підсистеми підприємства. Наступним кроком може бути створення електронних макетів інших компонентів тощо – аж до створення електронного макета усього виробу і навіть процесу виробництва. Таким чином, CALS-готовність можна підвищувати планомірно, поступово переходячи від паперових креслень до повного електронного макета усього виробу [12].

Формат STEP всередині підприємства на стадії проектування і виробництва виробу неефективний, тому що не дозволяє реалізувати сучасну методологію проектування та підготовки виробництва, засновану на реалізації ідеологій майстра-моделі, концептуальної моделі, керованої асоціативності та паралельного інжинірингу, крім того, що відповідного прикладного протоколу для багатьох дисциплін взагалі не існує. В процесі виконання модернізації та ремонту також набагато зручніше використовувати інформацію в оригінальному форматі CAD/CAM-системи, оскільки в цьому випадку зберігаються усі встановлені раніше параметри й асоціативні зв'язки, що дозволяє зберегти той самий рівень зручності роботи з конструкцією, що й на попередніх стадіях ЖЦ. Електронний макет має бути максимально ефективним із погляду ЖЦВ.

Система управління даними виробу з погляду CALS-технологій має керувати всім різноманіттям електронної і, на жаль, ще досить довго, паперової документації протягом усього ЖЦВ, а також підтримувати методику проектування та підготовки виробництва, реалізовану в системі CAD/CAM. Інтеграція PDM і CAD/CAM має бути настільки повною й тісною, щоб жоден з аспектів електронних документів, які створюються конструкторами, технологами та іншими фахівцями, не залишався некерованим. Наприклад, багато систем проектування мають можливість задати параметри моделі через параметри іншої моделі, яка фізично знаходиться в іншому файлі. Якщо такий зв'язок залишається для PDM невидимим і, отже, некерованим, то це призводить до неможливості контролю стану моделі. Іншим прикладом є забезпечення відповідності записів у штампі креслення й інформації у

метаданих системи PDM. Ще однією можливістю системи PDM, на якій варто зупинитися, є ведення складу кожного екземпляра випущеного раніше виробу. У західній термінології це називається складом As built. В це дерево тим чи іншим способом мають включатися не тільки проектна конструкторська, але й ремонтна документація, результати контролю якості компонентів і т. п. Це стосується стадії виробництва. А на стадії експлуатації такими документами є бюлетені й інша інформація з експлуатації, ремонтів тощо. Специфіка дерева складу As built полягає в необхідності посилатися не просто на документ, а на конкретну версію документа актуальну на момент виробництва екземпляра виробу. В ЄСКД для вирішення цієї задачі передбачений механізм архівних копій. Розділ 1.3 Додатка 2 ГОСТ-2.501-88 говорить: «Архівні копії відображують стан конструкції чи технології виробу в періоди затвердження їх замовником, передачі оригіналів підприємствам виробникам, припинення виробництва даної конструкції...» Для електронних документів також можуть створюватися копії аналогічного призначення. Однак, якщо система PDM підтримує посилання на версії документів, то фізичне копіювання необхідне тільки для запису на автономні носії.

Обов'язковою умовою розвитку CALS-технологій є продумана й планомірна робота з розвитку нормативної бази підприємства та паралельне впровадження сучасних технологій проектування та підготовки виробництва.

1.5 Контрольні запитання та завдання

1. Дайте одне з визначень поняття «CALS-технології».
2. У чому полягає концепція CALS-технологій?
3. Що необхідно для реалізації концепції CALS-технологій?
4. Дайте визначення поняття «єдиний інформаційний простір».
5. Назвіть методи впровадження CALS-технологій.
6. Назвіть основні правила мережної економіки (правила Кевіна Келлі).
7. У чому полягає суть «віртуального підприємства»?
8. Що є методологічною основою CALS-технологій?
9. Назвіть основні компоненти CALS-технологій.
10. Які основні модулі передачі даних в INTERNET?
11. Назвіть основні передумови впровадження CALS-технологій.

2 СТАНДАРТИ CALS

2.1 Класифікація стандартів та інформації про виріб

До складу нормативної бази CALS входять як європейські норми, так і стандарти НАТО, федеральні стандарти США, стандарти Великобританії та деяких інших держав.

Стандарти і методичні матеріали в області CALS-технологій визначають загальний підхід, спосіб подання й інтерфейси доступу до даних різного типу, питання захисту інформації та її електронної авторизації (цифрового підпису).

В Україні в 2003 році прийнятий закон «Про електронний цифровий підпис» (N 852-IV від 22 травня 2003 року). Розробляється програма заходів щодо впровадження електронного документа, електронного документообігу та електронного цифрового підпису [13].

Нормативна база в області CALS-технологій повинна, зокрема, забезпечувати:

- регламентацію безупинної комп'ютеризованої підтримки життєвого циклу створення й експорту складної наукоємної продукції з урахуванням вимог міжнародних і зарубіжних стандартів;

- формування стандартизованого комплексу технологій роботи з даними, що мають відношення до життєвого циклу виробів, включаючи дані про сам продукт, процеси його створення та середовище, що в остаточному підсумку спрямовані на ефективне спільне використання даних;

- створення, впровадження й експлуатацію типових програмно-апаратних засобів;

- інтеграцію інформаційних систем різних рівнів і видів, систем автоматизованого проектування й автоматизованого виробництва на основі застосування технології відкритих систем і методів функціональної стандартизації.

Стандарти розділені на кілька груп, вони дозволяють у єдиних інтегрованих інформаційних моделях всебічно відобразити всі аспекти ЖЦВ – від формулювання вимог майбутнього виробу до юридичного супроводу інформації, що спільно використовується:

1. Функціональні стандарти регламентують процеси й методи формалізації даних про виріб, процеси і керівні матеріали з використання CALS-технологій у предметних областях діяльності: опису інформаційного

змісту процесів і формулювання вимог до інформації, необхідної для реалізації цих процесів. Ці стандарти визначають функціональні вимоги до процесів: управління конфігурацією, постачання запасних частин, технічного обслуговування, ремонту усіх видів, змін і відновлення інформації про виріб (послугу), а також повідомлення про несправності / рекламації.

2. Інформаційні стандарти описують дані про виріб і процеси: подаються загальні визначення інформаційних елементів, відносин, захисту даних і доступності даних. Ці стандарти спрямовані на забезпечення єдиного подання: тексту, графіки, інформаційних структур і даних про проект, даних для виробництва і для супроводу виробу; єдиного подання з передачею і збереженням інформації для документування даних про виріб. Наприклад, застосовуються такі стандарти:

- загальний опис елементів даних про вироби та доступ до них (STEP);
- формування бібліотек даних про комплектуючі вироби (P_LIB);
- подання виробничих даних (MANDATE);
- загальний опис текстової інформації (SGML);
- стандарт подання графіки (CGM), базова специфікація обміну графікою (IGES);
- експлуатаційна модель продукту (HyTime);
- загальний опис моделі ЖЦ виробу (IDEF) та ін.

3. Стандарти технічного обміну контролюють носії інформації й процеси обміну даними між передавальними та приймаючими системами (визначають загальний набір правил для обміну інформацією в цифровій формі). Ряд стандартів технічного обміну – це загальні правила цифрового обміну інформацією:

- з використанням CD-ROM (ISO 9660 і MIL-STD 1840B); в управлінні, торгівлі, транспорті (EDIFACT);
- з обміном даними по Internet.

4. Стандарти щодо захисту інформації представляють загальні вимоги до програмних та апаратних засобів захисту інформації (у тому числі шляхом застосування електронного цифрового підпису, включаючи алгоритми шифрування й управління ключами) у державному масштабі, у корпоративному застосуванні чи в рамках підприємства.

5. Стандарти з електронного цифрового підпису забезпечують інформаційну безпеку на основі методів і засобів захисту інформації, у тому числі шляхом обов'язкового підтвердження цілісності електронного документа й

автентифікації підпису (з використанням різних алгоритмів і кеш-функцій) для юридичного вирішення питань спільного використання інформації.

Ефективність застосування CALS-технологій вимагає неухильного дотримання всіма учасниками вимог регламентованих стандартів, процедур, правил, технічних рішень [8].

CALS-стандарти, що установлюють формати і правила електронного визначення виробу (Electronic Product Definition – EPD), обміну електронною інформацією, є ключовим вирішенням основних задач інформаційних технологій. При цьому забезпечується інформаційна інтеграція на основі таких інтегрованих моделей:

- виробу (продукту);
- процесів, які виконуються у ході бізнес-процесів ЖЦВ;
- середовища, у яких відбуваються стадії ЖЦВ.

Рівні моделі даних:

1. Стадії ЖЦВ:

- визначення потреби, функціональності, дослідження ринку – Маркетинг;
- проектування, конструювання, підготовка виробництва (у тому числі процеси закупівлі);
- виробництво, надання послуг, упакування, збереження;
- реалізація;
- установка, введення в експлуатацію, технічна допомога, обслуговування, експлуатація, утилізація.

2. Виріб (продукція):

- концептуальна модель;
- конструкторська модель;
- виробничо-технологічна модель;
- модель збуту (ціни, умови продажу та ін.);
- дані, необхідні для експлуатації, ремонту й обслуговування виробу, дані про хід експлуатації.

3. Процеси в ході ЖЦ:

- модель процесів маркетингу;
- модель процесів проектування, розробки, планування, закупівель тощо;
- модель процесів виробництва;
- модель процесів продажу;
- модель процесів експлуатації, ремонту й обслуговування.

4. Середовище, в якому відбуваються стадії ЖЦ:

- моделі ринку і його сегментів;

- модель інженерно-управлінського середовища;
- модель виробничо-технологічного середовища;
- модель середовища збуту (продажу);
- модель експлуатаційного середовища.

Кожен рівень моделі даних має своє наповнення на кожній стадії ЖЦВ, а самі рівні моделей пов'язані між собою, тобто за рахунок повного електронного визначення виробу (у тому числі процесів і середовища, в яких воно створюється й існує) забезпечується єдина наскрізна інформаційна підтримка всіх стадій ЖЦ на всіх рівнях. Відносно перспективи до системної архітектури ці інформаційні моделі є фундаментом для побудови як автоматизованих систем управління окремими стадіями ЖЦВ, так і їхньої інтеграції в єдину інтегровану систему (ІС).

Інформація про виріб – це набір даних, що породжуються і використовуються на всьому його ЖЦ і містять у собі інформацію про конфігурацію та структуру виробу, характеристики й властивості, організаційну інформацію (опис процесів, пов'язаних із зміною даних про виріб, необхідні ресурси – люди, матеріали тощо), інформацію про проведені контрольні випробування, документи, якими обростає виріб із моменту його проектування до його продажу і подальшого обслуговування тощо (рис. 2.1).

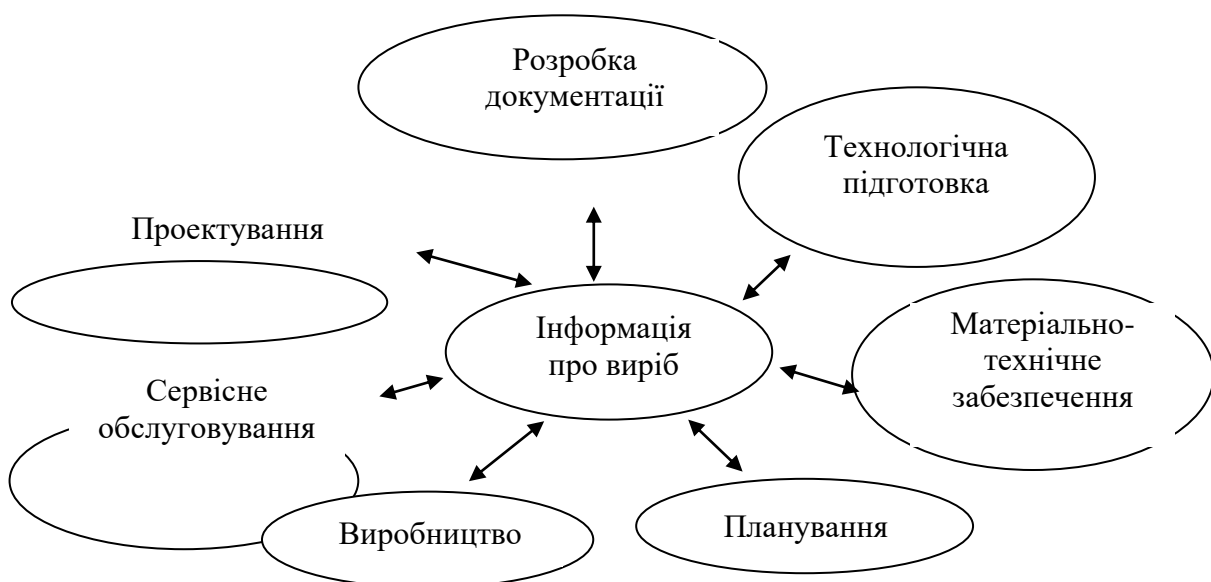


Рисунок 2.1 – Інформація про виріб і процеси життєвого циклу виробу

Весь обсяг інформації про виріб можна розподілити за етапами його ЖЦ:

1. Конструкторські дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, які породжуються у процесі проектування та розробки виробу, що містить

відомості про склад виробу, про геометричні моделі виробу, його компоненти та їхні технічні характеристики, про їхні відносини в структурі виробу, про результати розрахунків і моделювання, про допуски на виготовлення деталей тощо.

2. Технологічні дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, які породжуються на стадії технологічної підготовки виробництва й асоціюються з інформаційними об'єктами, що описують виріб і його компоненти. Містить відомості про способи виготовлення й контролю виробу і його компонентів у процесі виробництва (у тому числі вхідного контролю покупних виробів і матеріалів). Включає опис маршрутних та операційних технологій, норми часу й витрати матеріалів, програми управління для верстатів з ЧПУ, а також дані для проектування пристосувань і спеціального ріжучого та вимірювального інструмента тощо.

3. Виробничі дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, що породжуються у процесі виробництва, асоційовані з інформаційними об'єктами, що описують виріб і його компоненти, що містять зведення про статус конкретних екземплярів виробу і його компонентів у виробничому циклі.

4. Дані про якість виробу – сукупність інформаційних об'єктів, що з виконанням усіх видів контролю асоційовані з інформаційними об'єктами, які описують виріб і його компоненти, що містять зведення про ступінь відповідності конкретних екземплярів виробу і його компонентів заданим технічним вимогам, технічним умовам, вимогам стандартів та інших нормативно-технічних документів.

5. Логістичні дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, які породжуються у процесі проектування та розробки, асоційовані з інформаційними об'єктами, що описують виріб і його компоненти, які містять відомості, необхідні для інтегрованої логістичної підтримки виробу на поствиробничих стадіях ЖЦВ.

6. Експлуатаційні дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, які породжуються в процесі проектування та розробки, що містять відомості, необхідні для організації обслуговування, ремонту й інших дій, які забезпечують працездатність виробу. Включає інтерактивний електронний технічний посібник з експлуатації й ремонту (ІЕТР).

Дані про виріб займають значну частину загального обсягу інформації, що використовується в ході життєвого циклу. На їхній основі визначаються задачі виробництва, матеріально-технічного постачання, збуту, експлуатації,

ремонту тощо. Інформаційна інтеграція цих процесів і спільне використання даних забезпечуються застосуванням відповідних стандартів.

Інформація про виріб, що формується на окремих стадіях його життєвого циклу (маркетинг, проектування, виробництво, експлуатація й утилізація), широко використовується протягом усього ЖЦ. Інформація одержується за допомогою різних комп'ютерних систем, у тому числі розташованих у різних організаціях. Для організації єдиного інформаційного простору для всіх учасників ЖЦВ у CALS-технологіях пропонується застосування інтегрованої інформаційної моделі виробу, що містить у собі повну інформацію про виріб. Таким чином, виникає потреба в єдиній, зрозумілій для комп'ютерів формі подання інформації про виріб, а також має забезпечувати організацію інформаційного обміну між різними комп'ютерними системами.

За кордоном роботи проводяться в рамках ISO ТК184. У США й інших країнах НАТО розроблені нормативні документи, які включають міжнародні стандарти (ISO), федеральні стандарти США (FIPS), військові стандарти США (MIL), стандарти країн НАТО. Зараз більше 150 нормативних документів застосовуються на таких етапах життєвого циклу продукції, як проектування й аналіз бізнес-процесів, створення й експлуатація виробів, матеріально-технічне постачання (таблиця 2.1). Держстандарт Росії розглядає стандартизацію в області CALS-технологій як один із пріоритетних напрямків своєї діяльності [14].

Таблиця 2.1 – Фонд основних міжнародних і закордонних стандартів в області CALS-технологій

Групи НД	Призначення	Категорія НД	Кількість НД
1	2	3	4
Функціональні стандарти	Процеси і методи формалізації даних про виріб і процеси. Посібник із застосування CALS-технологій у предметних областях діяльності	MIL-HDBK (США)	1
Інформаційні стандарти (IC)	Загальний опис елементів даних про вироби, захист даних і доступ до даних: – подання даних про виріб (STEP);	MC ISO	28
	– формування бібліотек даних про комплектуючі вироби (P_LIB);	MC ISO	5
	– подання виробничих даних (MANDATE);	MC ISO	3

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
Інформаційні стандарти (ІС)	Загальний опис текстової інформації: - SGML;	МС ISO	9
	– HyTime.	МС ISO	1
	Загальний опис моделі ЖЦ виробу (IDEF)	FIPS (США)	4
		Усього ІС	50
Стандарти технічного обміну (СТО)	Загальні правила цифрового обміну інформацією:	МС ISO.	40
	– з використанням CD-ROM	MIL-Std (США)	1
	– обмін даними в управлінні, торгівлі, транспорті (EDIFACT)	НД МО США	10
	– обмін даними по Internet	МС ISO	9
		RFC	11
		Всього СТО	71
Стандарти по захисту інформації (СЗІ)	Захист даних, включаючи алгоритми шифрування й управління ключами	МС ISO	19
		FIPS (США)	4
		Усього СЗІ	23
Стандарти з електронного цифрового підпису (ЕЦП)	ЕЦП із використанням різних алгоритмів і кеш-функцій	МС ISO	6
		FIPS (США)	2
		Усього по ЕЦП:	8
		РАЗОМ:	153

Перелік основних міжнародних стандартів в області CALS-технологій:

1. Подання інформації про продукт

- ISO/IEC 10303 Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP);
- ISO 13584 Industrial Automation – Parts Library;

2. Подання текстової та графічної інформації :

- ISO 8879 Information Processing – Text and O;
- ISO/IEC 10179 Document Style Semantics and Specification Language (DSSSL);
- ISO/IEC IS 10744 Information Technology – Hypermedia/Time Based Document Structuring Language (HyTime);
- ISO/IEC 8632 Information Processing Systems – Computer Graphics – Metafile;
- ISO/IEC 10918 Coding of Digital Continuous Tone Still Picture Images (JPEG);

– ISO 11172 MPEG2 Motion Picture Experts Group (MPEG) Coding of Motion Pictures and associated Audio for Digital Storage Media;

– ISO/IECS 13522 Information Technology – Coding of Multimedia and Hypermedia Information (MHEG);

– ISO 8879 Information Processing – Text and Office System – Standard Generalised Markup Language (SGML);

3. Стандарти загального призначення:

– ISO 11179 Information Technology – Basic Data Element Attributes;

– ISO 3166 Information Processing – Country Name Representations;

– ISO 31 Information Processing Representation of Quantities and Units;

– ISO 4217 Information Processing – Currencies and Funds;

– ISO 639 Information Processing Coded Representation of Names of Languages;

– ISO 8601 Information Processing – Date/Time Representations.

Фундаментом CALS-технологій є система єдиних міжнародних стандартів ISO 10303 (STEP) і ISO 13584 (P_LIB).

STEP (STandard, Exchange, Product) – неофіційна назва стандарту ISO 10303. Кожен том документації ISO 10303 починається з однієї й тієї самої преамбули, що визначає призначення та структуру ISO 10303, а саме: «ISO 10303 – міжнародний стандарт для комп'ютерного представлення й обміну даними про продукт». Мета стандарту – дати нейтральний механізм опису даних про продукт на всіх стадіях його ЖЦ, який не залежить від конкретної системи. Природа такого опису робить його придатним не тільки для нейтрального файлу обміну, але й базисом для реалізації й поширення баз даних про продукт, а також для архівації.

ISO 10303 організований у серії томів, кожен з яких публікується окремо. Тома цього міжнародного стандарту розподілені за такими серіями: методи опису, інтегровані ресурси, протоколи додатків, набори абстрактних тестів, форми реалізації та тестування відповідності.

STEP – стандарт для обміну даними про виріб:

– задає повну модель виробу;

– задає способи реалізації обміну даними;

– незалежний від програмно-апаратної платформи.

Наведене визначення ISO 10303 потребує коментарів:

1. Під продуктом не обов'язково розуміти матеріальний продукт виробництва, продуктом вважається результат будь-якого процесу, наприклад, розробки технологічного плану.

2. Стверджувати, що ISO 10303 є стандартом обміну даними про продукт, можна лише з розширеним трактуванням STEP (ISO 10303) як стандарту, що включає в себе стандарти P_LIB і MANDATE. З технологічної точки зору це так і є, оскільки P_LIB і MANDATE будуються на базі стандарту STEP, запозичуючи з нього методи опису (мова EXPRESS), форми реалізації (обмінний файл та інтерфейс доступу до даних) і, за необхідності, інтегровані ресурси (інформаційні структури). З точки зору користувача, кожен з трьох стандартів має свою предметну область:

- P_LIB дає засіб опису продукту у сфері обігу (тут під продуктом уже розуміється матеріальний продукт виробництва, що бере участь у товарообміні);

- граничні можливості STEP визначаються поняттям «статика виробництва», а потокові можливості (відповідно складу опублікованих на даний момент частин) не набагато ширші поняття «CAD-система» – головної ролі STEP із позицій P_LIB;

- MANDATE описує динаміку виробництва як зовні (зв'язок виробництва із зовнішнім середовищем), так і зсередини (матеріальні та інформаційні потоки в організаційно-виробничій структурі, коротше – інтегрована модель виробництва).

Таким чином, ролі стандартів, що названі у моделюванні виробництва, розподілені в спосіб, поданий у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Спосіб розподілу ролі стандартів, що названі у моделюванні виробництва

Тип моделі	Виробництво	
	Зовні	Зсередини
Статика	STEP	P_LIB
Динаміка	MANDATE	

Стандарт STEP складається з семи компонентів, кожен з яких має своє призначення і виграє свою роль в організації інформаційного обміну:

- методи опису;
- методи реалізації;
- методологія тестування на відповідність;
- інтегровані ресурси;
- протоколи застосування;
- набори абстрактних тестів;
- прикладні інтерпретовані елементи.

Структуру STEP можна умовно представити схемою, що складається з трьох рівнів (рис. 2.2).

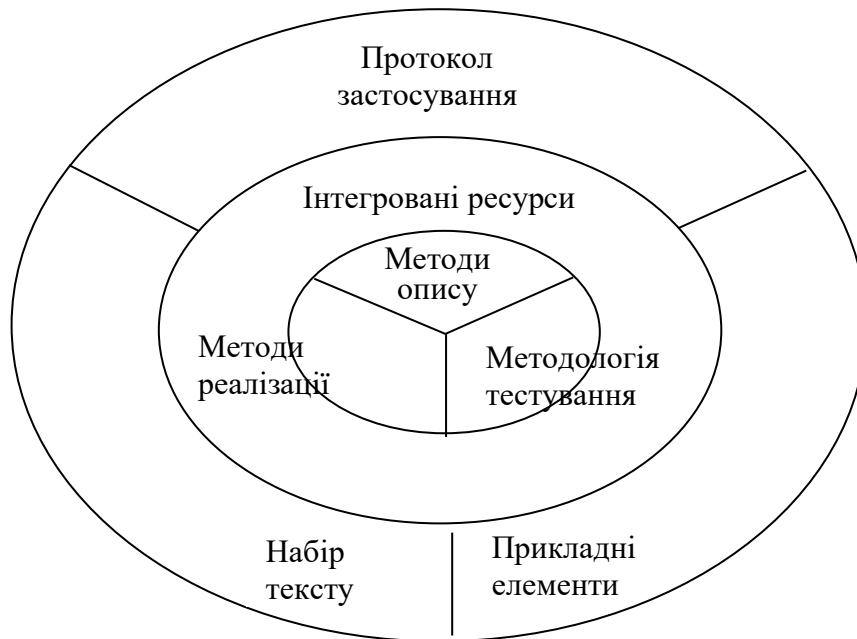


Рисунок 2.2 – Структура STEP

Перший рівень є ядром стандарту і містить інструментарій STEP, за допомогою якого задаються інші компоненти стандарту, а також реалізується інформаційний обмін. На іншому рівні знаходиться базове подання інформації про виріб, що є інваріантним стосовно предметної області. Це подання включає базову інформаційну модель виробу, яка задана за допомогою інструментарію STEP. Нарешті, третій рівень містить подання інформації про виріб, специфічні для конкретної предметної області (наприклад, машинобудування, автомобілебудування, суднобудування тощо). Таке подання містить у собі інформаційну модель виробу для конкретної предметної області й опирається як на інструментарій STEP (перший рівень), так і на базову модель виробу (другий рівень). Нижче наведена коротка характеристика п'яти основних компонентів STEP.

1. Методи опису призначені для опису інформаційних моделей інтегрованих ресурсів і протоколів застосування STEP. Для цього потрібна формалізована мова, однаково зрозуміла людьми й комп'ютерами. Основним методом опису стандарту STEP є мова EXPRESS (ISO 10303-11), що являє собою формалізовану мову опису інформаційних моделей, тобто інформаційного моделювання. Крім текстового подання в STEP є графічна частина мови – EXPRESS-G.

2. Методи реалізації призначені для реалізації обміну даними у відповідності з STEP і незалежні від програмних засобів та предметної області:

- обмінний файл (ISO 10303-21);
- програмний інтерфейс SDAI (ISO 10303-22).

Сьогодні найбільш розповсюдженим способом обміну даними між комп'ютерними системами є обмін за допомогою файлів. У стандарті STEP цей спосіб поданий у вигляді «обмінного файлу», формат якого визначений у розділі ISO 10303-21. Обмінний файл STEP являє собою текстовий чи двійковий файл особливої структури, що містить дані, які є предметом обміну. Склад обмінного файлу визначається інформаційною моделлю, відповідно до якої відбувається обмін (ця модель має бути описана мовою EXPRESS), і власне даними, представленими відповідно до інформаційної моделі, що використовується.

3. Методологія тестування на відповідність задає основні принципи тестування різних програмних засобів на відповідність стандарту STEP. Набір методів, що використовується для перевірки програмного засобу на відповідність STEP, залежить від методу реалізації обміну даними, який використовується в даному програмному засобі. Однак набір методів перевірки на відповідність є інваріантним стосовно протоколу застосування (у силу того, що методи реалізації не залежать від предметної області і, отже, від протоколу застосування), реалізованому програмним засобом, який перевіряється, і тим більше стосовно самого програмного засобу.

4. Інтегровані ресурси задають базове подання інформації про виріб, інваріантне стосовно предметної області. Інтегровані ресурси є основою під час побудови специфічного для конкретної предметної області подання інформації про виріб – протоколу застосування. Вони містять базову інформаційну модель виробу. Ця модель виробу задана мовою EXPRESS. Базова модель виробу не призначена для інформаційного обміну, а використовується для побудови специфічних для конкретних предметних областей інформаційних моделей виробу, що входять до складу протоколів застосування. Елементами базової моделі виробу є такі поняття як «виріб», «людина», «організація».

5. Протокол застосування є спеціальним поданням інформації про виріб. Під словом «спеціальне» тут розуміється на увазі той факт, що подання інформації про виріб, яке задається у протоколі застосування, є специфічним для деякої конкретної предметної області на відміну від базового подання в інтегрованих ресурсах, інваріантного стосовно предметної області. Протоколи застосування використовуються в організації обміну даними, тобто структура

інформації, переданої у процесі обміну, має відповідати уявленню даних про виріб, що використовує протокол застосування. Прикладами предметних областей, що охоплюються протоколами застосування STEP, є машинобудування (ISO 10303-203), автомобілебудування (ISO 10303-214), суднобудування (ISO 10303-215) тощо

Основою організації інформаційного обміну є комп'ютерні системи, які застосовуються на підприємстві чи групі підприємств. Єдиною вимогою до цих систем є відповідність у тому чи іншому ступеню стандарту STEP. Щодо типів інтегрованих систем, то в їх ролі можуть виступати:

- системи автоматизованого проектування (CAD – Computer Aided Design);
- системи автоматизованої підготовки виробництва (CAM – Computer Aided Manufacturing);
- системи управління даними про виріб (PDM– Product Data Management);
- системи управління ресурсами підприємства (ERP – Enterprise Resource Planning);
- будь-які інші STEP-сумісні системи й додатки.

Як уже було сказано, в STEP існує два методи реалізації обміну даними – обмінний файл і програмний інтерфейс SDAI. У випадку, коли комп'ютерні додатки, що використовуються, володіють лише можливостями генерації й читання обмінних файлів, організація такого способу обміну потребує лише узгодження протоколів застосування чи використання спеціальних програм перетворення даних між протоколами застосування. Після цього можлива передача даних між додатками у вигляді обміну файлами (пунктирні лінії на схемі).

Більш прогресивним способом обміну даними є застосування БД виробу з доступом за допомогою реалізації програмного інтерфейсу SDAI на одному чи декількох мовах програмування (C++, Java). У цьому випадку також буде потрібно попереднє узгодження протоколів застосування, що використовуються, а вимоги до комп'ютерних додатків будуть більш високими: вони мають підтримувати доступ до БД виробу за допомогою SDAI. Процес обміну даними – звертання додатків до БД за допомогою виклику функцій інтерфейсу SDAI (суцільна лінія на схемі).

Водночас, існує можливість організації БД виробу з SDAI-доступом і за умови здатності додатків працювати тільки з обмінним файлом. Для цього потрібне застосування окремого модуля імпорту обмінних файлів у БД і експорту обмінних файлів із БД. У такому випадку процес обміну даними складатиметься зі створення додатком обмінного файлу STEP, який буде

інтерпретований модулем імпорту/експорту, внаслідок чого інформація з обмінного файлу потрапить у БД виробу. Для одержання інформації із БД крім прямого доступу за допомогою виклику функції SDAI, можна скористатися тим самим модулем імпорту/експорту, щоб одержати необхідну інформацію із БД і створити на її основі обмінний файл, який може бути переданий за призначенням. Сам модуль імпорту/експорту обмінних файлів працює із БД виробу через інтерфейс SDAI. Підтримка STEP може виражатися або в здатності обмінюватися даними із застосуванням STEP, або в здатності спеціальним чином обробляти STEP-дані. На цій підставі всі програмні засоби, що підтримують STEP, можна розділити на дві категорії: прикладні системи і спеціалізовані засоби.

Основним призначенням прикладних систем (до них входять CAD-, CAM-, PDM-, ERP-системи) є створення й обробка даних про виріб. Ці системи, як правило, мають власну модель даних, але обмін даними з іншими системами вони здійснюють у тому числі і за допомогою стандарту STEP. Зараз переважна більшість прикладних систем підтримують обмежену кількість протоколів застосування (в основному, ISO 10303-203) і обмінний файл як метод реалізації обміну. Підтримку STEP здійснюють практично усі провідні промислові системи.

Спеціалізовані засоби підтримки STEP самі можуть бути розділені на три категорії: конвертори, бази даних та інструментальні пакети. Конвертори дозволяють перетворювати інформацію з STEP-форматів в інші формати даних. До таких належать системи, що дозволяють перетворити геометричний опис виробу з обмінного файлу STEP у файл у форматі специфікації IGES і навпаки. Іншим прикладом є конвертор, що перетворить інформаційну модель мовою UML (Unified Modeling Language – Єдина Мова Моделювання) в інформаційну модель мовою EXPRESS.

Існують реалізації вже згаданих раніше баз даних виробу з доступом через програмний інтерфейс SDAI. Найвідомішою комерційною реалізацією таких БД є пакет EXPRESS Data Manager. Нарешті, існують цілі інструментальні пакети, що дозволяють не тільки робити різноманітну обробку STEP-даних (як інформаційних моделей на EXPRESS, так і обмінних файлів різних протоколів застосування), але й самостійно розробляти комп'ютерні додатки, що підтримують STEP. Прикладом інструментального пакета є продукт ST-Developer, що містить у комплекті постачання спеціалізовані програми.

Основою такої форми подання є міжнародний стандарт ISO 10303 (STEP). Перевага у використанні єдиного стандарту для обміну даними про виріб визначається можливістю легко організувати інформаційний обмін між усіма

комп'ютерними системами, що використовуються протягом життєвого циклу виробу. У протилежному випадку інформаційний обмін буде вестися між кожною парою комп'ютерних систем, що має істотні недоліки:

- неможливість створення інтегрованої моделі виробу;

- необхідність придбання великої кількості конверторів форматів: $N \cdot (N-1)$ штук, де N – кількість їх комп'ютерних систем, що використовуються (рис. 2.3, 2.4) застосування стандарту STEP кількість конверторів скорочується до $2 \cdot N$ штук.

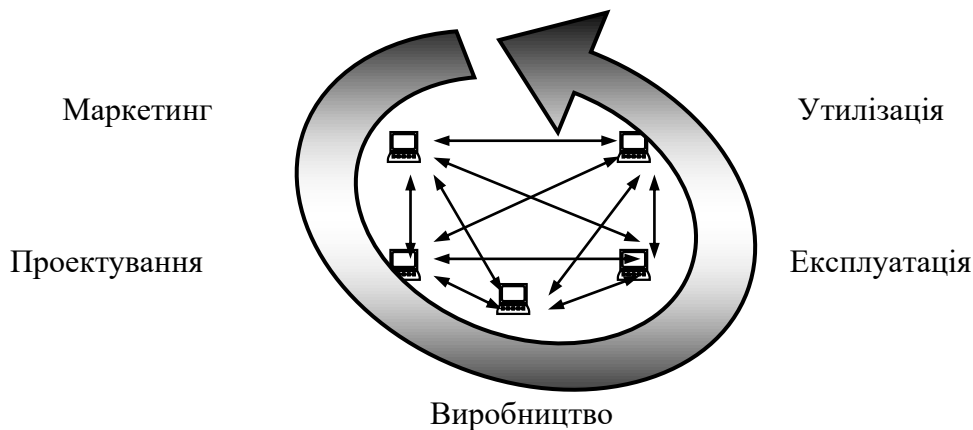


Рисунок 2.3 – Відсутність стандарту для обміну

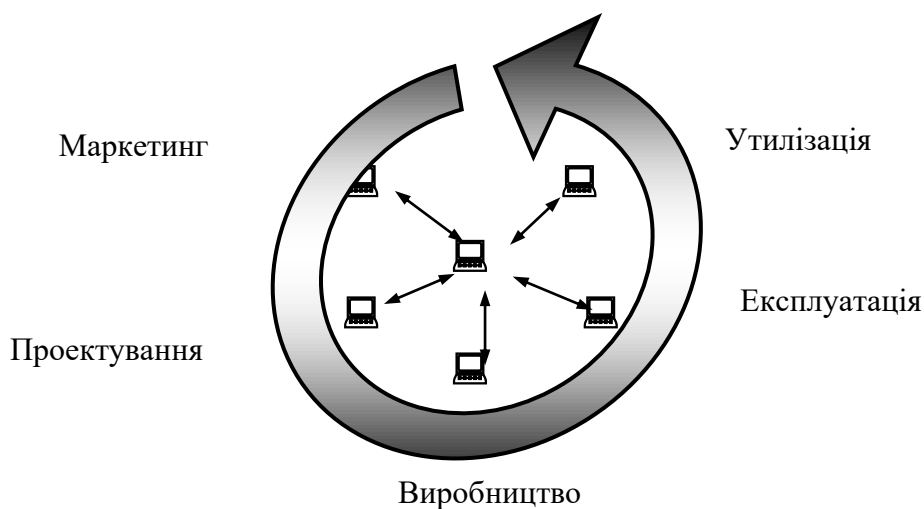


Рисунок 2.4 – Наявність стандарту для обміну

Крім того, STEP має статус міжнародного стандарту, що полегшує взаємодію із зарубіжними партнерами. Порівняно з попередніми форматами для обміну даними про виріб (у першу чергу, IGES), STEP також має переваги:

1. STEP задає не тільки інформаційну модель, але й способи реалізації обміну даними.

2. Крім геометричної інформації, STEP містить негеометричні дані про виріб, зокрема:

- структуру виробу;
- адміністративні дані про виріб;
- конфігурацію виробу.

Подання конструкторсько-технологічних даних про виріб регламентується стандартами серії ISO 10303 і ISO 13584, що підтримують більшість сучасних зарубіжних і вітчизняних систем CAD/CAM і PDM.

Відповідно до ISO 10303 електронна конструкторська модель виробу включає ряд компонентів:

1. Геометричні дані (твердотільні поверхні з топологією, фасетні поверхні, сітчасті поверхні з топологією і без топології, креслення тощо).

2. Інформація про конфігурацію виробу й адміністративні дані (ідентифікатори країни, галузі, підприємства, проекти, класифікаційні ознаки тощо; дані про варіанти складу й структури виробу; дані про зміни конструкції й інформацію про документування цих змін; дані для контролю різних аспектів проекту чи вирішення питань, пов'язаних з особливостями та варіантами складу й конфігурації виробу; дані про контракти, відповідно до яких ведеться проектування; дані про таємність; умови обробки, у тому числі фінішної, дані про застосовність матеріалів, зазначені проектувальником для даного виробу; дані для контролю й обліку випущеної версії розробки; ідентифікатори постачальників і їх кваліфікації).

3. Інженерні дані в неструктурованій формі підготовлені за допомогою різних програмних систем у різних форматах.

Для подання інформації, необхідної в експлуатації й технічному обслуговуванні виробу, використовуються технології, регламентовані стандартами ISO 8879, ISO 10744, а також специфікаціями асоціацій виробників аерокосмічної техніки АЕСМА-1000D і АЕСМА-2000M. Відповідно до вимог стандартів експлуатаційна та ремонтна документація створюється у формі інтерактивних електронних технічних посібників, що інтегрують дані та програмні засоби підтримки обслуговування, планування потреб у матеріальних ресурсах, контролю й діагностики, накопичення даних про хід експлуатації.

Для подання різним прикладним програмам, будь то CAD, CAM, MRP, системам підготовки експлуатаційної документації в електронному вигляді (ІЕТП), системам автоматизації складів чи бухгалтерським програмам можливості доступу до необхідного для них набору даних, розроблений і набув широкого застосування міжнародний стандарт ISO 10303 STEP – стандарт про подання інформації про виріб і способам роботи з нею (рис. 2.5).

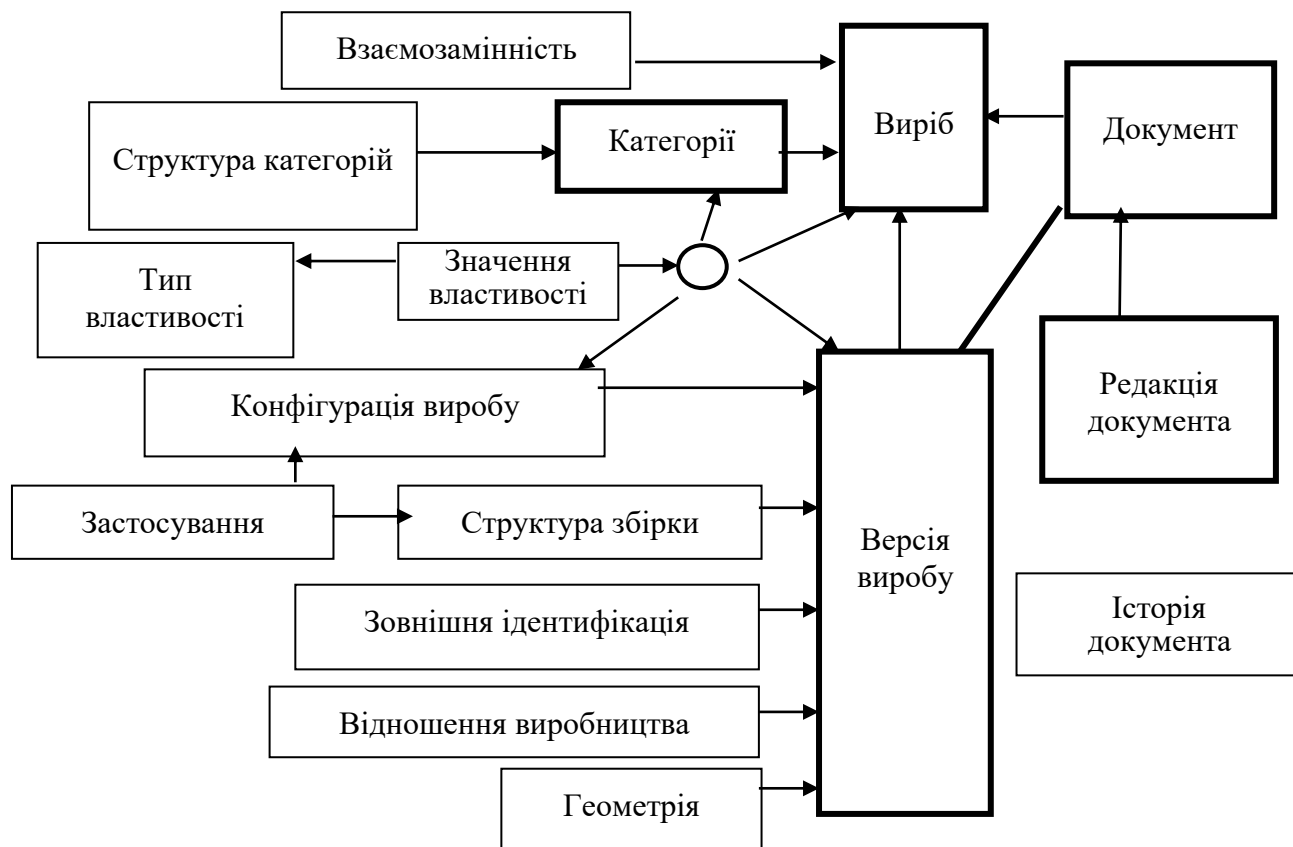


Рисунок 2.5 – Схема опису виробу відповідно до стандарту ISO 10303

Фірмою Computervision розроблена технологія «Повне електронне визначення виробу» (ПЕВВ чи EPD – «Electronic Product Definition»). Ключова ідея ПЕВВ полягає в створенні єдиної складної цифрової моделі виробу, що розроблюється. З цією моделлю взаємодіє кожен учасник усього ЖЦВ, починаючи з моменту дослідження потреби ринку у виробі з конкретними споживчими властивостями і, кінчаючи його утилізацією після закінчення терміну його експлуатації. При цьому робота кожного окремого учасника виключає перешкоди діям інших учасників, виключається також неоднозначність визначення виробу, оскільки існує тільки одна актуальна копія даних, що представляють окрему деталь, підзбірку, процес аналізу та

розрахунку технічних параметрів чи траєкторію ріжучого інструмента для обробки на верстатах із ЧПУ.

ISO 13584 представляє інформацію про бібліотеку виробів разом із необхідними механізмами й визначеннями, що забезпечують обмін, використання та коригування даних бібліотеки виробів. Тут розуміється обмін між різними комп'ютерними системами та середовищами, пов'язаними з повним ЖЦВ, де можуть використовуватися вироби бібліотеки, включаючи проектування, виготовлення, експлуатацію, обслуговування й утилізацію продукту.

Нині, як функціональні стандарти в CALS, розглядаються стандарти, що визначають функціональні вимоги для введення виробів в експлуатацію, і їх підтримки протягом усього ЖЦ. Дана група стандартів охоплює область розробки функціональних вимог до таких процесів:

- управління конфігурацією;
- постачання запасних частин (початкові й додаткові);
- технічного обслуговування, ремонту і капітального ремонту;
- модифікації та перегляду (відновлення інформації) експлуатаційного моніторингу й повідомлення про несправності.

Область дії розглянутих стандартів включає також інформацію, необхідну для роботи організацій замовника й постачальника, а також для обміну даними між ними. Міжнародні стандарти створюються на основі досвіду розробки багатьох існуючих стандартів у різних країнах.

Крім вищеназваних стандартів, що охоплюють функціональні специфікації в області логістики, у CALS широко використовується спосіб функціонального моделювання, розроблений раніше в проекті USAF «Інтегроване виробництво» і названий IDEF.

IDEF призначений для опису різних етапів Життєвого Циклу Виробів і являє собою графічну мову та набір процедур аналізу, що можуть бути використані в ході проектування ЖЦВ як у структурі реального підприємства, так і віртуального [15].

У міжнародних стандартах серії ISO 9004 (управління якістю продукції) введено поняття «життєвий цикл виробу». Дане поняття містить такі етапи життєвого циклу виробу: маркетинг, пошук і вивчення ринку; проектування і/чи розробка технічних вимог до продукції; матеріально-технічне постачання; підготовка та розробка технологічних процесів; виробництво; контроль, проведення випробувань і обстежень; упакування та збереження; реалізація і/чи розподіл продукції; монтаж, експлуатація; технічна допомога в обслуговуванні; утилізація після завершення використання продукції [16].

Крім міжнародних стандартів, розроблених ISO, розроблені стандарти CALS з індексами MIL і FIPS, що зайвий раз підкреслює пріоритетність розробки технології CALS Сполученими Штатами і їх військовим відомством (найчисленніша група стандартів CALS має індекс MIL-стандартний індекс для документів, розроблених у МО США). Аббревіатура FIPS означає федеральний стандарт обробки інформації.

2.2 Напрямки стандартизації у світі

До стандартів CALS, як вказано вище, традиційно відносять інформаційні стандарти і специфікації за такими предметними областями:

- загальні принципи електронного обміну даними та визначальні організаційно-технічні аспекти електронної взаємодії;
- технології забезпечення безпеки даних, їхнє шифрування в процесі обміну, застосування електронного цифрового підпису для підтвердження їхньої вірогідності тощо;
- формати й моделі даних про виріб, технологію представлення даних, способи доступу та використання даних, що описують вироби, процеси й середовище, у яких протікає життєвий цикл виробу.

За місцем розробки ці стандарти й специфікації можна розділити на:

- стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO);
- військові стандарти та специфікації НАТО;
- національні стандарти. в. т ч.:
- а) стандарти Міністерства оборони США ;
- б) стандарти Міністерства оборони Великобританії;
- в) федеральні стандарти США;
- міжнародні специфікації Європейського авіаційного консорціуму (АЕСМА).

Незалежно від країни та відомчої приналежності розробника ці стандарти фактично мають статус міжнародних.

Розробка стандартів P_LIB і MANDATE була ініційована практично одночасно (у 1991 р.). Втім наявні на даний момент результати не зрівняні. Майже завершений стандарт P_LIB, а по MANDATE немає матеріалів узагалі. Тому далі розглядаються тільки STEP і P_LIB.

Як уже вказувалося, мета ISO 10303 (STEP) – дати стандарт опису даних про продукт на всіх стадіях його ЖЦ. Оскільки склад даних про продукт істотно залежить як від дисципліни (класифікаційної групи) продукту, так і від

стадії його ЖЦ, кінцевою метою ISO 10303 є розробка багатьох часткових інформаційних моделей, протоколів, додатків (AP), кожен з яких характеризується своїм контекстом – дисципліною й стадією ЖЦВ. Водночас було б невірно розробляти AP без обліку їхнього часткового перетину по інформаційних об'єктах, тобто можливості виділення в кожному AP контекстно-незалежної частини й об'єднання цих частин у групу моделей верхнього рівня – інтегрованих ресурсів.

Підкомітетом TC184/SC4 був обраний найбільш простий спосіб реалізації цієї можливості, а саме:

- спочатку розробити в досить повному обсязі структуру та склад інтегрованих ресурсів і відповідний набір первинних сутностей;
- розробити нащадки сутностей, представлені інтегрованими ресурсами (IP);
- з виникненням виняткової ситуації, коли для сутності, необхідної додатку, не вдається знайти предків в IP, його склад поповнюється необхідними об'єктами.

Склад документації з інформаційних моделей ISO 10303 відкритий для поповнення новими томами в рамках угоди про те, що для IP виділяються номери томів в інтервалі 41-199, а для AP – в інтервалі 201-1199. Крім того, документація з IP поділяється на серію загальних ресурсів (томи 41-99) і серію ресурсів додатків (томи 101-199). На відміну від загальних ресурсів, сфера застосування яких цілком контекстно-незалежна, ресурси додатків орієнтовані на конкретні області застосування. Нарешті, до категорії IP можна віднести і бібліотеку AISC – Express-схем, що описують окремі поняття предметної області, які використовуються у двох і більш AP. Така форма забезпечення інформаційної сумісності різних AP підтримується централізованим веденням цієї бібліотеки спеціальною службою SC4.

Зараз найбільш пророблена як за складом, так і за статусом документів (велика частина томів цієї серії вже має статус затвердженого стандарту – ISO), серія інтегрованих загальних ресурсів. Серія представлена такими томами:

- 41 – основи опису та підтримки продукту;
- 42 – геометричне й топологічне подання;
- 43 – структури подання;
- 44 – конфігурація структури продукту;
- 45 – матеріали;
- 46 – візуальне подання;
- 47 – допуски зміни форми;
- 49 – структура та властивості процесу.

Ключову роль у цій серії грає том 41, який визначає предметну спеціалізацію стандарту STEP. Том складається з розділів:

- загальні ресурси опису продукту;
- загальні ресурси управління;
- ресурси підтримки продукту.

Під продуктом розуміється результат будь-якого процесу. До ресурсів опису продукту належать такі схеми:

- контекст додатка;
- визначення продукту;
- визначення властивості продукту;
- подання властивості продукту.

Контекстом продукту є його «дисципліна», контекстом визначення продукту – специфікація стадії ЖЦ. Визначення властивості продукту й подання властивості продукту описуються окремо у зв'язку з тим, що та сама властивість (наприклад, геометрична форма) може бути подана різними способами.

Ресурси підтримки продукту – це перелік понять, що мають відношення до продукту у сфері виробництва. Ці ресурси представлені схемами: дія; затвердження (продукту); сертифікація; контракт; дата-час; документ; зовнішні посилання; група; вимір; людина й організація; обмеження доступу; ресурси підтримки (у вузькому сенсі – уведення типів «ідентифікатор», «мітка», «текст»).

Нарешті, ресурси управління призначені для зв'язку перерахованих ресурсів підтримки з даними про продукт під час інтерпретації IP на рівні AP. Підкреслимо, що IP призначено винятково для їхньої інтерпретації в AP, у зв'язку з чим популяція сутностей IP у БД можлива тільки в складі даних того чи іншого AP.

У томі 49 схема «дія» тому 41 розвивається до поняття «процес», визначається структура процесу та властивості самого процесу, споживаних ресурсів і виробленого продукту. Інші томи серії загальних ресурсів призначені для опису властивостей продукту безвідносно до способу його створення і стосуються матеріального продукту, оскільки йдеться про матеріали і геометричну форму елементарних тіл і складальних конструкцій.

Інтегровані ресурси серії ресурсів додатків представлені томами:

- 101 – креслення;
- 104 – скінчено-елементний аналіз;
- 105 – кінематика.

Велика частина AP, пророблених у даний час до рівня Express-моделі АІМ, пов'язана з підтримкою продукту на стадії конструювання. До цієї групи належать томи:

- 201 – явне креслення;
- 202 – асоціативне креслення;
- 203 – 3D-проектування механічних деталей і збірних конструкцій;
- 204 – проектування механічних об'єктів на основі граничного подання;
- 205 – проектування механічних об'єктів на основі поверхневого подання.

Стадія проектування технологій у машинобудуванні представлена томом 213 – «План виготовлення деталі на основі процесів ЧПУ». Спеціальних дисциплін продукту стосуються томи:

- 207 – планування та проектування штампів металевого листа;
- 210 – проектування та виготовлення друкованих плат.

Судячи з поданого списку AP, процес повномасштабної розробки AP тільки починається, і поки що предметна область STEP не набагато ширше області САПР. Перелік запланованих у SC4 розробок AP на період до 2000-го року також не претендує на охоплення основних потреб в інформаційних моделях. Можливо, цей план поповниться пропозиціями з розробки взаємозалежних AP, які проробляються «по горизонталі», і поки не готові для прийняття на рівні CS4. Однак, не виключено, що причини недостатньої активності в розширенні списку AP пов'язані з недосконалістю принципів проектування системи STEP і насамперед із недооцінкою проблеми інформаційного обміну між AP [17].

У викладеній концепції проектування STEP усі AP знаходяться на одному рівні ієрархії. Інформаційна модель: кожен AP – це незалежне від інших AP «натуральне господарство», а взаємозв'язок між такими господарствами відбувається за допомогою «товарообміну» кінцевими продуктами кожного AP. У цю схему добре вписується типова задача САПР – конструювання деталей (за допомогою програмних засобів підтримки AP 204, AP 205) із наступним складанням цих деталей у єдину конструкцію (за допомогою засобів підтримки AP 203). Дійсно, «продуктообмін» у даному випадку складається з передачі геометричних моделей деталей з AP 204, AP 205 в AP 203, який забезпечується як стандартними методами реалізації STEP (обмінний файл, програмний інтерфейс доступу), так і стандартними засобами обміну даними між постачальником і користувачем у системі P_LIB.

На випадок більш складних варіантів взаємозв'язку AP, ніж обмін кінцевими продуктами, у методах реалізації STEP передбачена можливість

створення програмного продукту, що має доступ до даних декількох АР. І справді, чому б не вирішити дане питання найпростішим шляхом, а саме: взаємозв'язок АР – це проблема не інформаційного, а функціонального моделювання і, у кінцевому рахунку, програмування.

У незадовільності такого рішення довелося переконатися в ході розробки конкретних АР, взаємозв'язок яких не зводиться до продуктообміну. З'ясувалося, наприклад, що взаємозалежна система понять, що включає продукти, процеси, ресурси, оргструктуру, така, що відповідні їй дані (екземпляри сутностей) неможливо розподілити на окремі АР і необхідно використовувати спільно усіма АР або групами АР. Отже, вихідна однорівнева архітектура моделей АР не годиться – потрібна структуризація цих моделей, достатня, принаймні, для виділення інформаційної моделі більш високого рівня, що містить дані загального призначення.

У міжнародному стандарті ISO 13584, підготовленому ISO/TC184/SC4/WG2, застосована така сама мова моделювання (EXPRESS) й ті самі методи реалізації, що й у STEP. Але якщо STEP дозволяє явно й повно змодельовати один виріб, то за допомогою P_LIB можна неявно і якомога більш спрощено змодельовати сімейства подібних виробів.

Різні компоненти багатокомпонентної специфікації ISO CD 13584 уже були змодельовані в різних оболонках параметричних, об'єктно-орієнтованих САПР та інженерних систем (що базуються на персональних комп'ютерах, робочих станціях) за допомогою різних технологій збереження даних (OODB, RDB, ER-Based DB, KDB) у ряді національних і міжнародних проектів.

Деякі ключові концепції підходу ISO CD 13584 уже впроваджені в різні комерційні програмні продукти. Наприклад, концепція семантичного словника в SPIMS від SGAO; концепція множинного подання в CAS.CADE від MATRA Datavision; програмна параметрична специфікація в PRONOS/PRIAMOS від VW-Gedas тощо.

Запущено проекти як у виробничій сфері, так і у сфері міжнародної стандартизації (наприклад, у ISO TC29 – «Різальні інструменти»), що використовують інформаційні моделі, визначені в ISO CD 13584. Міжнародний стандарт ISO 13584 PLIB являє собою новітні розробки.

Останнім часом ми стали свідками вражаючого росту можливостей обчислювальної техніки. Тому зараз за допомогою комп'ютерних засобів можливо автоматизувати вирішення всіх нових задач, що виникають на всіх етапах життєвого циклу виробу. Для вирішення цих задач потрібно створення нових додатків (прикладних програмних систем), число яких згодом стає

досить великим. Разом із тим виникає необхідність створення єдиного однорідного інформаційного середовища, що полегшує та прискорює взаємодію цих численних додатків. Таке інформаційне середовище називається єдиною моделлю виробу і виробничого середовища. Інформаційне середовище може бути однорідним і, отже, загально-доступним для всіх додатків тільки в тому випадку, якщо його однорідність забезпечується застосуванням загальноприйнятих стандартів. До таких стандартів належать стандарти CALS, що розроблюються й затверджуються Міжнародною організацією зі стандартизації.

Найбільші успіхи в створенні єдиного інформаційного середовища в масштабах усієї галузі досягнуті у двох галузях.

1. У нафтогазовій промисловості, для якої розроблені: протоколи STEP AP221 (функціональна й організаційна модель підприємства), AP227 (просторова конфігурація переробного заводу, що включає опис системи трубопроводів), AP231 (опис характеристик переробного устаткування) і спеціальний стандарт опису нафтогазового устаткування ISO 15926 OIL&GAS.

2. У суднобудуванні, для якого розроблені: протоколи STEP AP215 (компонування корабля), AP216 (геометрична модель обводу корабля), AP217 (система трубопроводів корабля – планується заміна протоколу AP217 на вищезгаданий протокол AP227 після деякого розширення AP227), AP218 (силовий набір корабля), AP226 (механічні системи корабля), AP234 (опис процесу експлуатації корабля). У суднобудуванні широко використовується стандарт опису бібліотеки компонентів ISO 13584 P_LIB. В усі названі вище суднобудівні протоколи STEP закладається їх сумісність із стандартом P_LIB. Цими стандартними каталогами компонентів можна обмінюватися як складовими частинами проекту, крім того, на них може посилається користувач для визначення стандартних компонентів, які необхідно використати.

У різних сферах економіки існують різні підходи до загальногалузевої інформаційної інтеграції. Відзначимо, що розробники інтегрованих рішень для нафтогазової промисловості (велика їхня частина працює в Англії) розглядають також можливість застосування стандарту P_LIB, для чого створена спеціальна робоча група.

Корпорація Toshiba, яка здійснює великий проект з створення на основі стандарту P_LIB бібліотеки електронних виробів, розробляє інтегровану базу даних InterLIB, для якої забезпечується сумісність як із схемою даних P_LIB, так і із схемою даних EPISTLE (схема даних EPISTLE є основою стандарту ISO 15926 OIL&GAS). Використання бази даних InterLIB забезпечить взаємний обмін даними між бібліотеками P_LIB і сховищем даних, що відповідають стандарту ISO 15926.

Висока ефективність CALS-стандартів досягається, зокрема, чітким і однозначним поділом їхніх ролей. Провідними організаціями, що розробляють міжнародні стандарти, є: Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) і Міжнародна електротехнічна комісія (IEC). А ключовими інформаційними CALS-стандартами, які використовуються для створення єдиного інформаційного середовища, є Стандарт з використання даних про модель виробу (STEP) – ISO 10303 і Бібліотека компонентів (P_LIB) – ISO 13584.

P_LIB інтегрується з STEP у такий спосіб. По-перше, STEP може бути використаний для подання й обміну геометрією окремих сімейств деталей, що містяться в Бібліотеці компонентів (також можуть бути використані інші формати, такі як IGES і параметричні програми мовою Fortran). По-друге, деякі протоколи застосування STEP дозволяють у процесі конструювання зв'язувати моделі компонента виробу із сімейством компонентів у Бібліотеці компонентів, з якої вона була успадкована.

У складі стандарту P_LIB запланована серія томів, які містять визначення стандартних класів, але за жодним з томів цієї серії роботи не ведуться. Іншим рішенням є стандартизація класів загальної моделі в протоколах STEP (як це робиться, приміром, у протоколах суднобудівної серії – AP215, AP216, AP218, AP226). Можливе застосування й інших стандартних класів, узятих із різних каталогів. У P_LIB прийнято, що бібліотеки постачальника мають бути спеціалізованими стандартними бібліотеками.

2.3 Роль стандарту P_LIB на різних етапах ЖЦВ

Розглянемо деякі можливі сценарії використання стандарту P_LIB на різних етапах життєвого циклу виробу.

Пошук потенційних учасників віртуального підприємства.

Наявність єдиного стандарту на подання каталогів виробів і послуг полегшує обмін інформацією про можливості кожного з потенційних учасників віртуального підприємства. Кожне підприємство може подати інформацію про набір своїх виробів у вигляді бібліотеки постачальника, що відповідає стандарту P_LIB. Тут також показаний етап запитів (слід зазначити, що стандартизація запитів в існуючому варіанті P_LIB не пророблена). Запити можуть відповідати, приміром, стандарту EDIFACT). Передумовою для реалізації іншого можливого рішення є те, що в стандарті P_LIB передбачене формування SQL-запитів на основі описів властивостей, що містяться в бібліотеці, виробів [18].

Інформаційна підтримка процесу конструкторської та технологічної підготовки виробництва

На наступних етапах ЖЦВ (насамперед – на етапах підготовки виробництва, коли створюється модель виробу) бібліотеки компонентів, що відповідають стандарту P_LIB, можуть забезпечувати інформаційну підтримку.

Найбільш трудомісткими в процесі конструювання є задачі ідентифікації, оцінки, добору й реалізації деталей. Час і трудовитрати, необхідні для розробки компонентів виробу й управління компонентами виробів, можуть бути значно скорочені й спрощені з використанням ISO 13584P_LIB.

В процесі розробки конструкції виробу всіх рівнів складності зазвичай застосовуються готові вироби, до яких належать:

- стандартні вироби;
- одержані від зовнішніх постачальників виробу (тобто покупні вироби);
- запозичені вироби.

Багато САПР забезпечуються електронним каталогом стандартних і покупних виробів. Застосування таких каталогів дозволяє підвищити ефективність проектування. Конструктор, що працює із САПР, може знайти у каталозі необхідну йому модель готового виробу і вставити її у конструкцію, що розроблюється.

Втім з використанням таких вбудованих у САПР каталогів виникають проблеми. Каталоги різних САПР несумісні між собою, тому користувач виявляється прив'язаним до однієї конкретної системи. Якщо одночасно використовується декілька різних САПР, то організація відповідно має кілька каталогів, можливо ідентичних за змістом, але різних за формою. Актуалізація (відновлення) усіх каталогів повинна при цьому проводитися водночас. Під час одержання готових каталогів від зовнішнього партнера доводиться або вимагати, щоб каталог був поданий у форматі конкретної САПР, або затрачати власні ресурси на перетворення каталогу [19].

Усі ці проблеми можуть бути усунені в процесі використання каталогів, побудованих відповідно до єдиного стандарту – P_LIB. Якщо електронні каталоги подані у стандартному форматі, то може знадобитися спеціальний транслятор для кожного каталогу, але можливо і сформувавати ядро програмного забезпечення для інтерпретації каталогів.

Під інформаційною підтримкою розуміється, що Бібліотека P_LIB є джерелом одержання моделей окремих фрагментів, які включаються в загальну модель проектованого виробу. Ці окремі фрагменти, що витягаються з P_LIB і, що включаються в модель проектованого виробу, містять у собі:

- стандартні вироби, моделі й опис властивостей яких надаються органами стандартизації;
- нестандартні вироби, розроблені та надіслані зовнішніми постачальниками у складі бібліотек постачальника;
- нестандартні вироби, розроблені в тій самій проектній організації;
- моделі виробів і їхніх властивостей накопичуються в Бібліотеці P_LIB силами самої проектною організації.

Зв'язок P_LIB із зовнішнім середовищем здійснюється єдиним способом – за допомогою компіляції (злиття) бібліотеки приймальної системи з однієї чи декількох бібліотек постачальника. Усі ці бібліотеки являють собою екземпляри сутності library, так, що бібліотека приймальної системи відрізняється від інших тільки ролю чи напрямком передачі інформації.

Кожна з бібліотек, що компілюється, може містити, крім контексту обміну P_LIB, зовнішні файли, які мають бути включені в бібліотеку приймальної системи, якщо їх там немає. Процедура поповнення бібліотеки приймальної системи відсутніми зовнішніми файлами, що передують компіляції контекстів обміну (бібліотечних файлів) бібліотек постачальників, у загальному випадку не зводиться до копіювання цих файлів – може знадобитися обробка того чи іншого файлу за допомогою доданого йому інтерфейсу.

Загальний принцип модифікації даних у бібліотеці P_LIB – повна заміна інформації, пов'язаної з ідентифікатором BSU, на інформацію більш пізньої версії. Тому в контексті обміну не потрібно задавати будь які ознаки чи вставки заміни – вони виробляються автоматично з урахуванням таких правил інтерпретації структури контексту обміну:

- якщо у структурі обміну є тільки BSU, то передбачається, що дескриптор (dictionary_element) і вміст (content_item) знаходяться в семантичному словнику приймальної системи і BSU слугують для посилання на ці елементи;
- якщо задані BSU і дескриптор, то передбачається, що в приймальній системі content_item відсутній, а структура контексту обміну слугує для вставки в семантичний словник приймальної системи або для коригування в словнику колишньої структури;
- якщо задані BSU, дескриптор і вміст, то пропонується занесення або коригування всіх трьох елементів у приймальній системі.

Процес компіляції являє собою двокроковий процес. На першому кроці в контексті обміну мають бути сформовані всі інверсні посилання, передбачені інформаційною моделлю, тому 24 P_LIB. Крім того, якщо в екземплярі library контексту обміну значення атрибута is_reference_hierarchy дорівнює true, то

для цієї бібліотеки необхідно визначити й створити інверсні атрибути від class_BSU до екземплярів property_BSU, domain_specification_BSU і table_BSU, які посилаються на цей class_BSU за атрибутами name_score.

На другому кроці за наявності декількох бібліотек вони компілюються послідовно в порядку зростання рівня бібліотеки (атрибута library_level) і для кожного рівня в будь-якому порядку. Процес компіляції кожної бібліотеки складається з послідовної компіляції кожного атрибута екземпляра сутності library, а для агрегативних атрибутів типу list – з компіляції елементів агрегату в порядку list. Компіляція кожного елемента складається з його обробки (вставка або заміна в приймаючій бібліотеці) і потім з компіляції всіх елементів, пов'язаних із даним елементом прямими чи інверсними посиланнями [19].

На рисунку 2.6 показано спільне використання стандартів STEP і P_LIB у процесі конструкторської та технологічної підготовки виробництва і їх роль. Приблизно так організується спільне використання P_LIB і з іншими форматами.

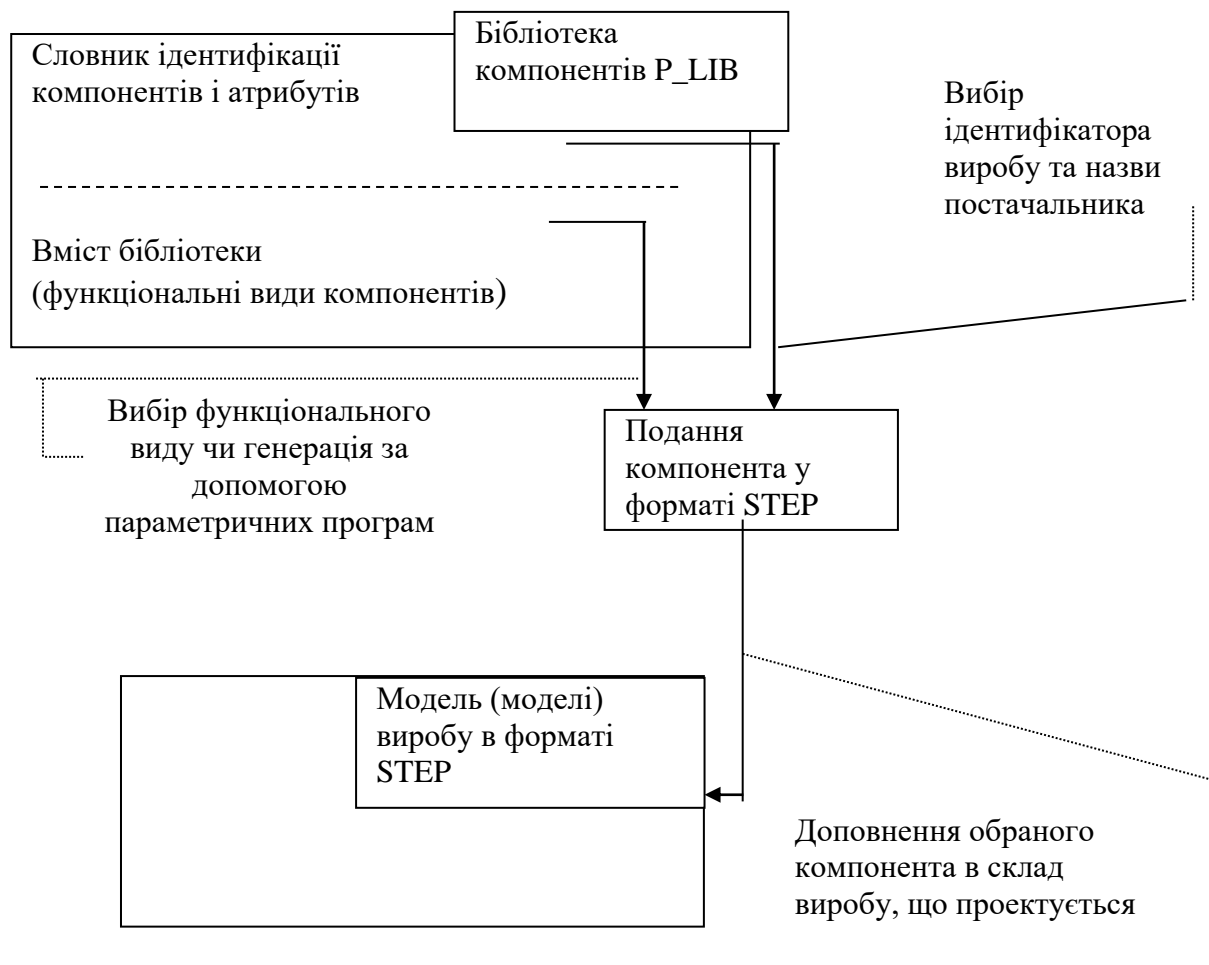


Рисунок 2.6 – Спільне використання STEP і P_LIB у процесі конструкторської та технологічної підготовки виробництва

У Бібліотеці компонентів, зображеній на верхньому блоці, міститься як інформація, необхідна для пошуку в бібліотеці компонента, що вимагається, (семантичний словник), так і одне чи безліч поданнів компонентів (склад бібліотеки). Подання компонентів (функціональні види компонентів) можуть зберігатися як у вигляді явних моделей з фіксованими значеннями параметрів, так і у вигляді процедур, що породжуються (параметричних програм).

В ході автоматизації окремих процесів ЖЦВ використовуються існуючі прикладні програмні засоби (САПР, АСУП тощо), однак до них висувається важлива вимога – наявність стандартного інтерфейсу до даних, що подаються ним. У процесі інтеграції всіх даних про виріб у рамках ЄПІ застосовуються спеціалізовані програмні засоби – системи управління даними про виріб (PDM – Product Data Management). Задачею PDM-системи є акумулювання всієї інформації про виріб, що створюється прикладними системами, у єдину логічну модель. Процес взаємодії PDM-системи і прикладних систем будується на основі стандартних інтерфейсів.

Стандартні інтерфейси взаємодії комп'ютерних систем можна розділити на чотири групи:

- функціональні стандарти. Задають організаційну процедуру взаємодії комп'ютерних систем; приклад: IDEF0;
- стандарти на програмну архітектуру. Задають архітектуру програмних систем, необхідну для організації їхньої взаємодії без участі людини; наприклад, CORBA;
- інформаційні стандарти. Задають модель даних про виріб, що використовується всіма учасниками ЖЦ;
- комунікаційні стандарти. Задають спосіб фізичної передачі даних по локальних і глобальних мережах; приклад: Internet-стандарти (таблиця 2.3) [13].

Таблиця 2.3 – Internet-стандарти

Стандарт	Призначення
IDEF0, ISO10303 AP208 (STEP), ISO9000, ISO 15531 MANDATE, LSA/LSAR (MIL-STD-1388, AECMA, 00-60/1	Інформаційний опис ЖЦ продукту та бізнес-процесів, що виконуються
ISO 10303 (STEP), ISO 13584 (PLIB)	Конструкторська та технологічна модель продукту
ISO 8879 (SGML), ISO 10744 (HyTime), MIL-PRF-2000...2003, MIL-PRF-28003, MIL-M-87268, MIL-D-87269	Експлуатаційна модель продукту

Оскільки споживач теж є повноправним учасником ЖЦВ, необхідно забезпечити його доступом в ЄП. Однак використання для цих цілей PDM-системи недоцільно через її велику вартість і значний термін впровадження й освоєння. До того ж, якщо споживач експлуатує вироби від різних постачальників, йому доведеться мати справи з різними ЄП і, відповідно, різними PDM-системами. З огляду на це, а також те, що споживачу необхідні тільки експлуатаційні дані про виріб, як засіб доступу до ЄП, він буде використовувати не PDM-систему, а інтерактивні електронні технічні керівництва (ІЕТК).

ІЕТК розробляється постачальником, забезпечує доступ споживача до експлуатаційної інформації про виріб в ЄП і має стандартний інтерфейс користувача (наприклад, згідно з MIL-M-87268), що дозволяє співробітникам експлуатуючої організації водночас обслуговувати вироби від різних постачальників.

2.4 Стандартизація в області CALS-технологій

У країнах східної Європи також є певні зрушення в напрямку стандартизації в області CALS-технологій. З огляду на складність задачі, Держстандарт Росії створив на базі Всеросійського науково-дослідного інституту стандартизації (ВНДІ-стандарт) робочу групу з фахівців інститутів Держстандарту Росії та представників зацікавлених міністерств, відомств і організацій для відображення їх практичних інтересів. До складу робочої групи ввійшли представники Міноборони, Мінпромнауки, Мінекономрозвитку, Російської академії наук, ФУТК «Рособоронекспорт», Мінатому, Авіаційної промислової ради з CALS, НТЦ «ИНТЕГРО-Д», НИЦ CALS-технології «Прикладна логістика», ДУ Федерального центра каталогізації.

Пріоритетні напрямки робіт зі стандартизації у цій області можна відобразити схематично (див. рисунок 2.7) [14].

Робочою групою була розроблена міжвідомча інноваційна «Програма стандартизації в області CALS-технологій на 2000-2003 р.».

Вона передбачає створення комплексу нормативних документів зі стандартизації (102 теми), що є системоутворюючими для процесів логістичної підтримки складних наукоємних виробів на всіх стадіях життєвого циклу [20].

У цій Програмі доцільно розглянути першочергові об'єкти стандартизації в області CALS-технологій. Їхня класифікаційна структура об'єктів наведена на рисунку 2.8 [14].



Рисунок 2.7 – Пріоритетні напрямки робіт зі стандартизації в галузі CALS-технологій

Життєвий цикл продукту (виробу)						
Задум (заказ)	Розробка (проектування)	Виробництво	Поставка	Експлуатація	Супроводження	Утилізація



Рисунок 2.8 – Класифікаційна структура об'єктів стандартизації в галузі CALS-технологій

Останніми роками одержали значний розвиток роботи зі створення нормативної бази в області CALS-технологій. Стандарти CALS-технологій спрямовані, насамперед, на забезпечення якісно нового рівня організації процесів проектування, виробництва й експлуатації складної, наукоємної продукції, підвищення ефективності реалізації процесів життєвого циклу, що випускаються, експлуатуються і нових зразків техніки, підвищення конкурентоздатності на світовому ринку засобів і систем, ефективності технологічного менеджменту при їхньому створенні.

За станом на 01.07.2003 в області CALS-технологій у Росії розроблені й затверджені 19 стандартів і рекомендацій зі стандартизації, включаючи стандарти на подання та обмін даними:

- ГОСТ Р ИСО 10303-1 (Общие представления и основополагающие принципы);
- ГОСТ Р ИСО 10303-41 (Основы описания и поддержки изделий);
- ГОСТ Р ИСО 10303-11 (Справочное руководство по языку EXPRESS);
- ГОСТ Р ИСО 10303-12 (Справочное руководство по языку EXPRESS-I);
- ГОСТ Р ИСО 10303-45 (Интегрированные обобщенные ресурсы. Материалы);
- Р 50.1.027 (Автоматизированный обмен технической информацией. Основные положения и общие требования);
- Р 50.1.028 (Методология функционального моделирования);
- Р 50.1.029 (Интерактивные электронные технические руководства. Общие требования к содержанию, стилю и оформлению);
- Р 50.1.030 (Интерактивные электронные технические руководства. Требования к логической структуре базы данных);
- Р 50.1.031 (Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции);
- Р 50.1.032 (Терминологический словарь. Ч. 2. Применение стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303);
- ГОСТ Р ИСО 10303-21 (Кодирование открытым текстом структуры обмена);
- ГОСТ Р ИСО 10303-22 (Стандартный интерфейс доступа к данным);
- ГОСТ Р ИСО 10303-31 (Методология и основы аттестационного тестирования. Общие положения);
- ГОСТ Р ИСО 10303-32 (Методология и основы аттестационного тестирования. Требования к испытательным лабораториям и клиентам);

– ГОСТ Р ИСО 10303-34 (Методология и основы аттестационного тестирования. Методы абстрактного тестирования для реализации прикладных протоколов);

– ГОСТ Р ИСО 10303-43 (Интегрированные обобщенные ресурсы. Структуры представлений);

– ГОСТ Р ИСО 10303-44 (Интегрированные обобщенные ресурсы. Конфигурация структуры изделия);

– ГОСТ Р ИСО 10303-46 (Интегрированные обобщенные ресурсы. Визуальное представление).

Знаходяться на стадії розробки та прийняття проекти стандартів:

– ГОСТ Р ИСО 10303-203 (Прикладной протокол. Проекты с управляемой конфигурацией);

– ГОСТ Р ИСО 10303-49 (Интегрированные обобщенные ресурсы. Структура и свойства процесса);

– ГОСТ Р ИСО 10303-101 (Интегрированные прикладные ресурсы. Черчение) [7].

В РФ створена інформаційна система «ТЕХНОРМАТИВ». До неї входить електронна бібліотека «Стандарты CALS-технологий» [21].

2.5 Контрольні запитання та завдання

1. Яка існує класифікація стандартів та інформації про виріб?
2. Що має забезпечувати нормативна база в області CALS-технологій?
3. На які групи розділені стандарти?
4. Назвіть рівні моделей даних.
5. На які етапи життєвого циклу можна розподілити весь обсяг інформації про виріб?
6. Що входить до фонду основних міжнародних стандартів в області CALS-технологій?
7. Міжнародний стандарт ISO 10303: в чому його перевага у використанні обміну даними?
8. Назвіть основні напрямки стандартизації у світі.
9. Чим відрізняється стандарт STEP від стандарту P_LIB?
10. Якими INTERNET-стандартами забезпечується доступ в єдиний інформаційний простір?
11. Перелічіть об'єкти стандартизації в області CALS-технологій.

3 МОДЕЛЮВАННЯ CALS-СИСТЕМИ І ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

3.1 Життєвий цикл інформаційних систем

Під життєвим циклом системи зазвичай розуміють безупинний процес, що починається з моменту ухвалення рішення про необхідність створення системи і закінчується в момент її повного вилучення з експлуатації.

Одним із напрямків підвищення ефективності промислового сектора економіки є застосування сучасних інформаційних технологій для забезпечення процесів, що протікають у ході всього життєвого циклу продукції і її компонентів.

Усе різноманіття цих процесів можна подати у вигляді прямих і зворотних зв'язків постачальника із субпостачальником і споживачем (рис. 3.1).

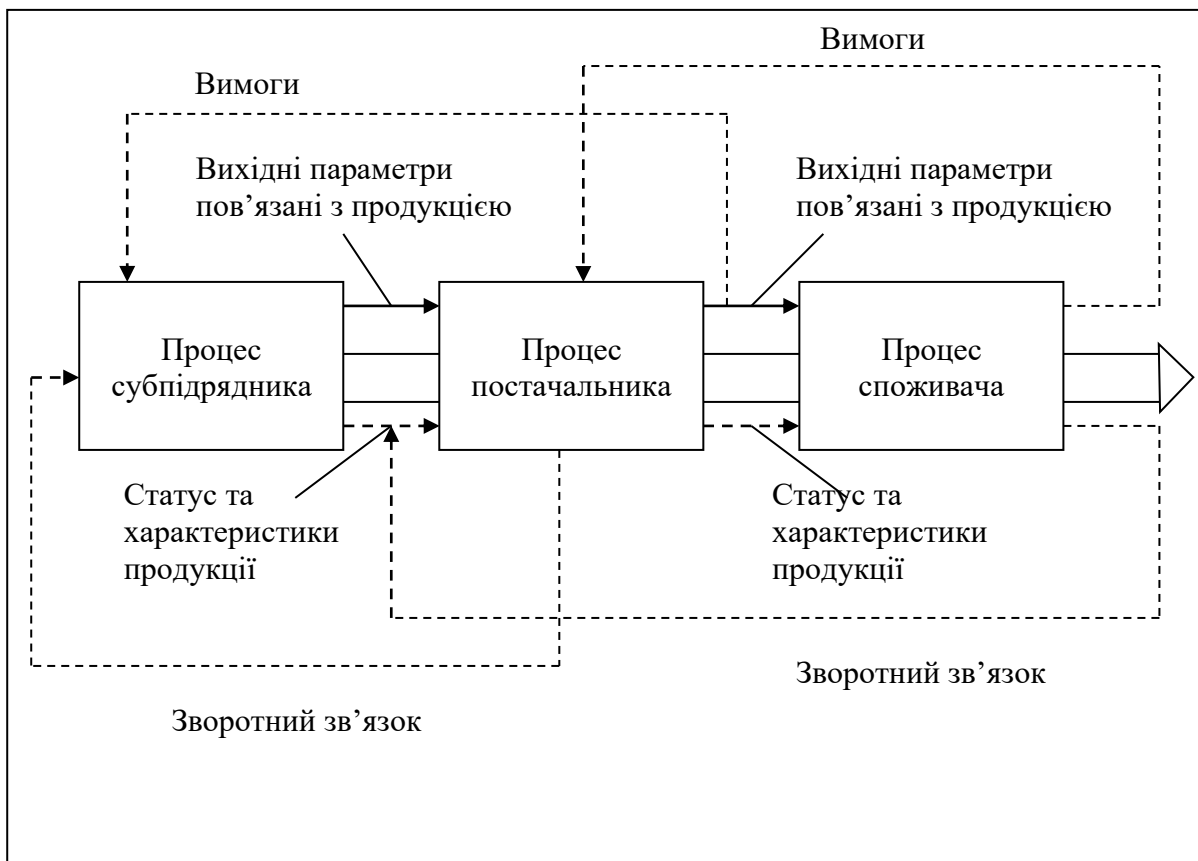


Рисунок 3.1 – Життєвий цикл продукту і його компонентів

У загальному випадку ЖЦ необхідно розглядати як сукупність ЖЦ кінцевого продукту і ЖЦ вхідних у нього компонентів, результатів діяльності суб-постачальників. Тут ЖЦ являє собою деревоподібну структуру (рис. 3.2).

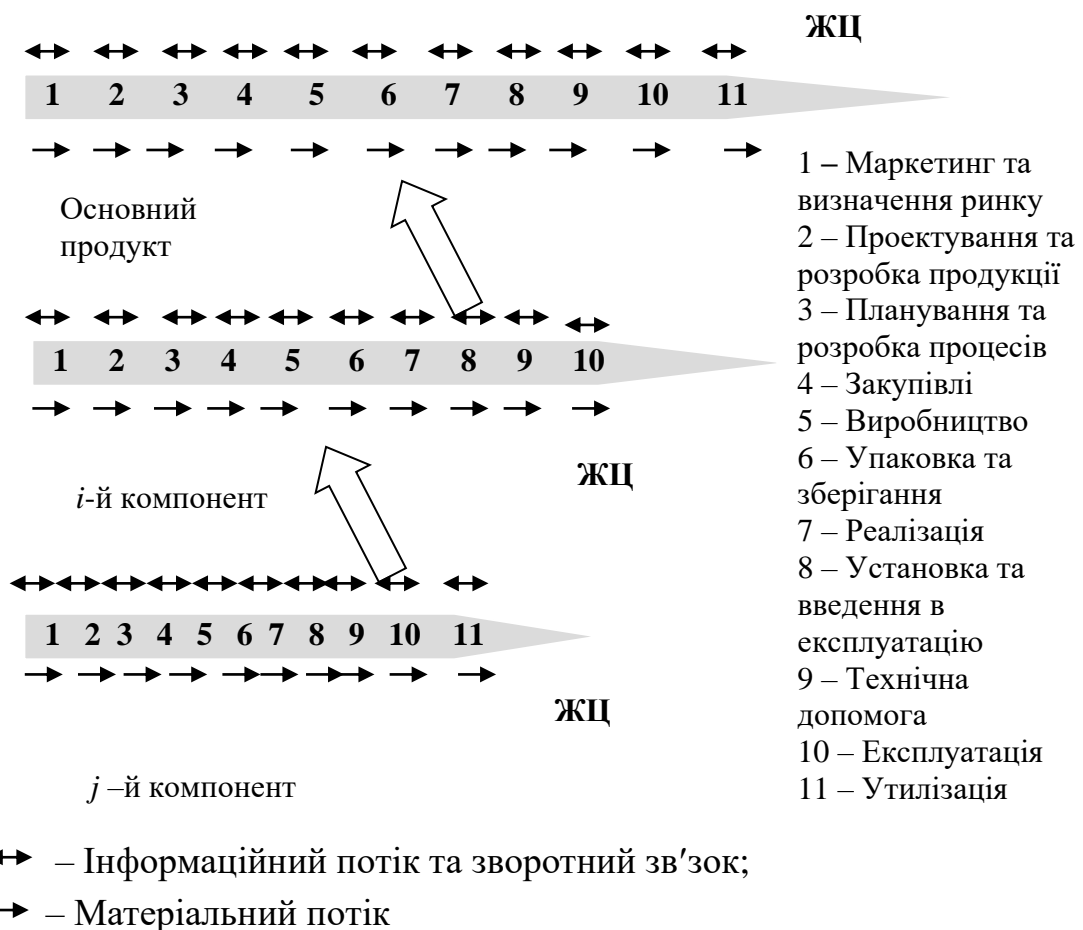


Рисунок 3.2 – Життєвий цикл продукту як взаємозв'язок процесів

Інформаційна взаємодія суб'єктів, що беруть участь у підтримці ЖЦ, має здійснюватися в єдиному інформаційному просторі. В основі концепції єдиного інформаційного простору лежить використання відкритих архітектур, міжнародних стандартів і апробованих комерційних продуктів обміну даними. Стандартизації підлягають формати подання даних, методи доступу до даних та їхньої коректної інтерпретації.

Перші кроки в організації єдиного інформаційного простору були зроблені ще в 80-х роках в оборонному комплексі США. Виникла необхідність у забезпеченні оперативного обміну даними між замовником, виробником і споживачем, а також у підвищенні управління, скороченні паперового документообігу і пов'язаних із ним витрат.

На відміну від інтегрованої автоматизованої системи управління виробництвом (IACU), CALS-система охоплює всі стадії ЖЦ (рис. 3.3).

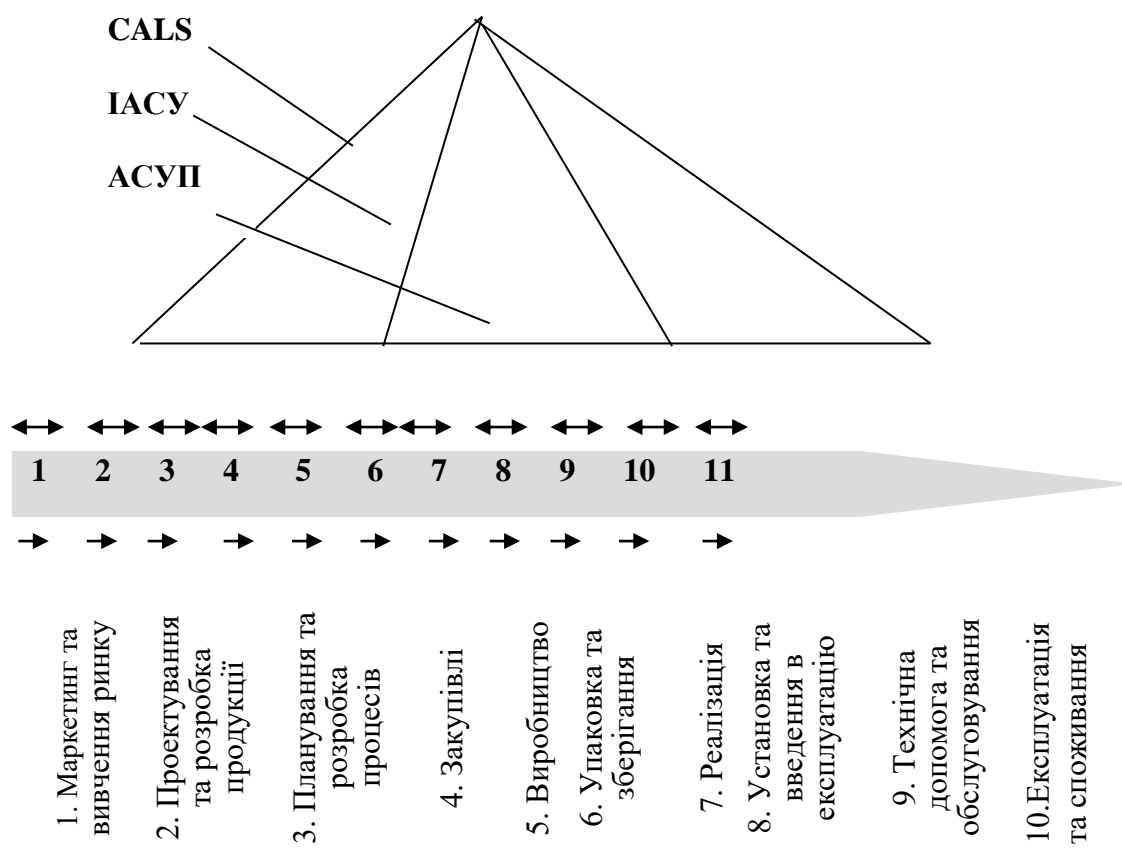


Рисунок 3.3 – Позиціювання АСУП, IACU і CALS всередині життєвого циклу продукту

Предметом CALS є технології спільного використання й інформації (інформаційної інтеграції) у процесах, що виконуються у ході ЖЦ продукту. В основі CALS лежить комплекс єдиних інформаційних моделей, стандартизація способів доступу до інформації та її коректної інтерпретації, забезпечення безпеки інформації, а також юридичні питання спільного використання інформації (у тому числі інтелектуальної власності) [6].

Інформаційна інтеграція базується на застосуванні таких інтегрованих моделей:

- продукту;
- ЖЦ продукту й виконуваних у його ході бізнес-процесів;
- виробничого й експлуатаційного середовища.

З позиції системної архітектури базові інформаційні моделі – це фундамент, на якому можуть бути побудовані автоматизовані системи управління різного рівня.

Класифікація інформаційних моделей та їх зв'язок із стадіями ЖЦ продукту наведена в таблиці 3.1 [27].

Таблиця 3.1 – Класифікація інформаційних моделей та їх зв'язок із стадіями ЖЦ продукту

Стадія ЖЦ	Інформаційна модель		
	Продукту	ЖЦ продукту і бізнес-процесів, які виконуються в його ході	Виробничого та експлуатаційного середовища
Маркетинг	Маркетингова (концептуальна)	Модель процесів маркетингу виробу	Модель маркетингового середовища
Проектування та розробка продукту	Конструкторська	Модель процесів проектування та розробки продукту	Модель проектно-конструкторського середовища
Виробництво, або надання послуг, пакування та зберігання	Технологічна	Модель процесів виробництва	Модель технологічного середовища
Реалізація	Збутова (ціни, умови продажу та ін.)	Модель процесів продажу	Модель середовища, в якому здійснюється продаж
Постановка та введення в експлуатацію, технічна допомога та обслуговування, експлуатація, утилізація	Експлуатаційна	Модель процесів експлуатації	Модель експлуатаційного середовища

На основі однієї і тієї самої моделі ЖЦ і бізнес-процесів оцінюються задачі аналізу ефективності бізнес-процесів і забезпечення якості продукції. Інтегрована модель продукту забезпечує обмін даними про виріб між проектувальником і виробником, є джерелом інформації для розрахунку потреби в матеріалах і створення електронних довідників з експлуатації продукту тощо.

Застосування інформаційних моделей, які спільно використовуються, є єдиним джерелом інформації і стандартизованих методів доступу до даних, основа ефективної інформаційної кооперації всіх учасників ЖЦ.

Усі стандарти на інформаційні системи можна розбити на такі два основних класи.

1. Функціональні стандарти, які визначають порядок функціонування системи в інтересах досягнення мети, поставленої її розробниками.

2. Стандарти життєвого циклу, які визначають те, як створюється, розгортається, застосовується та ліквідується система.

Моделі, обумовлені стандартами цих двох класів зазвичай, взаємозалежні, втім вирішують зовсім різні задачі та характеризуються принципово різними підходами до їх побудови. Життєвий цикл інформаційної системи охоплює всі стадії й етапи її створення, супроводу та розвитку:

- передпроектний аналіз (включаючи формування функціональної й інформаційної моделей об'єкта, для якого призначена інформаційна система);

- проектування системи (включаючи розробку технічного завдання, ескізного та технічного проєктів);

- розробку системи (у тому числі програмування та тестування прикладних програм на підставі проєктних специфікацій підсистем, виділених на стадії проектування);

- інтеграцію та складання системи, проведення її випробувань;

- експлуатацію системи та її супровід;

- розвиток системи.

Тому доцільно розглядати як визначальний документ міжнародний стандарт ISO/IEC 12207. Даний стандарт визначає структуру життєвого циклу, який містить процеси, що мають бути виконані під час створення програмного забезпечення інформаційної системи.

Ці процеси поділяються на три групи: основні (придбання, постачання, розробка, експлуатація та супровід), допоміжні (документування, управління конфігурацією, забезпечення якості, верифікація, атестація, оцінка, аудит і вирішення проблем) та організаційні (управління проєктами, створення інфраструктури проєкту, визначення, оцінка й поліпшення самого життєвого циклу, навчання).

Інформація про етапи розробки автоматизованих інформаційних систем (АІС) зведена в таблицю 3.2 [28].

Таблиця 3.2 – Етапи проектування АІС і їх характеристики

№ п/п	Найменування етапу	Основні характеристики
1	2	3
1	Розробка й аналіз бізнес-моделі	Визначаються основні задачі АІС, проводиться декомпозиція задач за модулями і визначаються функції, за допомогою яких зважуються ці задачі. Опис функцій здійснюється мовами: виробничою (опис процесів предметної області), функціональною (опис форм документів, що оброблюються) і технічних вимог (апаратне, програмне, лінгвістичне забезпечення АІС). Метод вирішення: Функціональне моделювання. Результат: 1. Концептуальна модель АІС, що складається з опису предметної області, ресурсів і потоків даних, переліку вимог і обмежень до технічної реалізації АІС. 2. Апаратно-технічний склад створюваної АІС.
2	Формалізація бізнес-моделі, розробка логічної моделі бізнес-процесів	Розроблена концептуальна модель формалізується, тобто втілюється у вигляді логічної моделі АІС. Метод вирішення: Розробка діаграми «сутність-зв'язок». Результат: Розроблене інформаційне забезпечення АІС: схеми та структури даних для всіх рівнів модульності АІС, документація за логічною структурою АІС, згенеровані скрипти для створення об'єктів БД.
3	Вибір лінгвістичного забезпечення, розробка програмного забезпечення АІС.	Розробка АІС: обирається лінгвістичне забезпечення (середовище розробки – інструментарій), проводиться розробка програмного та методичного забезпечення. Розроблена на другому етапі логічна схема втілюється в реальні об'єкти, при цьому логічні схеми реалізуються у вигляді об'єктів бази даних, а функціональні схеми – у користувацькі форми та додатки. Метод вирішення: Розробка програмного коду з використанням обраного інструментарію. Результат: Працездатна АІС.
4	Тестування та налагодження АІС	На даному етапі здійснюється коригування інформаційного, апаратного, програмного забезпечення, проводиться розробка методичного забезпечення (документації розробника, користувача) тощо Результат: 1. Оптимальний склад та ефективне функціонування АІС. 2. Комплект документації: розробника, адміністратора, користувача.

Продовження табл. 3.2

1	2	3
5	Експлуатація і контроль версій	<p>Особливістю АІС створених за архітектурою клієнт-сервер є їх багаторівневність і багатомодульність, тому під час їхньої експлуатації та розвитку на перше місце виходять питання контролю версій, тобто додавання нових і розвиток старих модулів із виводом з експлуатації старих. Наприклад, якщо щоденний контроль версій не ведеться, то як показала практика, в АІС за рік експлуатації може нараховувати більш 1000 таблиць, з яких ефективно використовуватися буде лише 20–30%.</p> <p>Результат: Нарощування і безнадлишковий склад гнучкої, масштабованої АІС</p>

3.2 Моделі життєвого циклу виробу

Міжнародний стандарт ISO/IEC 12207 [12] визначає структуру життєвого циклу, який містить процеси, що мають бути виконані під час створення програмного забезпечення інформаційної системи, однак не пропонує конкретної моделі життєвого циклу та методів розробки, його рекомендації є загальними для будь-яких моделей життєвого циклу.

Під моделлю зазвичай розуміється структура, що визначає послідовність виконання та взаємозв'язки процесів, дій і задач протягом життєвого циклу. З існуючих зараз моделей найбільш поширені дві: каскадна та спіральна. Вони принципово розрізняються самим підходом до інформаційної системи та її програмного забезпечення. Суть розходжень у тому, що в каскадній моделі інформаційна система є однорідною і її програмне забезпечення визначається як єдине (із нею) ціле. Даний підхід характерний для більш ранніх інформаційних систем (каскадний метод застосовується з 1970 року), а також для систем, для яких на самому початку розробки можна досить точно і повно сформулювати усі вимоги. У ході виконання цих умов каскадний метод дозволяє досягти високих результатів.

Суть каскадного методу (рисунок 3.4) полягає в розбивці всієї розробки на етапи, причому перехід від попереднього етапу до наступному здійснюється тільки після повного завершення робіт попереднього етапу. Відповідно на кожному етапі формується закінчений набір проектної документації, достатньої для того, щоб розробка могла бути продовжена іншою групою розробників. Іншим позитивним моментом каскадної моделі є можливість планування

термінів завершення робіт і витрат на їхнє виконання. Однак у каскадній моделі є один істотний недолік – дуже складно вкласти реальний процес створення програмного забезпечення в таку жорстку схему, й тому постійно виникає необхідність повернення до попереднього етапу з метою уточнення та перегляду раніше прийнятих рішень.

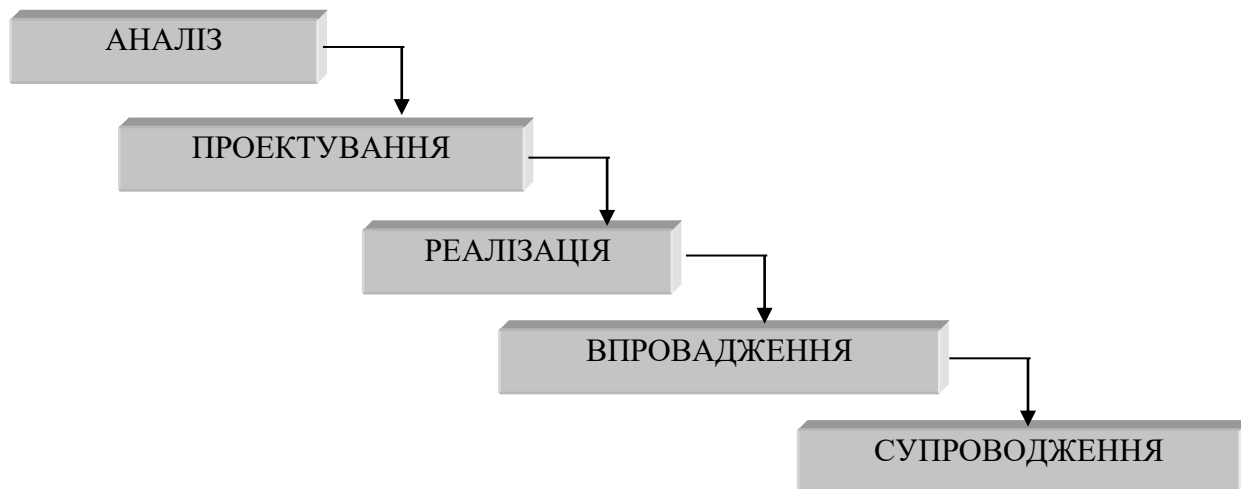


Рисунок 3.4 – Каскадна модель життєвого циклу

Втім і каскадна модель, і модель із проміжним контролем мають серйозний недолік – запізнювання з одержанням результатів. Дана обставина виникає тому, що узгодження результатів можливо тільки після завершення кожного етапу робіт. На час проведення кожного етапу вимоги жорстко задаються у вигляді технічного завдання. Тобто існує небезпека, що через неточний виклад вимог чи їхньої зміни за тривалий час створення програмного забезпечення кінцевий продукт виявиться незатребуваним. Для подолання цього недоліку і була створена спіральна модель, орієнтована на активну роботу з користувачами, яка подає розроблювану інформаційну систему як таку, що постійно коригується під час розробки. У спіральній моделі (рисунок 3.6) основний опір робиться на етапи аналізу та проектування, на яких реалізованість технічних рішень перевіряється шляхом створення прототипів.

Результатом такого конфлікту стала поява моделі з проміжним контролем (рисунок 3.5), яка представляє її як самостійну модель, чи як варіант каскадної моделі. Ця модель характеризується міжетапними коригуваннями, що подовжують період розробки виробу, але підвищують надійність.

Спіральна модель (рис. 3.6) дозволяє починати роботу над наступним етапом, не чекаючи завершення попереднього. Спіральна модель має метою якомога раніше ознайомити користувачів із працездатним продуктом, коригуючи за необхідності вимоги до розроблюваного продукту і кожен

«виток» спіралі означає створення фрагмента чи версії. Основна проблема спірального циклу – визначення моменту переходу на наступний етап, і можливим її вирішенням є примусове обмеження за часом для кожного з етапів життєвого циклу. Найбільш повно переваги такої моделі виявляються в процесі обслуговування програмних засобів.

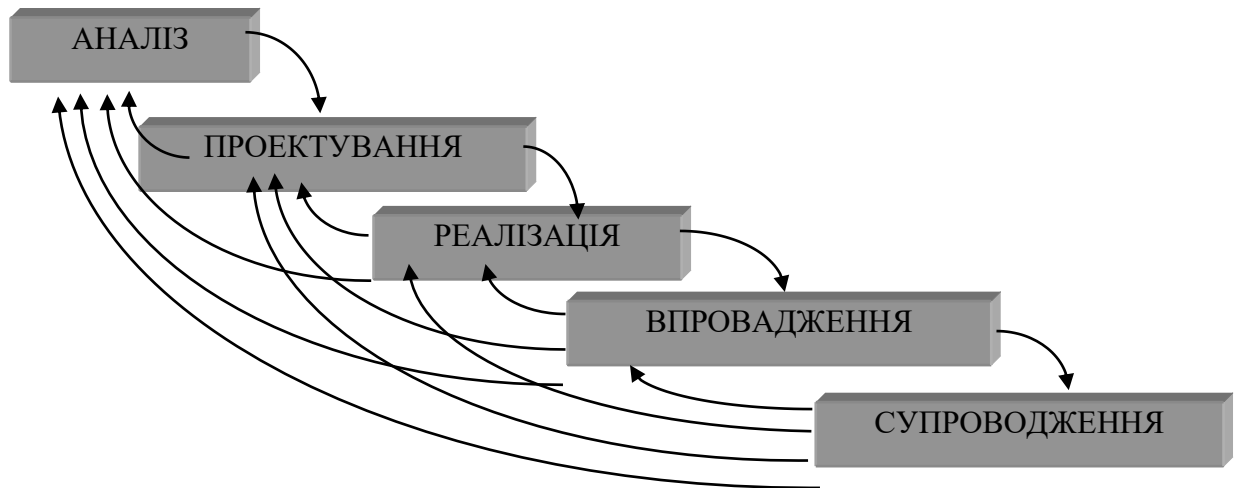


Рисунок 3.5 – Модель життєвого циклу з проміжним контролем

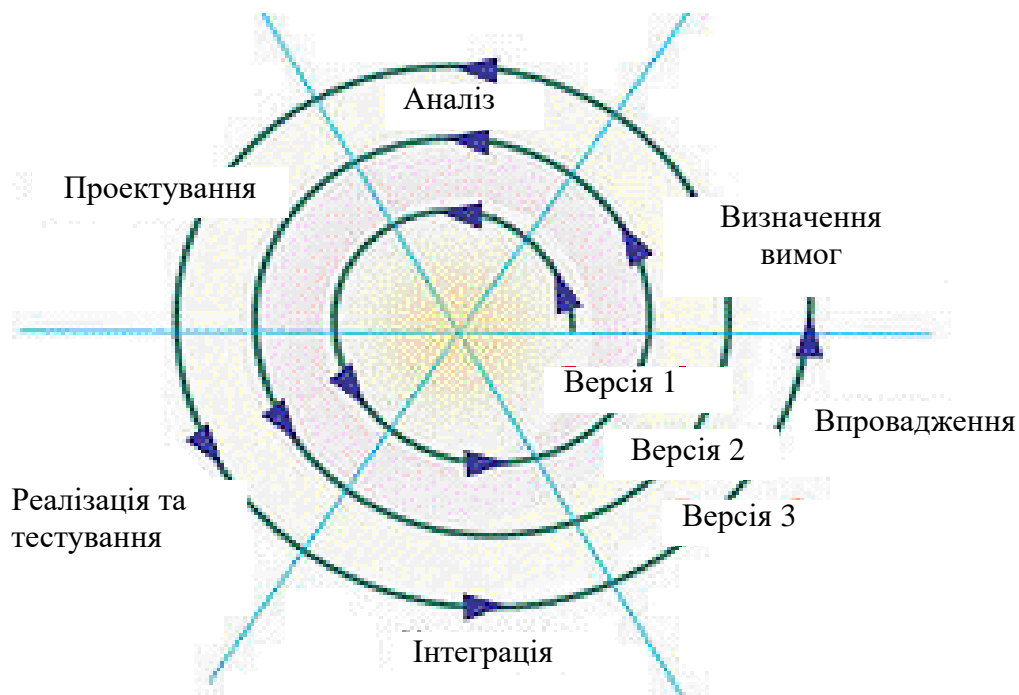


Рисунок 3.6 – Спіральна модель життєвого циклу

Порівнюючи ці моделі, можна сказати, що каскадна модель більш універсальна, тобто вона застосовна до виробництва різних виробів, будь то відбійний молоток, чи графічний редактор. Для різних виробів просто змінюватимуть кількість і назва етапів моделі. Спіральна ж модель більш орієнтована саме на інформаційні системи, особливо на програмні продукти, тому під час розробки інформаційних систем та їхнього програмного забезпечення вона краще каскадної [29].

Наступним кроком у питанні підтримки життєвого циклу інформаційної системи, як і будь-якого іншого виробу, є його автоматизація. Втім автоматизація різних процесів, пов'язаних із розробкою, виробництвом і експлуатацією як виробів промисловості, так і інформаційних систем найбільш ефективна в тому випадку, коли вона охоплює всі етапи життєвого циклу виробу, тобто шляхом реалізації концепції CALS.

Моделі життєвого циклу інформаційних систем призначені для використання насамперед розробниками таких систем. Тому потрібно розуміти, як ці моделі можуть бути корисні для тих, хто реально зайнятий експлуатацією інформаційних систем [30].

Тут постає питання – а в ролі кого відносно інформаційної системи (наприклад, корпоративної мережі підприємства) виступають ті, хто працює на підприємстві і зайнятий її експлуатацією – системні адміністратори, менеджери, користувачі тощо? У розвинутій сучасній корпорації фахівці з інформаційних технологій беруть безпосередню участь у формуванні мережного рішення – виборі архітектури, оптимізації топології, налагоджуванню мережного програмного забезпечення і зазвичай модернізації мережі. Іншими словами, співробітники підприємства виступають у ролі одних із її розробників. Отже, модель життєвого циклу інформаційної системи, хочуть вони цього чи ні, стає їхнім робочим інструментом.

Кращою моделлю життєвого циклу для корпоративної мережі є спіральна модель. У даному конкретному випадку вона інтерпретується в такий спосіб: фахівці, зайняті експлуатацією мережі, постійно розробляють нову версію своєї мережі, проходячи в такій роботі на кожному витку спіралі стандартні етапи і не чекаючи, коли ефективність системи опуститься нижче заданого порога чи система не зможе задовольняти постійно зростаючі вимоги підприємства. Застосування ж при цьому CALS-технологій виявляється особливо корисним для мереж середніх і великих корпорацій як ефективного й автоматизованого засобу реалізації обраної моделі життєвого циклу [31].

Використання міжнародних стандартів життєвого циклу в цій роботі дозволяє значно заощадити зусилля, час і матеріальні ресурси. І в цьому головні переваги використання таких моделей життєвого циклу, апробованих багаторазово та повсюдно.

Автоматизація різних процесів, пов'язаних із розробкою, виробництвом і експлуатацією виробів промисловості найбільш ефективна в тому випадку, коли вона охоплює всі етапи життєвого циклу виробу. При цьому необхідно подолання таких перешкод:

- наявність множини різних систем, що вирішують дуже ефективно конкретні задачі, що належать до конкретного етапу життєвого циклу, приводить до труднощів обміну даними між суміжними системами;

- наявність, як правило, великої кількості підприємств, що беруть участь у підтримці життєвого циклу виробу, вимагає ефективного обміну інформацією про виріб між партнерами;

- складність виробу, наявність множини його модифікацій, запозичення, стандартизація, уніфікація, вимагають підтримки багаторівневих різноманітних складних моделей.

Ці труднощі можуть бути переборені шляхом реалізації концепції CALS. CALS – це не конкретний програмний продукт, не набір правил, а саме концепція.

3.3 Концепція CALS-створення єдиної інтегрованої моделі виробу

Суть концепції CALS надзвичайно проста – вона полягає в створенні єдиної інтегрованої моделі виробу. Така модель має відбивати всі аспекти виробу – і його властивості, і знання про виріб та про його виробництво, така модель має супроводжувати виріб протягом його життєвого циклу (див. рисунок 3.7).

Основний зміст концепції CALS, що принципово відрізняє її від інших, складає інваріантні поняття, що реалізуються (цілком або частково) протягом життєвого циклу виробу (див. рисунок 3.7).

Під поняттям «єдина модель» розуміється на увазі модель, що містить всю інформацію про виріб, необхідний на кожному з етапів ЖЦВ. Під поняттям «інтегрована» розуміється на увазі модель, у побудові кожного із фрагментів якої використовувалися єдині засоби та методи побудови моделей. Також враховується забезпечення цілісності всієї моделі, що описує виріб [32].

Ці інваріантні поняття умовно поділяються на три групи:

- базові принципи CALS;
- базові управлінські технології;
- базові технології управління даними.

До числа перших належать:

- системна інформаційна підтримка ЖЦВ на основі використання інтегрованого інформаційного середовища (ІС), що забезпечує мінімізацію витрат у ході ЖЦ;
- інформаційна інтеграція за рахунок стандартизації інформаційного опису об'єктів управління;
- поділ програм і даних на основі стандартизації структур даних і інтерфейсів доступу до них, орієнтація на готові комерційні програмно-технічні рішення (Commercial Of The Shelf – COTS), що відповідають вимогам стандартів;
- безпаперове подання інформації, використання електронно-цифрового підпису;
- паралельний інжиніринг (Concurrent Engineering);
- безупинне вдосконалювання бізнес-процесів (Business Processes Reengineering).



Рисунок 3.7 – Побудова інтегрованої моделі виробу

До числа *других належать* технології управління процесами, інваріантними стосовно об'єкту (продукції):

- управління проектами та завданнями (Project Management/Workflow Management);

- управління ресурсами (Manufacturing Resource Planning);

- управління якістю (Quality Management);

- інтегрована логістична підтримка (Integrated Logistic Support).

До числа *третьох належать* технології управління даними про виріб, процесами, ресурсами та середовищем.

Концептуальна модель CALS описана в розділі 1 посібника.

Реалізація CALS розглядається в трьох основних аспектах:

- етапів ЖЦВ;

- рівня абстракції подання інформації про виріб;

- функцій обробки інформації.

Життєвий цикл виробу може бути розбитий на такі *етапи*.

1. Створення моделі виробу – концептуальне та робоче проектування.

2. Створення екземплярів виробу – матеріально-технічне забезпечення, виготовлення, контроль і діагностика.

3. Реалізація й експлуатація виробу.

З погляду *рівня абстракції* дані про виріб можна розбити на:

- модель конкретного виробу;

- нормативно-довідкову інформацію про класи виробів;

- знання про методи створення та використання виробів.

У *функціональному аспекті* реалізація CALS вимагає забезпечення для кожного з етапів життєвого циклу на кожному з рівнів абстракції трьох основних функцій:

- збереження;

- відображення;

- обмін.

Кожна з комбінацій *Етап життєвого циклу – Рівень абстракції – Функція* має свої характерні принципи реалізації й інструменти. Приведення спільних даних, що використовуються у ході ЖЦ, до єдиної стандартизованої інформаційної моделі істотно спрощує побудова інтегрованої інформаційної системи, оскільки дозволяє застосовувати комерційні (COTS) прикладні рішення для різних конкретних задач (рисунок 3.8) [32].

Реалізація концепції CALS стикається з численними проблемами. Одна з таких проблем – це стандартизація поданих в електронній формі даних і знань.

Тільки така стандартизація дозволить працювати з усією єдиною моделлю чи з її фрагментами різних програмних засобів. Такими стандартами мають слугувати інформаційні CALS-стандарти.

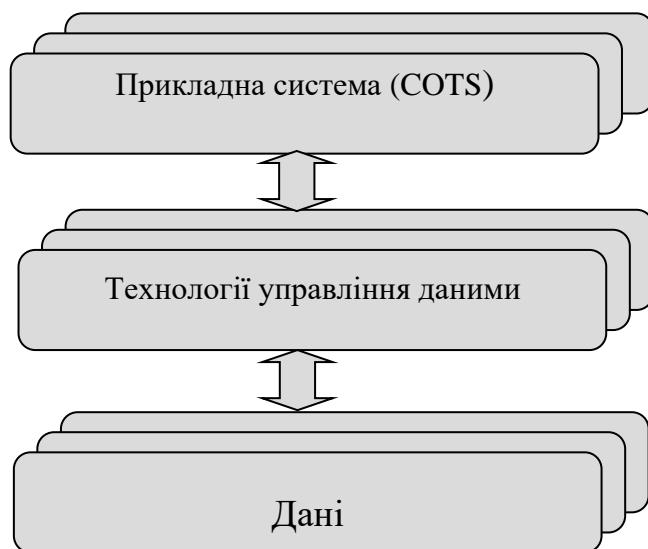


Рисунок 3.8 – Загальна модель архітектури типової CALS-системи

Зараз найбільш розроблені наступні питання реалізації концепції CALS:

- електронне сховище виробничих даних;
- електронна технічна (експлуатаційна) документація;
- електронний обмін даними про виробництво виробів і матеріальне постачання.

Електронне сховище даних, яке призначене для збереження інтегрованої моделі, може бути реалізоване із застосуванням технології, названої «Data Warehouse» (Сховища Даних), що характеризується як предметно-орієнтована, інтегрована, немінлива, підтримуюча хронологія набору даних, яка організована для цілей підтримки управління.

Основними властивостями Сховища Даних є:

- предметна орієнтація;
- інтегрованість даних;
- інваріантність у часі;
- неруйнівність – стабільність інформації;
- мінімізація надмірності інформації.

Стандарт STEP забезпечує засоби опису єдиних моделей виробу. Стандарт складається з множини томів, які можна розподілити на дві частини:

- частина, яка описує загальну концепцію побудови моделі виробу й універсальних засобів (методи опису та методи реалізації);

– частина, яка описує конкретні предметні області (прикладні протоколи й ресурси).

Прикладні протоколи покривають різні предметні області, можуть групуватися (наприклад, кілька різних прикладних протоколів належать до суднобудування, описуючи різні системи кораблів). Неминуче при цьому часткове перекриття областей, описаних різними протоколами.

Передбачається інтеперабельність описів суміжних предметних областей (тобто сумісність моделей, описаних відповідно до прикладних протоколів, що належать до суміжних предметних областей). Нині з усієї множини прикладних протоколів широко використовується тільки один – AP203 (Configuration Controlled Design), тому питання про інтеперабельність прикладних протоколів поки що практично не порушувалось. Можна лише сказати, що існує регламент розробки прикладних протоколів, що передбачає наповнення протоколу об'єктами, які є підтипами об'єктів, визначених у томах стандарту, що описують інтегровані ресурси. Такий регламент зазвичай не може гарантувати сумісність двох протоколів, але полегшити досягнення сумісності повинен.

На базі стандарту STEP зараз розробляється серія інформаційних стандартів. Їхнє впровадження забезпечить більш ефективне використання Сховищ Даних. Це такі стандарти:

- ISO 13584 P_LIB (Інтелектуальна бібліотека виробів);
- ISO 14959 PAREX (Опис параметризованої моделі та подання знань про виріб);
- ISO 15531 MANDATE (Опис виробничого процесу);
- ISO 15926 OIL & GAZ.

Незважаючи на те що із самої назви стандарту STEP впливає те, що він призначений для обміну даними, у даний час задача обміну даними реалізується:

- за допомогою формату STEP;
- за допомогою інших форматів IGES, DXF, CGM, що є або попередниками стандарту STEP, або альтернативою цьому стандарту;
- за допомогою UN/EDIFACT. Цей стандарт застосовується для обміну даними в тих областях, що будуть охоплені STEP тільки у віддаленій перспективі.

Стандарт UN/EDIFACT – це правила ООН для електронного обміну даними в управлінні, у комерції і на транспорті. Правила являють собою набір, погоджених на міжнародному рівні стандартів, довідників і посібників з

електронного обміну структурованими даними. Правила переважно стосуються торгівлі товарами й послугами між незалежними комп'ютеризованими інформаційними системами. Правила погоджені структурами ООН.

Для створення інформаційних систем розроблена спеціальна методологія Unified Modeling Language (UML). UML – це уніфікована мова моделювання для опису, візуалізації та документування об'єктно-орієнтованих систем у процесі їхньої розробки. UML призначена підтримати процес моделювання складних систем. На основі об'єктно-орієнтованої концепції вона допомагає організувати взаємозв'язок концептуальних і програмних понять, відбивати проблеми масштабування складних систем.

У мові UML для опису системи в ході аналізу та проектування передбачені такі графічні діаграми:

- діаграми варіантів використання (Use Case Diagrams);
- діаграми класів (Class Diagrams);
- діаграми, що описують поведження системи;
- діаграми станів (State Diagrams);
- діаграми діяльностей (Activity Diagrams);
- діаграми послідовностей (Sequence Diagrams);
- діаграми взаємодії (Collaboration Diagrams);
- діаграми, що описують реалізацію системи;
- діаграми компонентів (Component Diagrams);
- діаграми розподілу (Deployment Diagrams).

Ця мова дозволяє:

- формалізувати функціональні вимоги до системи за допомогою апарата Use Case (використання вибору);
- деталізувати вимоги до системи шляхом побудови діаграм технологічних сценаріїв;
- розбити складну систему на складові частини з мінімумом взаємних зв'язків шляхом виділення пакетів;
- виділити класи даних, побудувавши концептуальну модель даних у вигляді діаграми класів;
- виділити класи, що описують інтерфейс користувача, і створити схему навігації екранів;
- описати процеси взаємодії об'єктів під час виконання системних функцій;
- описати поведження об'єктів у виді діаграм стану;
- показати програмні компоненти і їх взаємодію через інтерфейси;
- представити фізичну архітектуру системи.

Різні організації можуть застосовувати мову UML на свій розсуд залежно від своїх проблемних областей і технологій, що використовуються [33].

Суть моделювання:

1. Будується модель «AS-IS» (як є), як моментного знімку роботи бізнесу.
2. Отримана модель аналізується (бажано із залученням сторонніх експертів) із метою виявлення вузьких місць, зайвих зв'язків і ланок тощо
3. Потім будується модель бізнесу «TO-BE» (як буде) і затверджується план робіт із переходу від моделі «AS-IS» до моделі «TO-BE».

Існує кілька підходів до моделювання бізнес-процесів:

- функціональне моделювання (IDEF0, IDEF1X, IDEF3, DFD);
 - об'єктно-орієнтоване моделювання (IDEF6);
 - комплексне моделювання (ARIS, RATIONAL ROSE, PARADIGM PLUS, DESIGNER/2000).
4. На підставі моделі фірми проводиться логічне моделювання:
 - моделі алгоритмів поведіння майбутньої системи (IDEF3);
 - модель документообігу (DFD);
 - модель даних (IDEF1X).

Аналіз логічної моделі і дасть нам відповіді на питання, що, де і як можна автоматизувати в нашому бізнесі (якщо взагалі є така необхідність). Узагальнена математична модель об'єкту може бути подана у вигляді багаторівневої, конвеєрної, мережної математичної моделі, де рівні моделі відбивають рівні проектування (етапи) виробу, конвеєрність моделі відбиває механізми передачі даних і їхній спектр між етапами (не обов'язково сусідніми), а мережна структура моделі відбиває параметричні зв'язки між окремими характеристиками проектованого виробу. Багаторівневність моделі відбиває також процес послідовної деталізації об'єкта в ході проектування.

Ядром усіх сучасних технологій проектування (спадне, наскрізне, паралельне, CALS) є багаторівнева математична модель проектування (конвеєрна, мережна, узагальнена) з такими функціями:

1. Планування виробництва містить у собі всі рівні планування, у тому числі:
 - довгострокове планування;
 - планування проектування;
 - планування виробництва;
 - планування збуту виробу.
2. Організація виробничих процедур включає процедури з виробництва, контролю та збереження готової продукції.

3. Продаж і маркетинг містить у собі:

- встановлення планів з виробництва та продажу;
- розробку програм з маркетингу;
- забезпечення роботи допоміжних служб.

4. Фінансове управління процесами проектування та виробництва, розподіл і облік витрат. Забезпечує постійну випереджальну оцінку витрат у процесах проектування та виробництва.

5. Система адміністрування містить у собі всі аспекти управління:

- персоналом;
- офісом (управління підприємством, власністю, відносинами з громадськістю).

Усі перераховані вище функції будуються на принципі випереджального планування процесів проектування та виробництва виробу.

Управління загальним потоком інформації, що реалізується технологією автоматизованої інформаційної підтримки (АІП), неможливе без елементів підтримки, до яких належать:

- апаратне забезпечення і програмний контроль;
- забезпечення інформаційного зв'язку комп'ютерів;
- управління даними;
- загальне управління системою;
- прикладне програмне забезпечення;
- систему підтримки прийняття рішень;
- систему управління виробничими функціями.

Усі ці сім елементів складають інфраструктуру АІП. До структури АІП також входять системи реалізації витрат, що включають:

- підсистему бухгалтерського обліку;
- підсистему контролю витрат. Визначає термінові зміни й доповнення, які необхідно внести в проект, а також процес виробництва та випуску виробу;
- підсистему планування витрат. Визначає на етапах розробки технічного завдання й АВАН-проектування величину приблизних витрат на виробництво виробу.

Практично всі компанії-розробники програмного забезпечення мають схожі проблеми випуску якісного ПЗ. Проблеми ці відомі, а способи вирішення вже є, тому що система Rational Unified Process (RUP) описує як найкраще організувати процес випуску ПЗ, які при цьому мають бути документи, які ролі мають виконувати члени команди, що вони одержують на вхід, і що віддають на виході (таблиця 3.3) [33].

Таблиця 3.3 – Технологічні етапи RUP і моделі, що розроблюються

Технологічні етапи з RUP	Моделі	Призначення моделі	ПЗ із складу Rational Suite
1	2	3	4
1. Бізнес моделювання	1. Модель бізнес-процесів	Визначення бізнес-вимог до системи, що розроблюється	Rational Rose
	2. Модель структури підприємства	Для розробки функціональної моделі системи	
	3. Моделі документів, бізнес-суті	Для проектування інтерфейсу користувача, БД, формування альбому вихідних форм системи	
	4. Моделі сценаріїв бізнес-функцій	Для проектування сценаріїв інтерфейсу користувача	
	5. Моделі стану бізнес-суті	Для проектування інтерфейсу користувача, БД системи	
	6. Моделі бізнес-правил	Для моделювання правил програмної системи	
2. Визначення вимог	1. Модель функції системи	Визначення функціональних вимог до системи	
	2. Модель сценаріїв функцій системи	Визначення логіки роботи функцій системи	
	3. Модель віконного інтерфейсу	Специфікації елементів віконного інтерфейсу	
	4. Модель сценаріїв роботи користувача системи	Визначення сценаріїв роботи користувача із системою	
	5. Модель вихідних форм	Опис альбому вихідних форм системи	
	6. Модель правил системи	Визначення правил системи	
3. Аналіз і проектування	1. Логічна модель даних	Визначення семантики даних, що зберігаються	
	2. Фізична модель даних	Визначення таблиць БД	
	3. Модель специфікації компонентів системи	Визначення специфікації на компоненти системи	
	4. Сценарії взаємодії класів, що реалізують компоненти системи	Опис алгоритмів взаємодії класів системи	

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4
4 Реалізація. Тестування	1. Компонентна модель додатку	Опис компонентної моделі додатку	Rational Rose
	2. Модель тестових прикладів	Опис вхідних/вихідних тестових прикладів	
	3. Функціональна модель тестової програми	Опис функцій тестової програми	
	4. Модель специфікації компонентів тестової програми	Визначення специфікації на компоненти тестової програми	
	5. Сценарії взаємодії класів, що реалізують взаємодію компонентів тестової програми	Опис алгоритмів взаємодії класів тестової програми	
6. Впровадження	1. Модель розміщення	Опис розміщення компонентів за вузлами обробки	

CALS, як сукупність принципів і технологій інформаційної підтримки життєвого циклу продукції на всіх його стадіях, заснована на використанні єдиного інформаційного простору, що забезпечує взаємодію всіх учасників цього циклу:

- замовників продукції;
- постачальників (виробників) експлуатаційних і ремонтних підприємств;
- транспортних і складських підприємств.

Більшість методів розробки систем ПЗ спрямовані переважно на створення абсолютно нових систем, тоді як практично всі системи ПЗ переносять зміни за час свого існування, і у більшості випадків ці зміни дуже істотні. На процес внесення цих змін доводиться витратити найбільшу кількість коштів і часу, і, таким чином, розвиток промислових систем має фокусуватися переважно на підтримці зміни системи ПЗ у процесі свого «життя». Нова система, таким чином, може розглядатися як специфічний варіант – перша версія системи. Процес одержання кожної нової версії системи виглядає приблизно так (рис. 3.9).

У ході розробки великих систем ПЗ дуже важливо чітко уявляти собі, яким чином різні кроки, обумовлені обраним методом, взаємодіють між собою і, яким чином вони накладаються на процес розробки ПЗ у цілому (рис. 3.10).

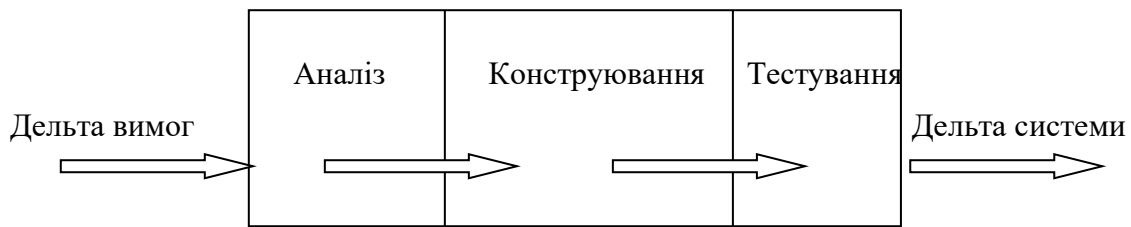


Рисунок 3.9 – Процес одержання нової версії системи

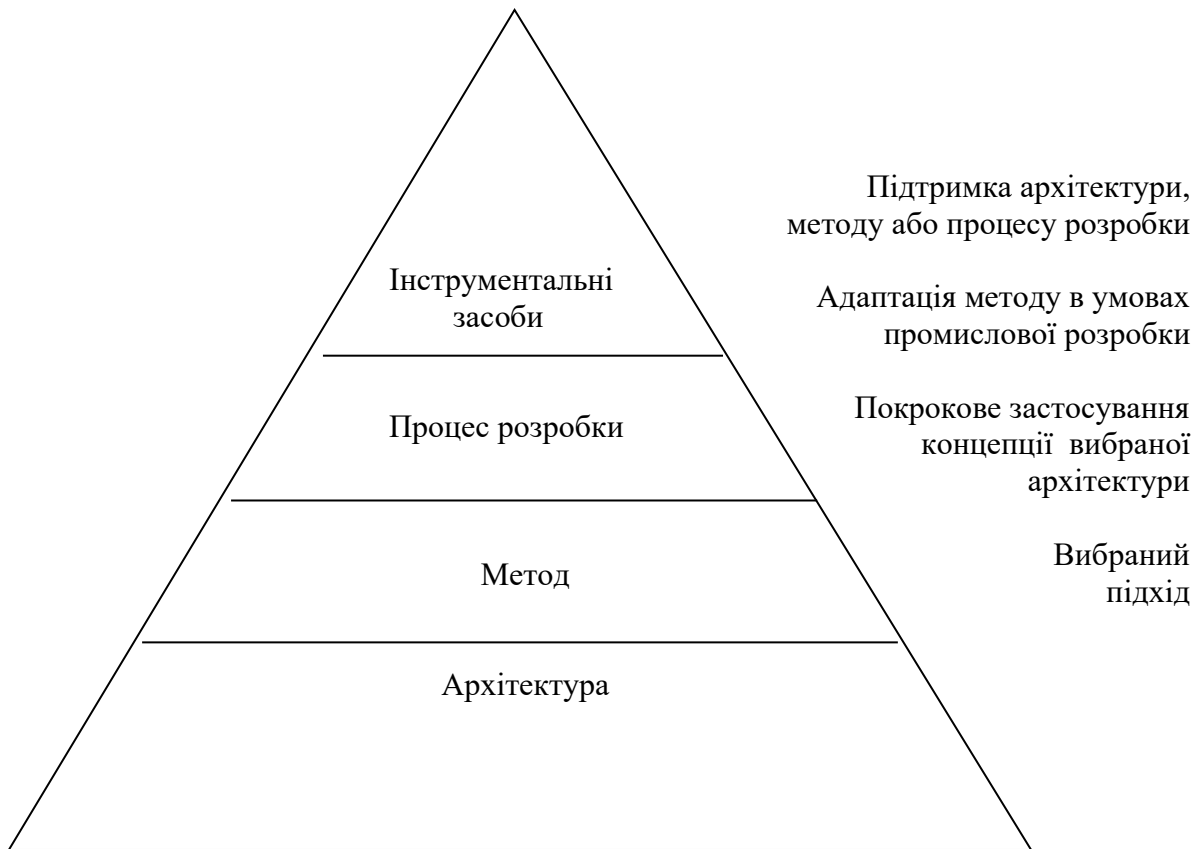


Рисунок 3.10 – Розробка програмного забезпечення

Процес розробки ПЗ носить інтерактивний характер (рис. 3.11).

В основу підходу покладені три основних методи:

- об'єктно-орієнтоване програмування (інкапсуляція, спадкування, відносини між класами й екземплярами);
- концептуальне моделювання (синонім моделювання даних: структурування інформації та використання баз даних);
- проектування блоків (блоки з інкапсульованими даними та програмами поведження, опис сигналів між цими блоками, техніка діаграм взаємодії, інтерфейси).

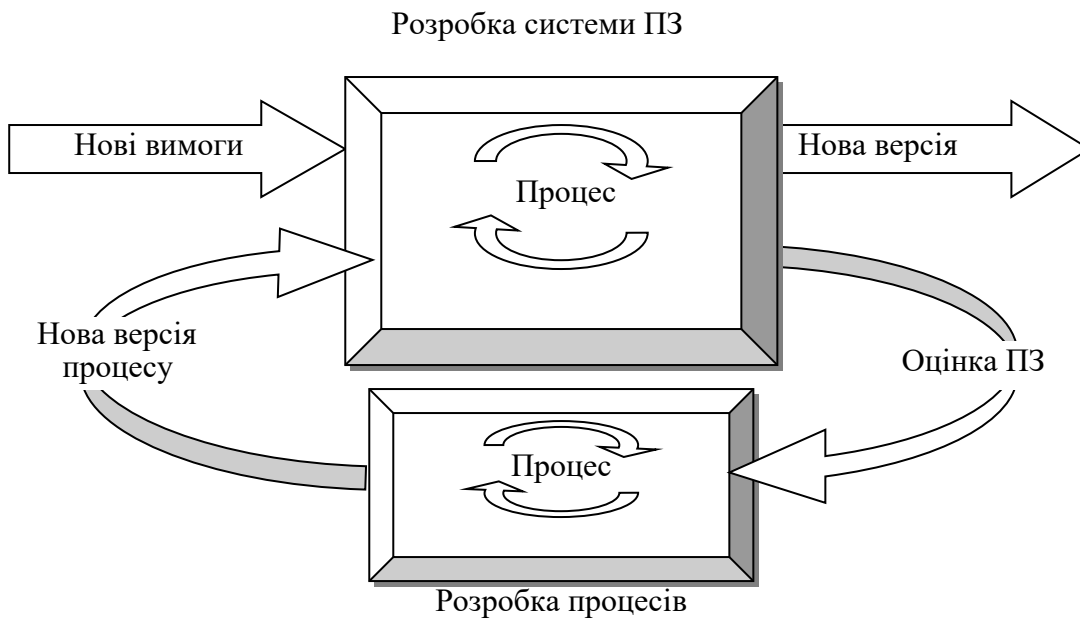


Рисунок 3.11 – Процес розробки ПЗ

Для моделювання інформаційних систем можна ще використовувати методологію візуального моделювання методу OOSE, яка містить у собі кілька фаз:

- аналіз;
- конструювання;
- тестування.

До них прив'язуються кілька типів моделей:

- модель стадії вироблення вимог (Requirements Model) слугує для виділення функціональних вимог;
- модель стадії аналізу (Analysis Model) слугує для виділення стабільної і досить гнучкої структури об'єктів;
- модель стадії проектування (Design Model) слугує для адаптації й уточнення структури об'єктів залежно від обраного оточення;
- модель стадії реалізації (Implementation Model) слугує для власної реалізації системи;
- модель стадії тестування (Test Model) слугує для тестування та верифікації системи;
- моделі, які розроблюються, пов'язуються з процесами, що їх породжують так (рис. 3.12):

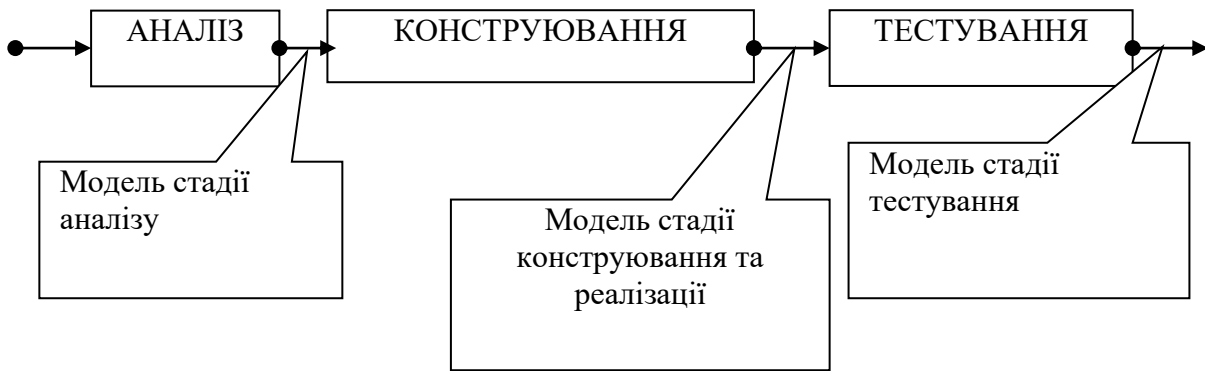


Рисунок 3.12 – Об’єктна модель системи

Етап конструювання складається з двох частин:

- створення моделі проектування;
- створення моделі реалізації.

Стадії вирішення проблеми створення бази даних можна подати в такий спосіб [34]:

- реальні процеси і явища минулого чи сьогодення (реальний світ);
- логічна (концептуальна) модель;
- метадані (структура бази даних);
- фізична організація даних (дані)[34].

Першим кроком до підвищення ефективності організаційної структури, яка підтримує одну або кілька стадій ЖЦ продукту, є моделювання й аналіз її функціонування. Мета бізнес-аналізу – виявити існуючу взаємодію між складовими частинами й оцінити її раціональність і ефективність. Для цього з використанням CALS-технологій розробляються функціональні моделі, що містять детальний опис процесів, що виконуються, у їхньому взаємозв'язку. Формат опису регламентується стандартами IDEF/0 і ISO 10303 AP208. Розроблена функціональна модель не тільки є детальним описом процесів, що виконуються, але також дозволяє вирішувати цілий ряд задач, пов'язаних з оптимізацією, оцінкою й розподілом витрат, оцінкою функціональної продуктивності, завантаження та збалансованості складових частин, тобто питань аналізу та реінжинірингу бізнес-процесів.

Організація робіт із функціонального моделювання виглядає так:

1. Передусім, проводяться співбесіди з провідними фахівцями в кожному підрозділі, відділі, робочій групі – за організаційною структурою замовника.
2. У ході співбесід з'ясовуються склад і послідовність дій, що виконує персонал замовника, збираються зразки документів, які оформляються персоналом замовника за результатами кожної дії.

3. Після кожної співбесіди складається функціональна діаграма дій, що виконуються персоналом замовника. Усі початкові матеріали моделювання піддаються інтегрованому аналізу на несуперечність суміжних ділянок, повноту викладу тощо.

4. Після остаточного оформлення й підтвердження моделі персоналом замовника діагностуються проблемні точки у функціональній і організаційній структурі замовника, а також визначаються недоліки документообігу.

5. Для кожної виявленої критичної точки розробляються рекомендації усунення проблем і, як один з методів, покликаних поліпшити ситуацію, на даному етапі, розглядається можливість автоматизації проблемного ланцюжка дій.

6. Внаслідок обробки критичних точок визначається перелік процесів, що підлягають автоматизації. Для кожного такого процесу виконується вибір засобів автоматизації з обґрунтуванням, розраховуються очікувані витрати праці та вартість автоматизації.

7. Далі визначається конфігурація типових програмних рішень, розраховуються ключові показники для розробки відсутніх компонентів.

8. В останню чергу розробляється розгорнутий план автоматизації, із вказівкою робіт, термінів, виконавців і графіків оплат.

Під час визначення головної бізнес-функції необхідно завжди мати мету моделювання та точку зору на модель. Одне й те саме підприємство може бути описане по-різному, залежно від того, з якого погляду його розглядають: директор підприємства і податковий інспектор бачать організацію зовсім по-різному.

Контекстна діаграма грає ще одну роль у функціональній моделі. Вона «фіксує» границі бізнес-системи, що моделюється, визначаючи те, як система взаємодіє зі своїм оточенням. Це досягається за рахунок опису дуг, з'єднаних із блоком, що є головною бізнес-функцією.

Після ознайомлення з базовими поняттями та принципами функціонального моделювання ділових процесів природним є питання, – як це допомагає підвищувати ефективність і якість діяльності підприємства. Розглянемо це питання на прикладі побудови моделей «ЯК Є» і «ЯК БУДЕ».

Побудова моделі «ЯК Є». Обстеження підприємства є обов'язковою частиною будь-якого проекту створення чи розвитку корпоративної інформаційної системи. Побудова функціональної моделі ЯК Є дозволяє чітко зафіксувати, які ділові процеси здійснюються на підприємстві, які інформаційні об'єкти використовуються під час виконання ділових процесів і окремих операцій. Функціональна модель «ЯК Є» – відправна точка для аналізу потреб підприємства, виявлення проблем і «вузьких» місць і розробки проекту

удосконалювання ділових процесів. Модель ділових процесів дозволяє виявити і точно визначити бізнес-правила, що використовуються в діяльності підприємства. Дуже часто бізнес-правила на підприємстві не записані в інструкції: вони начебто, але їх начебто немає. Внаслідок спроби змінити щонебудь у діяльності підприємства, підрозділу можуть закінчитися невдачею тільки лише тому, що ці зміни суперечать сформованим бізнес-правилам;

Побудова моделі «ЯК БУДЕ». Створення та впровадження корпоративної інформаційної системи приводить до зміни умов виконання окремих операцій, структури ділових процесів і підприємства в цілому. Це приводить до необхідності зміни системи бізнес-правил, що використовуються на підприємстві, модифікації посадових інструкцій співробітників. Функціональна модель «ЯК БУДЕ» дозволяє вже на стадії проектування майбутньої інформаційної системи визначити ці зміни. Застосування функціональної моделі «ЯК БУДЕ» дозволяє не тільки скоротити терміни впровадження інформаційної системи, але також знизити ризики, пов'язані з несприйнятливістю персоналу до інформаційних технологій. Функціональна модель дозволяє чітко визначити розподіл ресурсів між операціями ділового процесу, що дає можливість оцінити ефективність використання ресурсів. Особливо ця задача актуальна в ході створення нових ділових процесів на підприємстві [35].

Нині існує багато CASE засобів, що підтримують функціональне моделювання в стандарті IDEF0. В країнах Східної Європи набули поширення такі системи:

- design/IDEF (MetaSoftware, США розповсюджувач – Метатехнологія, м. Москва);
- BPWin/ERWin (Logic Works, США розповсюджувач – Інтерфейс, м. Москва);
- компанія Орієнтсофт (м. Мінськ) пропонує власну розробку на базі стандарту IDEF0 – систему IDEF0.EM Tool.

Методологія функціонального моделювання IDEF0 є досить простим інструментом, що дозволяє розробникам корпоративних інформаційних систем вивчити сферу діяльності замовника і вирішувати задачі з підвищення ефективності цієї діяльності.

Проведення функціонального моделювання дозволяє примірити автоматизацію до кожного процесу і найбільш вірогідно спрогнозувати результат. Наявність результатів моделювання дозволить мотивовано оцінити користь автоматизації для кожного окремого процесу і для всієї діяльності замовника в цілому.

Зараз технологія моделювання й аналізу бізнес-процесів досить формалізована. Для розробки функціональних моделей рекомендується використовувати методологію та нотацію SADT, регламентовану за назвою IDEF0 федеральним стандартом США FIPS 183.

Сучасна CALS-система підприємства має містити в собі ряд модулів підсистем, спрямованих на оптимізацію процесів взаємодії замовника й постачальника в ході розробки, проектування та виробництва продукції. Причому супровід інформації про виріб як на самому підприємстві, так і у взаємодії із замовником має бути безупинним. А документація з розробки, виробництва й монтажу продукції має формуватися в електронному вигляді.

Спільне, кооперативне, проектування та виробництво виробу може бути ефективним у випадку, якщо воно базується на основі єдиної інформаційної моделі виробу.

Конструкторсько-технологічна інформаційна модель має базуватися на використанні стандарту ISO 10303 STEP. Створена один раз модель виробу використовується багаторазово. До неї вносяться доповнення і зміни, вона слугує відправною точкою у модернізації виробу. Модель виробу відповідно до цього стандарту включає: геометричні дані, інформацію про конфігурацію виробу, дані про зміни, узгодження та затвердження.

Стандарт ISO 10303 побудований таким чином, що крім базових елементів (інтегрованих ресурсів) до його складу входять так звані прикладні протоколи, що визначають конкретну структуру інформаційної моделі для різних предметних областей (автомобілебудування, суднобудування, будівництво, електроніка тощо). Усі прикладні протоколи (прикладні інформаційні моделі) базуються на стандартизованих інтегрованих ресурсах. Таким чином, зі створенням нового прикладного протоколу забезпечується наступність з уже існуючими рішеннями.

Стандартний спосіб подання конструкторсько-технологічних даних дозволяє вирішити проблему обміну інформацією між різними підрозділами підприємства, а також учасниками кооперації, оснащеними різнорідними системами проектування. Використання міжнародних стандартів забезпечує коректну інтерпретацію збереженої інформації, можливість оперативної передачі функцій одного підрядника іншому, який, у свою чергу, може скористатися результатами вже зробленої роботи. Це особливо важливо для виробів із тривалим ЖЦ, коли необхідно забезпечити наступність інформаційної підтримки продукту, незалежно від ринкової чи політичної ситуації.

Відомо, що обсяги документації, яка розроблюється для складного наукоємного виробу, дуже великі. Тому традиційне паперове документування складних виробів вимагає величезних витрат на підтримку архівів, коригування документації, а також знижує експлуатаційну привабливість і конкурентоздатність виробу.

Вирішення проблеми полягає в переведенні експлуатаційної документації на виріб, що поставляється споживачу, в електронний вигляд. При цьому комплект електронної експлуатаційної документації варто розглядати як складову частину єдиної інтегрованої інформаційної моделі виробу. Електронна документація може поставлятися на електронних носіях, наприклад, компакт-дисках, чи розміщуватися в глобальній мережі Інтернет.

Експлуатаційна документація може містити інформацію різних типів відповідно зі стандартами CALS [27-31]: ISO 8879 (SGML), ISO 10744 (HyTime) і MIL-PRF-28001C – для текстової і мультимедійної інформації, MIL-PRF-28000A, MIL-PRF-28002C, MIL-PRF-28003A – для векторних і растрових графічних ілюстрацій. Стандарти MIL-PRF-87268 і MIL-PRF-87269 визначають стиль, формат і технологію створення електронних довідників за виробами. Стандартизація гарантує застосовність такої електронної документації на будь-яких комп'ютерних платформах.

Важливо відзначити, що в електронний вид може бути переведена експлуатаційна документація, створена раніше без використання комп'ютерних систем. Для виробів, що вже знаходяться в експлуатації тривалий період і спроектованих традиційними методами, задача підтримки документації не менш актуальна.

У рамках CALS йдеться про використання інтегрованих інформаційних моделей (баз даних) продукції та процесів – сутностей, що не мають прямих аналогів у традиційному паперовому документообігу.

Комплексна автоматизація вимагає створення *єдиного інформаційного простору підприємства*, в якому співробітники та керівництво можуть здійснювати свою діяльність, керуючись єдиними правилами подання й обробки інформації у документальному й бездокументальному вигляді.

Для цього в рамках підприємства потрібно створити *єдину інформаційну систему* з управління інформацією, чи єдину систему управління документами.

Початковим етапом створення такої системи є побудова моделі предметної області, чи іншими словами моделі документообігу для конкретного бізнесу і позиціонування у ній свого підприємства, з метою ефективного використання інформації для досягнення поставлених задач і вирішення проблем, що стоять перед організацією.

Організація роботи з документами (будь то платіжні, чи конструкторсько-технологічні документи) є важливою складовою частиною процесів управління й прийняття управлінських рішень, що істотно впливає на оперативність і якість управління. Процес ухвалення управлінського рішення складається з:

- одержання інформації;
- переробки інформації;
- аналізу, підготовки й ухвалення рішення.

Усі ці етапи тісно пов'язані з документальним забезпеченням процесів управління, проектування та виробництва. Якщо на підприємстві відсутня чітка організація роботи з документами, то, як наслідок цього, закономірна поява документів низької якості, як в оформленні, так і в повноті та цінності інформації, що міститься в них, збільшення термінів їхньої обробки. Це призводить до погіршення якості управління й збільшення термінів прийняття рішень і кількості невірних рішень. Зі зростанням масштабів підприємства та чисельності його співробітників питання про ефективність документального забезпечення управління стає усе більш актуальним. Основні проблеми, що виникають при цьому, виглядають приблизно так:

- керівництво втрачає цілісну картину, що відбувається;
- структурні підрозділи, не маючи інформації про діяльність один одного, перестають злагоджено здійснювати свою діяльність. Неминуче падає якість обслуговування клієнтів і здатність організації підтримувати зовнішні контакти;
- це приводить до падіння продуктивності і викликає відчуття недовіли в ресурсах: людських, технічних, комунікаційних тощо;
- доводиться розширювати штат, вкладати гроші в устаткування нових робочих місць, приміщення, комунікації, навчання нових співробітників;
- для виробничих підприємств збільшення штату може спричинити зміну технології виробництва, що потребує додаткових інвестицій;
- виявляється, що штат збільшений, продуктивність упала, виробництво вимагає інвестицій, відповідно виникає потреба в збільшенні оборотного капіталу, що може потребувати нових кредитів і зменшення планового прибутку.

У підсумку підприємство перестає зростати інтенсивно і подальше розширення відбувається суто екстенсивним шляхом за рахунок раніше створеного прибутку.

Чому ж сьогодні, коли для організації документообігу (надалі під цим терміном ми розумітимемо документообіг будь-яких документів:

конструкторських, технологічних, фінансових, організаційних тощо) пропонується множина різних засобів автоматизації, документообіг часто організований погано, навіть на відносно невеликих підприємствах? Відповідь, незалежно від ступеня автоматизації підприємства і його типу, може бути одна – ігнорування моделі організації документообігу неминуче призведе до того, що старі проблеми залишаться невирішеними. При цьому, якщо при ручному стані діловодства в організації був «ручний» хаос, то результатом автоматизації буде «комп'ютерний» хаос.

Коли на Заході, а тепер і в Україні спала перша хвиля захоплення системами автоматизації документообігу, виявилось, що без належної оцінки можливостей користувача, дослідження бізнес-процесів його підприємства важко очікувати ефект від впровадження як систем документообігу класу Docflow так і, тим більше, Workflow. При цьому зовсім неважливо, як планується чи вже реалізований документообіг: вручну, шляхом автоматизації за допомогою могутніх західних або вітчизняних пакетів – завжди на першому місці має бути чітка стратегія, спрямована на упорядкування бізнес-процесів. Проводячи в життя програму модернізації діловодства, важливо уявити, якого рівня вже досягло підприємство і яке місце йому приділяється в модельному просторі системи документообігу.

Скорочення витрат на підтримку ЖЦ виробу – одна з цілей CALS. Комплекс управлінських заходів, спрямованих на скорочення цих витрат, поєднується поняттям ІЛП (Integrated Logistic Support). Загальна структура ІЛП наведена на рисунку 3.13 [36].

Аналіз логістичної підтримки (АЛП) – одна з найважливіших складових ІЛП. Він являє собою формалізовану технологію всебічного дослідження виробу й варіантів системи його експлуатації та підтримки. АЛП спрямований на скорочення витрат на ЖЦВ за заданих показників надійності й ефективності. АЛП варто починати ще до початку проектування, тобто на стадії визначення вимог до виробу, і продовжувати до завершення процесу його використання. Останнє необхідне для оцінки правильності результатів попередніх етапів АЛП і накопичення статистичного матеріалу, що слугує основою аналізу нових проектів. Результати АЛП, як правило, подаються у формі реляційної бази даних – БД АЛП (Logistic Support Analysis Records/LSAR).

У ході АЛП оцінюються такі основні задачі:

– формування вимог до проекту і до системи підтримки на основі порівняння з існуючими аналогами;

– коригування проектних рішень, спрямоване на забезпечення ефективної експлуатації;

– розробка системи підтримки експлуатації, що забезпечує найкраще співвідношення витрат, термінів і характеристик «придатності до підтримки» (Supportability);

– визначення вимог до ресурсів логістичної підтримки, розробка планів поствиробничої підтримки;

– оцінка й перевірка досягнутих показників ефективності експлуатації.

Інтегроване інформаційне середовище (ІІС) – це сукупність розподілених баз даних, що містять інформацію про виробу, виробниче середовище, ресурси та процеси підприємства, що забезпечують коректність, актуальність, збереження та доступність даних тим суб'єктам виробничо-господарської діяльності, що беруть участь у здійсненні ЖЦВ, кому це необхідно й дозволено. Всі відомості (дані) у ІІС зберігаються у вигляді інформаційних об'єктів. ІІС, відповідно до концепції CALS, являє собою модульну систему, в якій реалізуються такі базові принципи CALS:

– прикладні програмні засоби, відділені від даних;

– структури даних та інтерфейс доступу до них стандартизовані;

– дані про виріб, процеси й ресурси не дублюються, кількість помилок у них мінімізується, забезпечується повнота та цілісність інформації;

– прикладні засоби роботи з даними являють собою, як правило, типові комерційні рішення різних виробників, що забезпечує можливість подальшого розвитку ІІС.

Усі процеси інформаційного обміну за допомогою ІІС мають своєю кінцевою метою максимально можливе виключення з ділової практики традиційних паперових документів і перехід до прямого безпаперового обміну даними. Переваги й техніко-економічна ефективність такого переходу очевидні. Проте, на перехідному періоді потрібно забезпечити співіснування і спільне використання як паперової, так і електронної форм подання інформації та гармонізувати поняття, що застосовуються.

Обидві форми подання інформації – у формі бази даних (внутрішнє подання інформації у комп'ютерній системі) і у формі електронного документа, не придатні для сприйняття людиною та вимагають спеціальних програмних засобів візуалізації, тобто перетворення даних у паперовий документ чи в екранну форму (рис. 3.13).

Заголовок містить інформацію, яка ідентифікує документ і автора, зміст документу складається з одного або декількох файлів, ЕЦП – електронний цифровий підпис (відповідно до ГОСТ 34.10-2002).

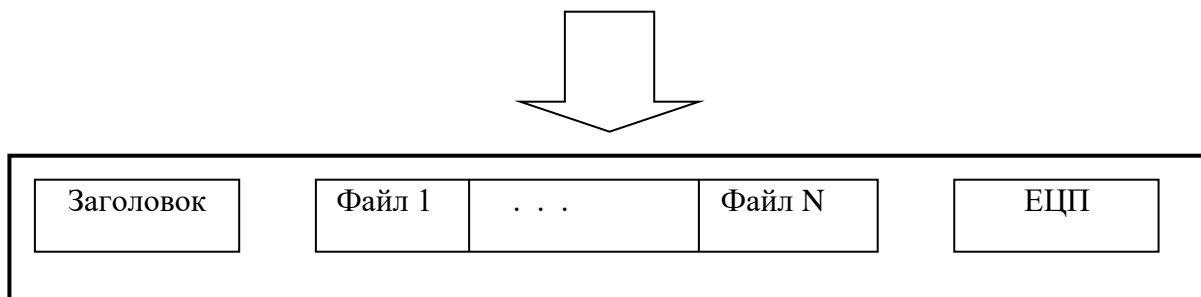


Рисунок 3.13 – Структура електронного документу

Існуючі стандарти, що регламентують конструкторсько-технологічну діяльність, такі як ЄСКД, ЄСТД, СРПВ і їм подібні, стосуються тільки візуальної форми подання інформації. Тому однією з першочергових практичних задач впровадження CALS є розвиток стандартів ЄСКД та розроблення нових стандартів і специфікацій, що регламентують електронну форму подання та доступу до даних.

Ключовим питанням використання та доступу до інформації в електронній формі є питання її авторизації, розв'язувані за допомогою електронно-цифрового підпису (ЕЦП).

Моделювання даних – це процес опису інформаційних структур і бізнес-правил для визначення потреб інформаційної системи. Модель даних являє собою розумний компроміс між потребами конкретного проекту й основних запитів області бізнесу, яка потребує реалізації цієї моделі [33].

Інформацію, що циркулює в системі інформаційної підтримки ЖЦ виробу, можна умовно поділити на три класи:

- дані про продукцію (виріб);
- дані про виконувані процеси;
- дані про ресурси, необхідні для виконання процесів.

Під виробом (кінцевим) розуміється комбінація матеріалів, предметів, програмних та інших компонентів, готових до використання за призначенням. Компоненти кінцевого виробу у свою чергу є виробами. Дані про виріб складають основний обсяг інформації в ІС. На різних стадіях ЖЦ вимагаються різні підмножини з усієї сукупності даних про виріб, що відрізняються складом і обсягом інформації. У цілому інформація про виріб містить у собі:

- дані про склад і структуру виробу, матеріали і комплектуючі вироби, які використовуються, із зазначенням можливих альтернатив та їхньої взаємозамінності;

- дані, що визначають склад можливих конфігурацій виробу залежно від зовнішніх вимог і умов, а також дані про відмінності конкретних екземплярів виробів (партій виробів);

- дані про технічні, фізичні й інші характеристики виробу;
- класифікаційні та ідентифікаційні дані про виріб і його компоненти, у тому числі його найменування, позначення, класифікаційні коди, дані про постачальників, відомості, що стосуються ступеня конфіденційності інформації про виріб і його компоненти;
- геометричні дані, подані у формі об'ємних геометричних моделей виробу, складальних одиниць і окремих деталей, електронних (векторних) і сканованих паперових (растрових) креслень;
- текстова документація;
- відомості про наявні версії структури виробу, документів, моделей і креслень та їх статусу;
- дані про розробників;
- вказівки й вимоги, що стосуються фінішної обробки та якості поверхонь готового виробу;
- дані про якість виробів;
- дані про експлуатацію виробу.

Наведений перелік не є повним і може бути розширений.

Багато з перерахованих типів даних вимагають для свого подання складних специфічних інформаційних моделей, що враховують семантику даних і правила роботи з ними. Наприклад, міжнародні стандарти ISO10303 і ISO15384 регламентують технологію подання даних про виріб і його компоненти на стадії проектування та підготовки виробництва, стандарти ІЛП [DEF STAN 0060] – подання даних про виріб у контексті забезпечення ефективної експлуатації, стандарти серії ISO серії 9000 [37] розглядають дані про якість виробів.

Структури даних, що описують ресурси різного типу, регламентуються стандартом ISO 15551. На кожній стадії ЖЦ потрібне свій обсяг даних, обумовлений змістом розв'язуваних задач.

Моделі даних (чи їх частини) можуть бути подані з використанням різних технологій (ISO 10303-11 Express, ISO 8879 SGML тощо). При цьому вони мають логічно взаємопов'язаними. З перетворенням даних з однієї форми в іншу об'єкти інформаційних моделей мають інтерпретуватися однозначно. Один із варіантів такої технології викладений у стандарті ISO 8876.

У 1983 році в рамках проекту військового відомства США «Інтегровані системи інформаційної підтримки» (ICAM) була створена методологія семантичного моделювання даних IDEF1X (розширення методології IDEF1), що дозволяє логічно поєднувати в мережу неоднорідні обчислювальні системи.

Методологія IDEF1X – один із підходів до семантичного моделювання даних, заснований на концепції «Сутність–Відношення» (Entity-Relationship) – це інструмент для аналізу інформаційної структури систем різної природи.

Техніка створення IDEF1X-моделі полягає у виявленні сутностей, визначенні їхніх атрибутів, неспецифічних («багато-до-багатьох») відношень між ними.

Потім, дотримуючись визначених правил, модель деталізується таким чином, щоб усі складні види відносин типу «багато-до-багатьох» були розкриті і замінені відповідною безліччю простих відносин.

При цьому необхідно стежити за правильністю спадкування первинних ключів, описом вторинних ключів та їхніх атрибутів.

Інформаційна модель, побудована за допомогою IDEF1X-методології, представляє логічну структуру інформації про об'єкти системи. Ця інформація є необхідним доповненням функціональної IDEF0-моделі, деталізує об'єкти, якими маніпулюють функції системи. Концептуально IDEF1X-модель можна розглядати як проект логічної схеми бази даних для системи, що проектується.

Така модель даних дає однозначне визначення того, що потрібно одержати, незалежно від конкретної бази даних чи мови програмування.

Структурна системна розробка і, особливо, проектування з урахуванням централізації даних, полягають у стратегічному плануванні і всебічному аналізі вимог. Велика частина цих підходів до розробки реалізується в ERwin-моделюванні даних як метод, що визначає й документує ту частину системних вимог, яка безпосередньо пов'язана з даними. ERwin був розроблений з урахуванням підтримки IDEF1X і EX стандартів моделювання, однак не має обмежень на використання інших стандартів моделювання [33].

Моделі процесів (діаграми потоків даних, моделі розподілу, моделі подій/станів) можуть бути створені за допомогою Logic Works BPwin і інших інструментів для документування вимог процесів. На різних стадіях розробки використовуються різні рівні цих моделей.

Створення моделі даних за особистої участі професіоналів в області бізнесу і системного аналізу, має великі переваги. Ці переваги можна розбити на два основних класи: пов'язані з моделлю, як результатом прикладених зусиль, і пов'язані власне з процесом створення моделі.

Застосування CALS-технологій разом з тим тісно пов'язано з вирішенням проблеми забезпечення якості продукції, яка випускається, що регламентовано міжнародними та вітчизняними стандартами серії ISO 9000 (ISO 9000, ISO

9001, ISO 9002, ISO 9003, ISO 9004). Стандарти ISO 9001, ISO 9002 і ISO 9003 визначають моделі забезпечення якості.

Варто відзначити, що жоден із стандартів серії ISO 9000 не описує конкретних способів реалізації моделі досягнення якості продукції, а лише дає мінімальні вимоги, які необхідно виконати підприємству, щоб довести свої можливості в забезпеченні якості продукції, що випускається. Впровадження систем, побудованих за принципом CALS-технологій, дає гарний базис для створення культури проектування, виробництва, постачання товарів замовнику, а також полегшує впровадження методології стандартів серії ISO 9000.

Забезпечення високої якості продукції – одна з цілей реалізації CALS, тому управління якістю (у термінах стандартів серії ISO 9000 система менеджменту якості – СМЯ) слід віднести до базових технологій управління [38,39].

Основні задачі СМЯ пов'язані з обробкою даних, наведені в таблиці 3.4.

Варто відзначити ще один напрямок у реалізації задач CALS – інформаційна безпека (ІБ).

Модель автоматизованої системи з позиції ІБ містить такі розділи:

- розміщення засобів спеціальної техніки й підтримки інфраструктури;
- опис інформаційних ресурсів, що підлягають захисту, їх категоріювання;
- інформаційні процеси та їх модель з позиції ІБ.

Таблиця 3.4 – Використання даних у процесі вирішення задач СМЯ

Розділ стандарту	Основні задачі СМЯ, пов'язані з обробкою даних	Клас даних /вид даних
1	2	3
6.	Менеджмент ресурсів	Дані про ресурси
6.1.	Забезпечення ресурсами	
6.2.	Людські ресурси	Дані про людські ресурси і їх характеристики
6.3.	Інфраструктура	Дані про технічну інфраструктуру (середовище)
6.4.	Виробниче середовище	Дані про виробниче середовище і виробничі ресурси
7.	Процеси життєвого циклу продукції	Дані про процеси, продукцію й ресурси
7.1.	Планування процесів життєвого циклу продукції	Дані про внутрішні процеси підприємства

Продовження табл. 3.4

1	2	3
7.2.	Процеси, пов'язані зі споживачами	Дані про процеси, пов'язані із споживачем
7.2.1.	Визначення вимог, що стосуються продукції	Дані про характеристики продукції
7.2.2.	Аналіз вимог, що стосуються продукції	Дані про характеристики продукції
7.2.3.	Зв'язок із споживачами	Дані про продукцію від споживачів
7.3.	Проектування та розробка	
7.3.1.	Планування проектування і розробки	Дані про процес проектування
7.3.2.	Вхідні дані для проектування та розробки	Дані про характеристики продукції
7.3.3.	Вихідні дані проектування та розробки	Дані про характеристики продукції
7.3.4.	Аналіз проекту та розробки	Дані про стан і результати проекту
7.3.5.	Верифікація проекту та розробки	Дані про стан і результати проекту
7.3.6.	Валідація проекту та розробки	Дані про стан і результати проекту
7.3.7.	Управління змінами проекту та розробки	Дані про зміни продукції
7.4.	Закупівлі	
7.4.1.	Процес закупівель	Дані про процеси закупівель
7.4.2.	Інформація із закупівель	Дані про процеси закупівель
7.4.3.	Верифікація закупленої продукції	Дані про характеристики продукції, що закуповується
7.5.	Виробництво й обслуговування	
7.5.1.	Управління виробництвом і обслуговуванням	Дані про устаткування, оснащення, інфраструктуру
7.5.2.	Валідація процесів виробництва й обслуговування	
7.5.3.	Ідентифікація і дослідження	Дані про характеристики продукції
7.5.4.	Власність споживачів	
7.5.5.	Збереження відповідності продукції	
7.6.	Управління пристроями для моніторингу і вимірів	Дані про вимірювальне й контрольне устаткування

Продовження табл. 3.4

1	2	3
8.	Вимір, аналіз і поліпшення	Дані про продукцію та процеси
8.2.	Моніторинг і вимір	
8.2.1.	Задоволеність споживачів	Дані про характеристики зовнішніх процесів
8.2.2.	Внутрішні аудити (перевірки)	Дані про характеристики внутрішніх процесів
8.2.3.	Моніторинг і вимір процесів	Дані про характеристики внутрішніх процесів
8.2.4.	Моніторинг і вимір продукції	Дані про характеристики продукції
8.3.	Управління невідповідною продукцією	
8.4.	Аналіз даних	Дані про характеристики продукції, процесів
8.5.	Поліпшення	
8.5.1.	Постійне поліпшення	
8.5.2.	Коригувальні дії	
8.5.3.	Попереджуючі дії	

Аналіз ризиків починається з формалізації системи пріоритетів організації в області ІБ. Для оцінки цінності ресурсів необхідно вибрати придатну систему критеріїв. Критерії мають дозволяти описати потенційний збиток, пов'язаний з порушенням конфіденційності, цілісності, доступу. Крім критеріїв, що враховують фінансові втрати, у комерційних організаціях можуть бути присутніми критерії, які відображають:

- збиток репутації організації;
- неприємності, пов'язані з порушенням діючого законодавства;
- збиток для здоров'я персоналу;
- збиток, пов'язаний з розголошенням персональних даних окремих осіб;
- фінансові втрати від розголошення інформації;
- фінансові втрати, пов'язані з відновленням ресурсів;
- втрати, пов'язані з неможливістю виконання зобов'язань;
- збиток від дезорганізації діяльності.

Можуть використовуватися й інші критерії залежно від профілю організації. Потім виробляється вибір придатної технології аналізу ризиків. Існують різні підходи до оцінки ризиків. Вибір підходу залежить від рівня

вимог, пропорованих в організації до режиму інформаційної безпеки, характеру взятих до уваги погроз (спектра впливу погроз) та ефективності потенційних контрзаходів.

Мінімальним вимогам до режиму ІБ відповідає базовий рівень ІБ. Звичайною областю використання цього рівня є типові проектні рішення. Існує ряд стандартів і специфікацій, у яких розглядається мінімальний (типовий) набір найбільш імовірних погроз, таких як віруси, збої устаткування, несанкціонований доступ тощо. Для нейтралізації цих погроз обов'язково мають бути прийняті контрзаходи поза залежністю від імовірності їхнього здійснення й уразливості ресурсів. Таким чином, характеристики погроз на базовому рівні розглядати не обов'язково.

Відповідно до теорії нормалізації баз даних, зв'язок між сутностями поданих окремими таблицями має визначатися єдиним чином. Описана в такий спосіб модель даних може бути реалізована з використанням сучасних систем управління базами даних. Більш того, використання реляційних баз даних дозволяє практично необмежено додавати в існуючу модель даних усе нові й нові характеристики об'єктів, таким чином розвиваючи модель даних, дозволяючи вирішувати нові задачі.

Створення моделі даних є складною й відповідальною задачею, доцільним вирішенням якої може бути:

- визначення всіх сутностей, розглянутих у процесі проектування та переліку властивих їм значимих характеристик;
- поділ процесу проектування на елементарні етапи, для виділення конкретного та закінченого переліку вихідних і результуючих даних на кожному етапі;
- визначення оптимальної форми подання даних про взаємозв'язки графових баз даних на кожному етапі;
- забезпечення визначеного єдиним чином взаємозв'язку між графічними, табличними і графовими формами подання даних, тому що тільки спільно ці форми представлення інформації найбільш повно й ефективно моделюють систему.

Систематизація принципів і технологій побудови інтегрованих інформаційних систем підтримки ЖЦ складної наукоємної продукції необхідна для формування загальної методичної та системотехнічної бази для вирішення даного класу задач.

Уміння розпізнати систему, декомпонувати її на елементарні складові, визначити закони управління кожною підсистемою і знову синтезувати систему вимагає розробки ряду спеціальних формальних моделей, процедур алгоритмів.

3.4 Інтегроване інформаційне середовище

Як впливає з концептуальної моделі й уже відзначено вище, основою, ядром CALS-технологій та автоматизованих систем, що створюються на цій основі, є інтегроване інформаційне середовище (ІС).

Подання про ІС було введено в науковий побут задовго до появи CALS (ІПВ)-технологій. Ще в 1983 році японський учений Н. Окіно опублікував роботу, у якій стверджував, що виробництво матеріальних об'єктів і супутні йому процеси проектування, технологічної підготовки та управління так сильно відрізняються від інших видів діяльності людини, що їм повинна відповідати особлива архітектура програмно-методичного, математичного й інформаційного забезпечення. На думку Окіно принципова різниця між обробкою інформації у виробничій системі та в інших застосуваннях обчислювальної техніки в основному зводиться до двох положень:

– виробництво і всі процеси в ньому належать до фізичного світу, а процеси, що протікають у 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 (за можливості взаємно однозначного) між фізичним простором та інформаційним простором. Зі створенням традиційного математичного забезпечення (МЗ) для вирішення обчислювальних задач у центрі розробки знаходиться єдина математична модель проблеми, що через прикладний інтерфейс адаптується до різних областей застосування (рис. 3.14). Такий підхід до вирішення виробничих проблем практично не реалізується, оскільки через складність і різноманіття цих проблем єдину модель створити неможливо.

Якщо на додаток до виробничих проблем, що вивчалися Н. Окіно, включити на розгляд ще й проблеми постачань, експлуатації, обслуговування та ремонту виробів, тобто всі поствиробничі стадії ЖЦ, то ситуація стає ще більш складною;

– у зв'язку з відзначеними вище недоліками традиційного підходу, заснованого на схемі рисунка 3.14, пропонується відкинути стратегію єдиної моделі і перейти до стратегії, сутність якої показана на рисунку 3.15. Тут роль ядра системи виграє не модель, а загальна (інтегрована) база даних (ЗБД), до якої можуть звертатися різні проблемно-орієнтовані моделі. Передбачається, що в ЗБД зберігаються інформаційні об'єкти (ІО), що адекватно відображають в інформаційний світ сутності фізичного світу: предмети, матеріали, вироби,

процеси й технології, різноманітні документи, фінансові ресурси, персонал підрозділу й устаткування підприємства-виробника, експлуатанта, сервісної та ремонтної служб тощо. Моделі, що стосуються конкретних предметних областей, через спеціалізовані додатки звертаються у ЗБД, знаходять у ній необхідні ІО, обробляють їх і поміщають у ЗБД результати цієї обробки.

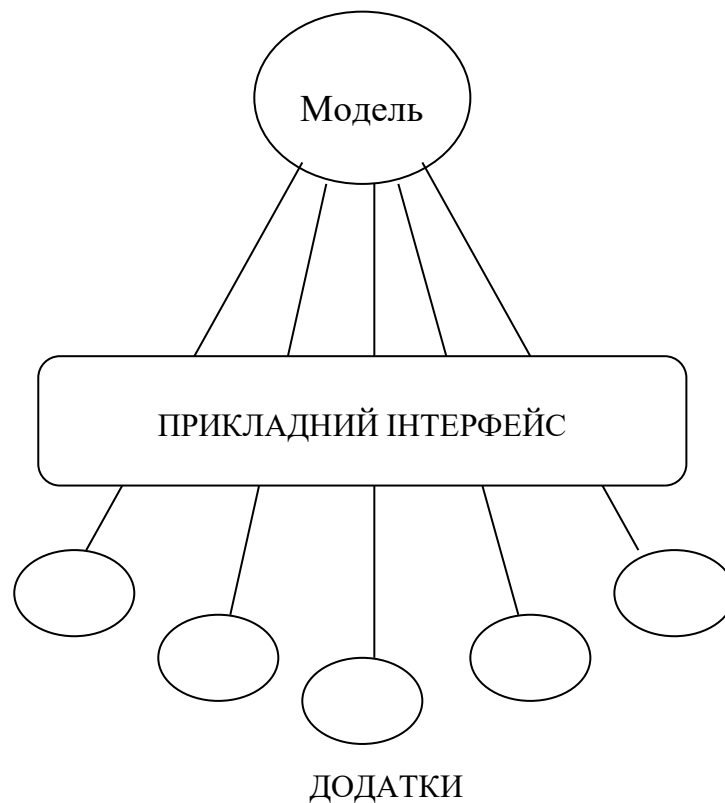


Рисунок 3.14 – Традиційний підхід до створення математичного забезпечення

Н. Окіно повною мірою передбачив появу об'єктно-орієнтованого підходу до програмування, запропонувавши розглядати усе, що відбувається в інформаційному світі, на основі дуалізму «об'єкт-операція».

Суть ідей полягає в наступному. Будь-якій сутності фізичного світу відповідає ІО, що є деяким набором даних. Будь-який вид використання фізичної сутності, її перетворення в іншу сутність (чи в ту саму сутність, але з іншими значеннями параметрів) – обробка, виготовлення, вимір, проектування тощо – в інформаційному світі відображається операцією (командою, програмою тощо). Між об'єктом і операцією існує відношення виду: $Ob' = Op(ob)$.

Це відношення означає, що об'єкт Ob' отриманий за допомогою виконання операції Op над об'єктом Ob . Під символами Ob , Ob' , Op можуть критися не тільки одиничні об'єкти й операції, але й набори (множини) об'єктів і операцій.

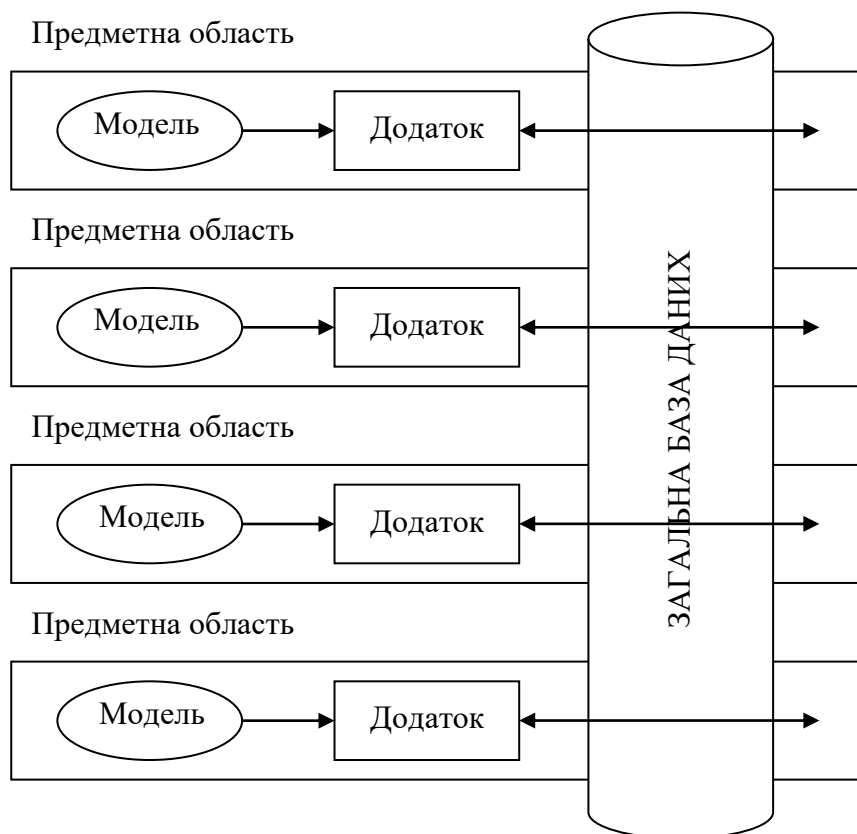


Рисунок 3.15. – Створення математичного забезпечення на основі ЗБД

Подальший розвиток ІТ привів до появи об'єктно-орієнтованого програмування, що дозволило адекватно перевести багато процесів, які протікають на підприємстві, у віртуальний інформаційний простір, що і зробило актуальною всю проблематику, пов'язану з використанням CALS-технологій. Сказане стосується зокрема процесів конструкторської та технологічної підготовки виробництва, у ході яких створюється технічна документація різних видів і призначення, до процесів управління на всіх рівнях, у яких за необхідності доводиться мати справу з великими обсягами різноманітної інформації. Сьогодні ці процеси значною мірою складаються з операцій створення, перетворення, транспортування та збереження інформаційних об'єктів у рамках інтегрованого інформаційного середовища [9].

3.5 Структура і склад ІС

Як уже зазначалося, ІС являє собою сховище даних, які утримують всі відомості, що створюються та використовуються всіма підрозділами й службами підприємства – учасниками ЖЦ виробу в процесі їхньої виробничої діяльності. Це сховище має складну структуру й різноманітні зовнішні та

внутрішні зв'язки. ІС має включати у свій склад дві бази даних: загальну базу даних про виріб (вироби) (ЗБДВ) і загальну базу даних про підприємство (ЗБДП) (рисунок 3.16).

На рисунку 3.16 наведено структуру ІС у взаємодії з процесами ЖЦ продукції підприємства. Зі схеми видно, що в цих процесах використовується інформація, яка міститься в ІС, а ІО, що породжуються в ході процесів, повертаються в ІС для збереження і наступного використання в інших процесах. Це відображено на схемі подвійними стрілками. Із ЗБДВ пов'язані процеси на всіх стадіях ЖЦ. ЗБДП інформаційно пов'язана з технологічною й організаційно-економічною підготовкою виробництва та власне виробництвом (включаючи процеси відвантаження та транспортування готової продукції).

Зі створенням нового виробу й технологічної підготовки його виробництва засобами конструкторських і технологічних САПР (CAE/CAD/CAM) у ІС створюються ІО, що описують структуру виробу, його склад і усі вхідні компоненти: деталі, підвузли, вузли, агрегати, комплектуючі, матеріали тощо. Кожен ІО має атрибути, що описують властивості фізичного об'єкта: технічні вимоги й умови, геометричні (розмірні) параметри, масогабаритні показники, характеристики міцності, надійності, ресурсу й інші властивості виробу та його компонентів.

ІО у складі ЗБДВ містять у довільному форматі інформацію, необхідну для випуску та підтримки технічної документації, що потрібна на всіх стадіях ЖЦ для усіх виробів, які випускаються підприємством. Кожен ІО ідентифікується унікальним кодом і може бути витягнутий із ЗБДВ для виконання дій із ним.

ЗБДВ забезпечує інформаційне обслуговування та підтримку діяльності:

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

Більш докладно склад ІО, що входять у ЗБДВ, розкритий на схемі (рисунок 3.17).

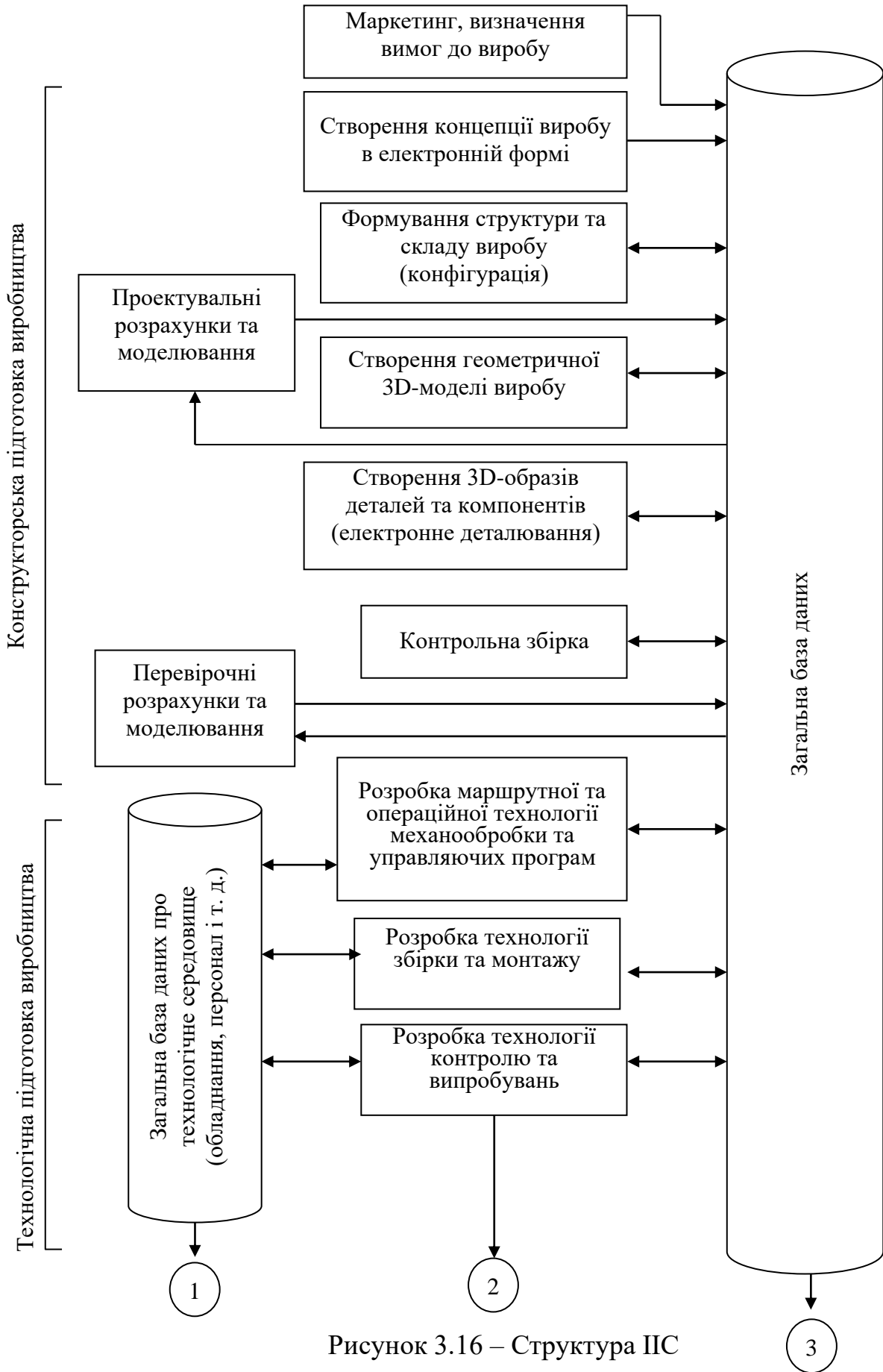


Рисунок 3.16 – Структура ІС

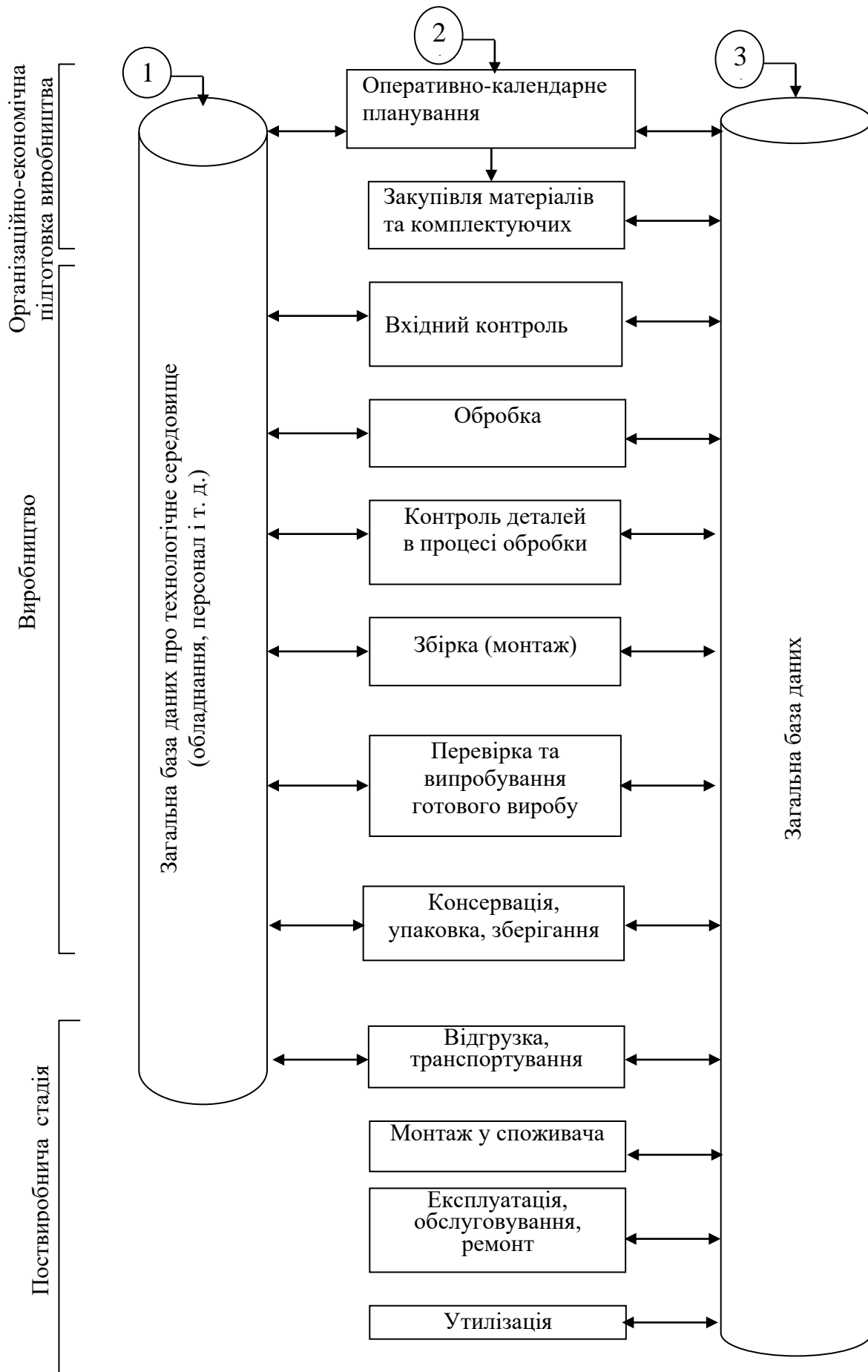


Рисунок 3.16 (продовження)

Відповідно до цієї схеми, у складі ЗБДВ можна (умовно) виділити три розділи:

- нормативно-довідковий;
- довгостроковий;
- актуальний.

У нормативно-довідковому розділі мають зберігатися ІО, що містять дані:

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

Зміст нормативно-довідкового розділу ЗБДВ оновлюється в міру надходження нових і скасування чинних нормативних документів.

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

- про раніше виконані готові проекти (архів);
- про типові вузли й агрегати власного виробництва;
- про типові деталі власного виробництва;
- про типові конструктивно-технологічні елементи (КТЕ) деталей;
- про типовий і груповий технологічний процеси;
- про готову й типову розрахункову методика та математичні моделі виробу власної розробки;
- про інші готові та типові рішення.

Довгостроковий розділ ЗБДВ доповнюється й оновлюється в міру створення нових технічних рішень, визнаних типовими й придатними для подальшого використання.

В актуальному розділі (очевидно, найбільшому за обсягом і найскладнішому за структурою) повинні зберігатися ІО, що містять дані про вироби, які знаходяться на різних стадіях ЖЦ:

- про конструкцію та версії «поточних» виробів;
- про технологію виготовлення виробів;
- про конкретні екземпляри й партії виробів у виробництві;
- про конкретні екземпляри й партії виробів, що знаходяться на поствиробничих стадіях ЖЦ.

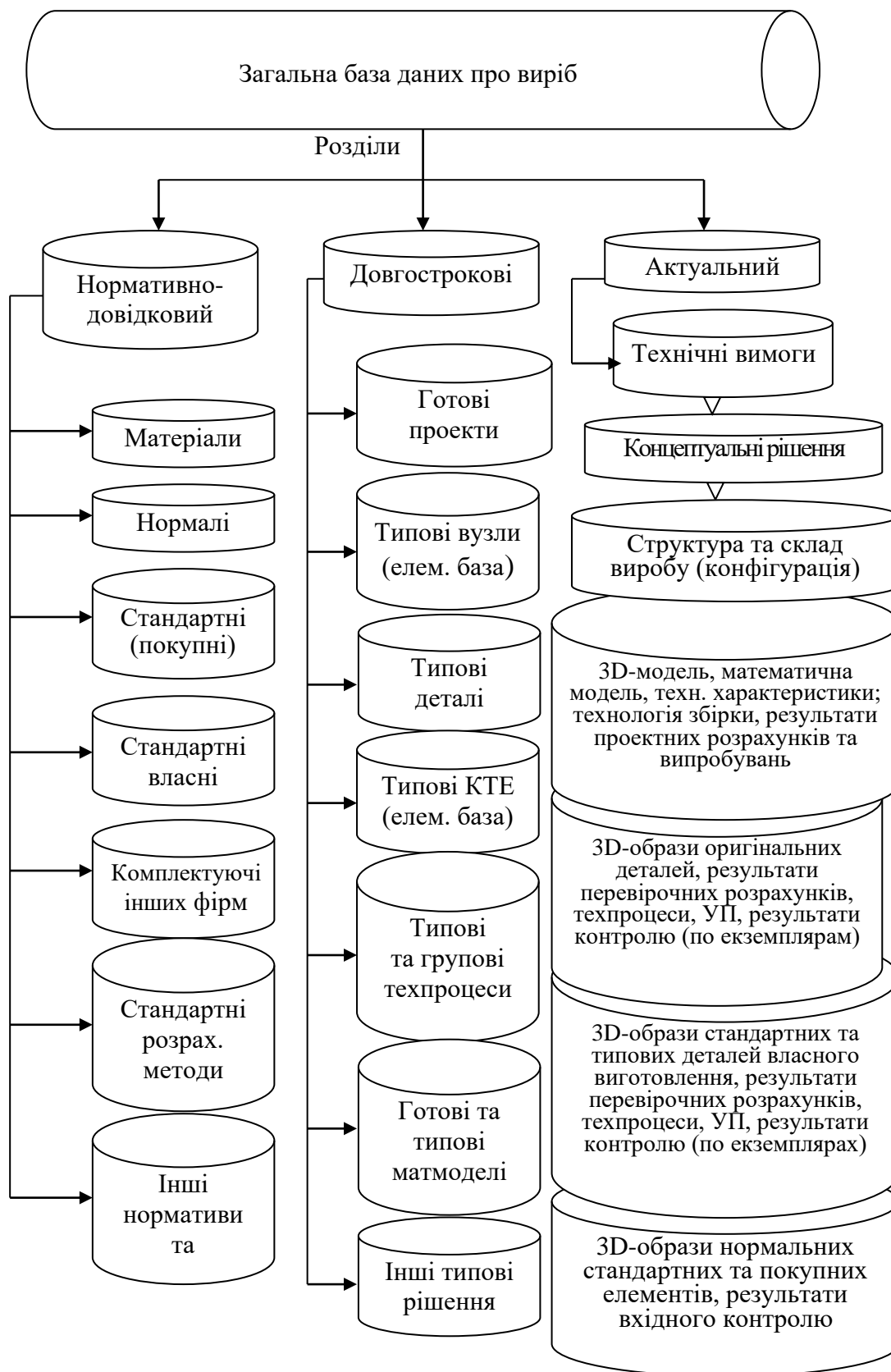


Рисунок 3.17 – Укрупнена структура та склад ЗБДВ

Структура цього розділу на рисунку 3.17 є лише приблизним і вимагає розвитку й уточнення, у тому числі – розбивки на додаткові підрозділи (класифікаційні рівні).

Як уже відзначалося, крім ІО, що стосуються (прямо чи побічно) виробів, у ІС міститься інформація про підприємство: про виробничу й управлінську структуру, про технологічне й допоміжне устаткування, про персонал, фінанси тощо. Уся сукупність цих даних утворить ЗБДІ, що, у свою чергу, складається з декількох розділів.

У розділі, присвяченому економіці й фінансам, мають зберігатися ІО, що містять відомості:

- про кон'юнктуру ринку виробів підприємства, включаючи ціни та їхню динаміку;
- про стан фінансових ресурсів підприємства;
- про ситуацію 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 та бухгалтерського характеру.

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

У розділі, присвяченому виробничо-технологічному середовищу підприємства, мають зберігатися ІО, що містять відомості:

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

У розділі, присвяченому системі якості, мають зберігатися ІО, що містять відомостях:

- про структуру системи якості, діючої на підприємстві;
- про чинні на підприємстві стандарти з якості;
- про міжнародні та національні стандарти з якості;
- про посадові інструкції в області якості;
- інша інформація із системи якості.

За необхідності з ІС можуть бути витягнуті різноманітні документи, необхідні для функціонування підприємства. Документи можуть бути подані як в електронному, так і (за необхідності) у традиційному паперовому вигляді (рис. 3.18). Приведені вище склад і зміст розділів ІС підлягають уточненню в

ході виконання проектів з впровадження CALS-технологій на конкретних підприємствах [9].

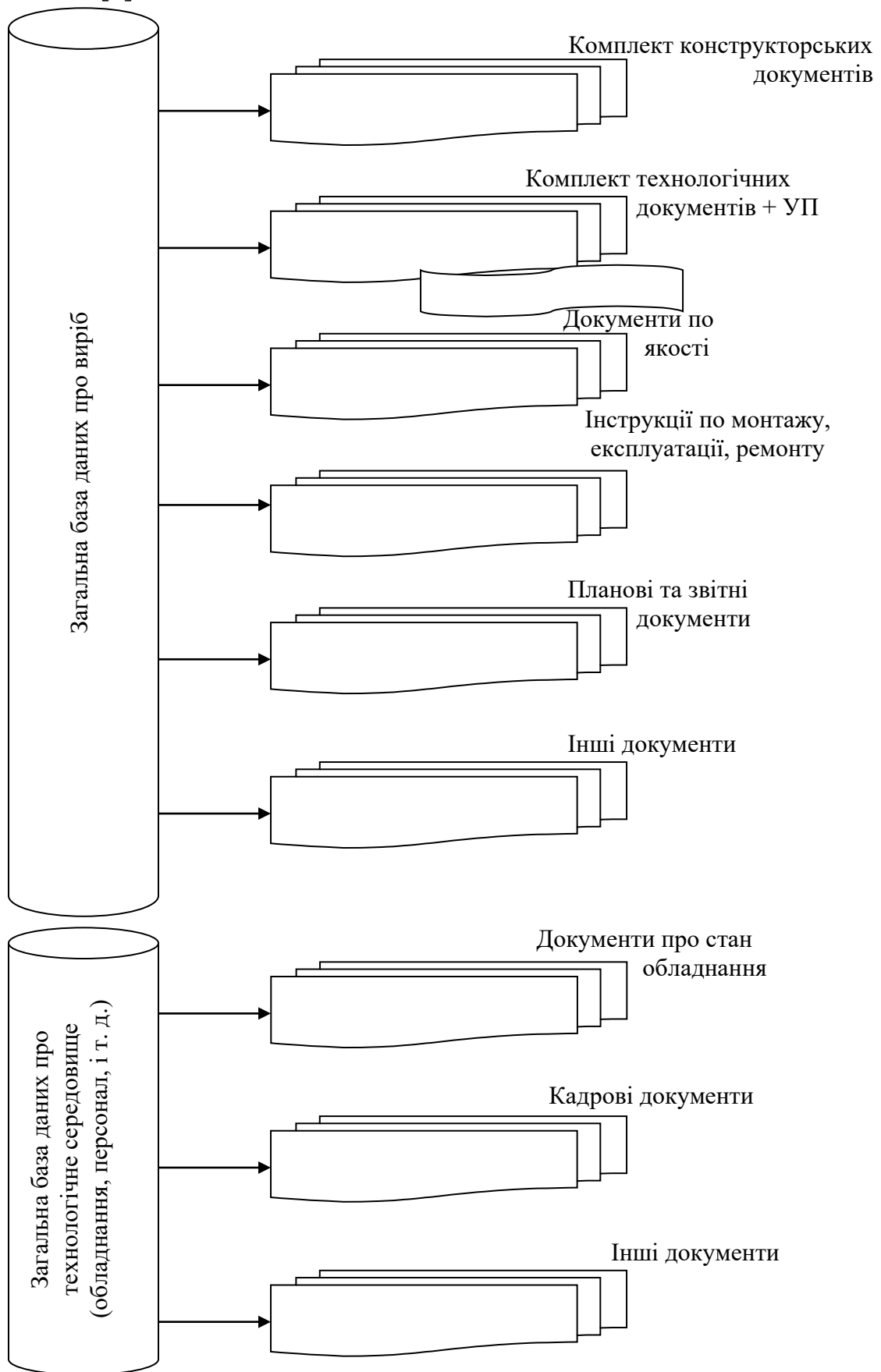


Рисунок 3.18 – Функціональні документи підприємства

3.6 Задачі забезпечення інформаційної безпеки в CALS-системах

Розвиток CALS-технологій сприяє створенню віртуальних підприємств (ВП).

Для віртуального підприємства, що діє в рамках єдиного інформаційного простору (ЄІП), інформаційні ресурси відіграють визначальну роль, тому забезпечення їхньої безпеки є найважливішою задачею. Згідно зі статистичними даними більше 80% компаній і агентств несуть фінансові збитки через порушення безпеки даних.

Проблема захисту інформації являє собою сукупність тісно пов'язаних підпроблем у галузях права, організації управління, розробки технічних засобів, програмування й математики. Очевидно, ефективну систему захисту можна створити, об'єднавши зусилля різних фахівців. Одна з центральних задач проектування систем захисту полягає в раціональному розподілі наявних людських, матеріальних та інших ресурсів.

Задачі забезпечення інформаційної безпеки в CALS-системах близькі до аналогічних задач в інших автоматизованих системах (АС) обробки інформації чи інформаційних систем (ІС), для вирішення яких у даний момент вже існує законодавча і нормативна база, а також організаційно-технічні рішення.

Характерна особливість використання ІТ у нашій країні полягає в тому, що доступ до них мають багато користувачів. У зв'язку з таким «багатокористувацьким» режимом роботи виникає цілий набір взаємопов'язаних питань із захисту інформації, що зберігається в АС.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури дозволив виділити об'єктивні причини, що визначають важливість проблеми захисту інформації:

- високі темпи зростання парку ІС, що знаходяться в експлуатації;
- широке застосування ІС у найрізноманітніших сферах людської діяльності;
- високий ступінь концентрації інформації в ІС;
- вдосконалення засобів доступу користувачів до ресурсів ІС;
- ускладнення обчислювального процесу в ІС.

Під інформаційною безпекою віртуального підприємства (далі підприємства) розуміється стан захищеності його інтересів від існуючих і ймовірних зовнішніх і внутрішніх погроз інформаційним ресурсам.

Інформаційними ресурсами є:

- технічні засоби автоматизації (комп'ютерна техніка та засоби зв'язку);
- електронні носії усіх видів;
- інформація у вигляді файлів і баз даних на електронних носіях;
- сховища машинних та паперових носіїв (архіви й бібліотеки);
- знання персоналу.

Мета заходів для забезпечення інформаційної безпеки – скоротити можливий економічний і моральний збиток підприємства, пов'язаний з ушкодженням чи неправомірним використанням інформаційних ресурсів.

Забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) являє собою складний комплекс технічних, юридичних і організаційних проблем. Основою для системного вирішення задач забезпечення ІБ є аналіз можливих ризиків, політика інформаційної безпеки та план забезпечення ІБ.

На основі результатів аналізу ризиків розробляється політика безпеки – документ, що містить принципи діяльності підприємства відносно проблем ІБ. На основі затвердженої політики безпеки розробляється план забезпечення інформаційної безпеки, що містить конкретні організаційно-технічні рішення й плани робіт із їхнього впровадження та реалізації.

Однією з важливих задач АС є забезпечення надійності переданої, збереженої інформації та інформації, що оброблюється. Надійність інформації в АС – це інтегральний показник, що характеризує якість інформації з погляду:

- фізичної цілісності, тобто наявності чи відсутності перекручувань, знищення елементів цієї інформації;

- довіри до інформації, тобто наявності чи відсутності в ній підміни (несанкціонованої модифікації) її елементів зі збереженням цілісності;

- безпеки інформації, тобто наявності чи відсутності несанкціонованого одержання її особами чи процесами, що не мають на це відповідних повноважень;

- впевненості в тому, що передані або продані власником програми чи елементи баз (масивів) даних не будуть розмножуватися (копіюватися, тиражуватися) і використовуватися без його санкції.

Задачами забезпечення ІБ і відповідно функціями системи забезпечення ІБ є:

- припинення та виявлення спроб знищення чи підміни (фальсифікації) інформації;

- припинення та виявлення спроб несанкціонованої модифікації інформації;

- припинення та виявлення спроб несанкціонованого одержання інформації;

- припинення та виявлення спроб несанкціонованого поширення чи розмноження інформації;

- ліквідація наслідків успішної реалізації перерахованих погроз;

- виявлення та нейтралізація тих, що проявилися, і потенційно можливих дестабілізівних факторів і каналів витоку інформації;

- виявлення та нейтралізація причин прояву дестабілізівних факторів і виникнення каналів витоку інформації;

- визначення осіб, винних у прояві дестабілізівних факторів і виникненні каналів витоку інформації, і залучення їх до визначеного виду відповідальності.

Використання ІС у військовій, комерційній та інших галузях людської діяльності породжує низку специфічних проблем, які необхідно вирішити для захисту інформації, що зберігається та обробляється в ІС. Однією з них є класифікація можливих каналів витоку інформації. Класифікацію можливих каналів витоку інформації можна провести, виходячи з типу засобу, що є основним з отриманням інформації можливим каналом витоку. Пропонується розрізняти три типи засобів: людина, апаратура, програма (рисунк 3.19).

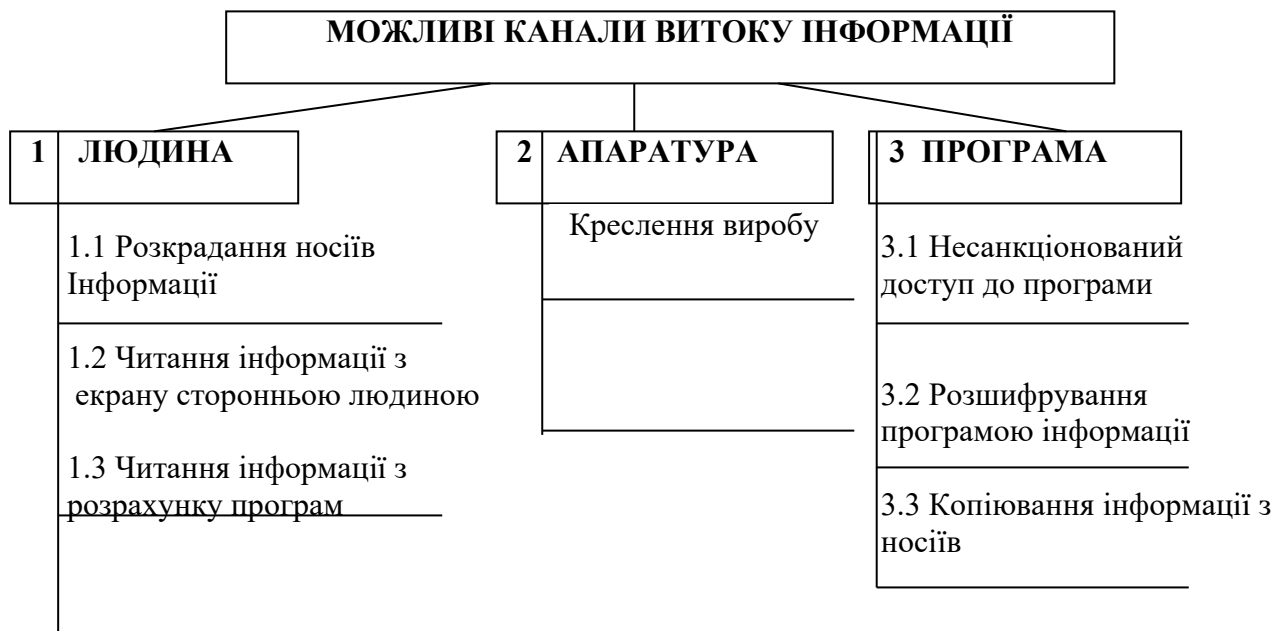


Рисунок 3.19 – Класифікація каналів витоку інформації

Досліджені засоби захисту, в яких основним елементом є програма, дозволяють у ряді випадків достатньо надійно закрити деякі можливі канали витоку з інших груп. Так, криптографічні засоби захисту дозволяють надійно закрити канал, пов'язаний з крадіжкою носіїв інформації.

Аналіз систем захисту інформації від несанкціонованого доступу (НСД) показав, що вони забезпечують виконання таких функцій:

- ідентифікацію ресурсів, що захищаються, тобто привласнення ресурсів, що захищаються, ідентифікаторів – унікальних ознак, за якими система виробляє автентифікацію;
- автентифікацію ресурсів, що захищаються, тобто встановлення їх справжності на основі порівняння з еталонними ідентифікаторами;
- розмежування доступу користувачів до ІС;
- розмежування доступу користувачів за операціями над ресурсами (програми, дані, сектори тощо), що захищаються, з допомогою програмних засобів;
- адміністрування;

- реєстрацію подій;
- контроль цілісності та дієздатності систем захисту;
- забезпечення безпеки інформації під час проведення ремонтно-профілактичних робіт;
- забезпечення безпеки інформації в аварійних ситуаціях.

Система розмежування доступу має забезпечувати виконання таких функцій:

- автентифікація користувача за паролем і, можливо, за ключовою дискетою;
- розмежування доступу до логічних дисків;
- прозорого шифрування логічних дисків;
- шифрування вибраних файлів;
- розмежування доступу до каталогу і файлів, включаючи посекторний захист даних для вибраних файлів і заборона модифікації областей FAT і DIR для вибраних файлів;
- дозволу запуску чітко визначених для користувача програм;
- реєстрації всіх спроб НСД і входу/ виходу користувача в систему;
- реакції на НСД;
- захисту від відладчиків [46].

Сьогодні не відомі системи, що реалізують у повному обсязі всі вищенаведені вимоги.

Криптографічний захист даних – одне з можливих рішень проблеми їхньої безпеки. Зашифровані дані стають доступними тільки для тих, хто знає, як їх розшифрувати, і тому викрадення зашифрованих даних є абсолютно безглуздом для несанкціонованих користувачів.

Криптографічний захист – це захист даних за допомогою криптографічного перетворення, під яким розуміється перетворення даних шифруванням і (або) виробленням імітовставки.

Алгоритм дозволяє застосовувати порівняно короткий ключ для шифрування наскільки завгодно великого тексту. Для захисту даних в ІС переважно використовуються шифри.

Одним з найбільш розповсюджених криптографічних стандартів на шифрування даних, що застосовуються в США, є DES (Data Encryption Standard). Спочатку засіб, що лежить в основі даного стандарту, був розроблений фірмою IBM для своїх цілей. Він був перевірений Агенцією Національної Безпеки США, що не виявило в ньому статистичних або математичних вад. Після цього засіб фірми IBM був прийнятий як федеральний стандарт. Стандарт DES використовується федеральними департаментами й

агенціями для захисту всіх достатньо важливих даних у комп'ютерах (виключаючи деякі дані, засоби захисту яких визначаються спеціальними актами). Його застосовують багато недержавних інститутів, в тому числі більшість банків і служб обігу грошей.

Основною перевагою засобу DES є те, що він є стандартним. Як стверджує Національне Бюро Стандартів США, алгоритм має такі властивості:

- високий рівень захисту даних проти дешифрування і можливої модифікації даних;
- простота й розуміння;
- високий ступінь складності, що робить його розкриття дорожче прибутку, що при цьому одержується;
- засіб захисту ґрунтується на ключі і не залежить від «таємності» алгоритму;
- економічний у реалізації та ефективний у швидкодії.

Втім і DES має низку недоліків. Найістотнішим недоліком DES фахівці визнають розмір ключа, що вважається занадто малим. Стандарт у нинішньому вигляді не є не уразливим, хоча і є дуже складним для розкриття (досі не були зареєстровані випадки дешифрування інформації, зашифрованої з використанням засобу DES).

Засіб DES може бути реалізований і програмно. Залежно від швидкодії й типу процесора персонального комп'ютера програмна система, що шифрує дані з використанням засобу DES, може обробляти від декількох кілобайт до десятків кілобайт даних за секунду.

Алгоритм криптографічного перетворення, що був союзним стандартом і визначається ДГСТ 28147-89, вільний від недоліків стандарту DES і водночас що володіє всіма його перевагами. Крім того, у стандарт вже закладений засіб, з допомогою якого можна зафіксувати невиявлену випадкову або навмисну модифікацію зашифрованої інформації.

Проте в алгоритмі є дуже істотний недолік, який полягає в тому, що його програмна реалізація дуже складна і практично позбавлена будь-якого сенсу через вкрай низьку швидкодію.

Тепер зупинимося на засобі RSA. Він є дуже перспективним, оскільки для шифрування інформації не вимагається передачі ключа іншим користувачам. Це вигідно відрізняє його від усіх описаних вище засобів криптографічного захисту даних. Але не має чіткого доказу, що не існує іншого засобу визначення таємного ключа за відомим, окрім як визначення дільників цілих чисел.

Зрештою, засіб RSA має лише переваги. До числа цих переваг слід віднести дуже високу криптостійкість, досить просту програмну й апаратну реалізацію. Щоправда, слід помітити, що використання цього засобу для криптографічного захисту даних нерозривно пов'язане з дуже високим рівнем розвитку техніки.

На відміну від захисту інформації в окремій організації, захист інформації у віртуальному підприємстві має свою специфіку. Як головні особливості можна вказати:

- географічно розподілена структура;
- різноманітність програмно-технічних рішень;
- необхідність захисту інформації та інтелектуальної власності, що належить декільком власникам.

Основою єдиного інформаційного простору віртуального підприємства є сукупність мереж вхідних у нього організацій і відкритих мереж загального користування – Інтернет.

Відповідно, необхідно забезпечити:

- захист мереж усередині організацій,
- управління доступом у внутрішні мережі організацій із відкритих мереж;
- управління доступом із внутрішніх мереж у відкриті мережі і забезпечити безпечний обмін даними між внутрішніми мережами організацій через відкриті мережі.

Для захисту від несанкціонованого доступу (НСД) до даних у рамках локальної мережі організації й окремих комп'ютерів, застосовуються спеціальні програмно-технічні засоби, що забезпечують управління доступом до даних на основі наявних у користувачів повноважень.

Базовий набір функцій комплексу засобів захисту від НСД містить у собі:

- ідентифікацію й автентифікацію (перевірку приналежності суб'єкту доступу пред'явленого ідентифікатора) користувача на початку сеансу роботи;
- забезпечення доступу до даних і можливості запуску програм відповідно до заданого списку повноважень і дозволів;
- контроль цілісності програмного забезпечення і даних;
- протоколювання дій.

Частину згаданих функцій виконують деякі сучасні операційні системи (ОС) комп'ютерів, наприклад, Microsoft Windows/NT, але вони можуть бути і майже цілком відсутніми, наприклад у Microsoft Windows-95, і в цьому випадку мають забезпечуватися додатковими засобами.

Ідентифікація й автентифікація користувачів може виконуватися шляхом введення імені і пароля, використання смарт-карт (інтелектуальних пластикових карт) і засобів зчитування даних з карт, що підключаються до комп'ютера, спеціальних жетонів (token), що зберігають унікальний код тощо. В особливо відповідальних додатках застосовуються засоби ідентифікації, засновані на розпізнаванні фізичних характеристик суб'єкта доступу (голосу, відбитка пальця, райдужної оболонки ока тощо).

Основною проблемою забезпечення ефективної роботи засобів захисту від НСД є створення правильних і повних описів повноважень користувачів, необхідних для виконання службових обов'язків.

Найбільш радикальним підходом є використання як інструмента управління повноваженнями співробітників, моделей бізнес-процесів, що виконуються в організації. Функціональна модель бізнес-процесів є доступною для огляду, опис, що має програмну підтримку і містить, зокрема, відомості про всі інформаційні об'єкти, до яких співробітник повинен мати доступ у процесі роботи.

Захист від несанкціонованого доступу у внутрішню мережу організації з відкритої мережі являє собою окрему задачу, для вирішення якої застосовуються міжмережні екрани (firewall). По суті, цей пристрій (або група пристроїв), розташований між внутрішньою (що захищається) мережею й Інтернет і виконує задачі з обмеження трафіка, який проходить через нього, реєстрації інформації про трафік, припиненню несанкціонованого доступу у спробі підключитися до ресурсів внутрішньої мережі (ідентифікація користувачів) тощо.

При цьому даний пристрій забезпечує «прозорий» доступ користувачів внутрішньої мережі до служб Інтернет і доступ ззовні (тобто з мережі Інтернет) до ресурсів підприємства для зареєстрованих у внутрішній мережі користувачів.

Особливо необхідно розглянути питання забезпечення антивірусної безпеки (АВБ) комп'ютерної системи підприємства. Можливість вірусного зараження є однією з серйозних погроз, яким можуть піддатися програми і дані користувачів. Типовими шляхами вилучення вірусів із комп'ютерної мережі є:

- електронні носії інформації (флопі-диски, компакт-диски, архіватори типу Zip, Jazz тощо);
- безкоштовне програмне забезпечення, отримане через Web чи FTP і збережене на локальній робочій станції;
- вилучені користувачі, що з'єднуються з мережею через модем і одержують доступ до файлів сервера;
- електронна пошта, що містить у повідомленнях приєднані файли документів (Word) чи електронних таблиць (Excel), які можуть містити в собі макровіруси.

Таким чином, для того, щоб захистити корпоративну мережу від проникнення вірусів чи руйнівних програм необхідно стежити за можливими шляхами проникнення вірусів, до яких належать: шлюзи Інтернет, файлові сервери, сервери засобів групової роботи й електронної пошти, робочі станції користувачів.

Слід зазначити, що вирішення проблеми АВБ не зводиться до встановлення антивірусних програм на кожен комп'ютер. Засоби АВБ потребують правильного настроювання і регулярного відновлення таблиць вірусних сигнатур. Засоби централізованого управління дозволяють адміністратору безпеки зі свого робочого місця контролювати всі можливі шляхи проникнення вірусів і управляти всіма способами АВБ.

Існують міжнародні стандарти із забезпечення інформаційної безпеки в CALS-системах. Їх перелік наведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Міжнародні стандарти інформаційної безпеки

Позначення	Англійська назва	Українська назва
FIPSPUB 181	Automated Password Generator (APG)	Автоматизований генератор паролю
FIPSPUB 186-1	Digital Signature Standard(DSS)	Стандарт цифрового підпису
FIPSPUB 191	Guideline For The Analysis Of Local Area Network Security	Директива для аналізу локальної області безпеки мережі
FIPSPUB 188	Standard Security Label For Information Transfer	Стандартний ярлик безпеки для інформаційної передачі

В Україні прийнятий Закон «Про захист інформації в автоматизованих системах», який встановлює основи регулювання правових відносин щодо захисту інформації в автоматизованих системах за умови дотримання права власності громадян України і юридичних осіб на інформацію та права доступу до неї, права власника інформації на її захист, а також встановленого чинним законодавством обмеження на доступ до інформації [47].

Постановою Кабінету Міністрів України від 8 жовтня 1997 р. № 1126 прийнята Концепція технічного захисту інформації в Україні, яка має забезпечити єдність принципів формування й проведення такої політики в усіх сферах життєдіяльності особи, суспільства та держави (соціальной, політичній, економічній, військовій, екологічній, науково-технологічній, інформаційній тощо) і бути підставою для створення програм розвитку сфери технічного захисту інформації [48].

Ще одна проблема захисту – це авторські права. Зараз у світі існує законодавство, що захищає авторські права програмістів. Розроблена ціла низка законопроектів із захисту інтелектуальної власності, а також вступила в дію Четверта книга Конституції України.

Однак інформація у нас ще недостатньо захищена. Сформувалися тривкі традиції «придбання» нових програм, коли програмне забезпечення не купується, а крадеться. Раз випустивши на ринок незахищену від копіювання програму, виробник може назавжди розпрощатись із прибутками. Це призводить до повільного розвитку ринку програмного забезпечення. Системи захисту від копіювання протидіють використанню крадених копій програмного забезпечення і є в наш час єдиною надійною засобом, що захищає авторські права програмістів-розробників, так і стимулює розвиток ринку. Під системою захисту від копіювання розуміється система, що забезпечує виконання програмою своїх функцій тільки з пізнанням деякого унікального елемента, що не копіюється. Таким елементом (що називаються ключовим) може бути дискета, певна частина комп'ютера або спеціальне влаштування, що підключається до ПЕОМ.

3.7 Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення «життєвий цикл інформаційної системи».
2. На чому базується інформаційна інтеграція у процесах, що виконуються в ході життєвого циклу продукту (виробу)?
3. Перелічіть інформаційні моделі та їх зв'язки із стадіями життєвого циклу продукту.
4. Що розуміють під моделлю життєвого циклу виробу? Які види моделей існують?
5. Охарактеризуйте єдину інтегровану модель виробу.
6. Що призначено для збереження інтегрованої моделі ЖЦВ?
7. Перерахуйте технологічні етапи моделювання ЖЦВ.
8. Яке програмне забезпечення використовується у моделюванні?
9. Дайте визначення поняття «Інтегровано-логістична підтримка».
10. Назвіть структуру і склад інтегрованого інформаційного середовища.
12. Назвіть основні елементи загальної бази даних при виробі.
13. Перерахуйте основні задачі забезпечення інформаційної безпеки.

4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В CALS-ТЕХНОЛОГІЯХ

4.1 Моделювання як метод аналізу об'єктів проектування та виробництв

На всіх етапах проектування, створення й експлуатації CALS-систем постає необхідність аналізу їх окремих компонентів і систем загалом. Проведення експериментів на об'єкті, який проектується (виріб, виробничий технологічний процес), неможливе, адже об'єкта ще не існує, або недоцільні (CALS-система, виробничий технологічний процес), бо це нераціонально. У таких випадках раціональним є використання моделювання.

Моделюванням називають процес побудови моделі об'єкта, який досліджується, та оперування з нею для отримання корисної інформації щодо об'єкта дослідження.

Моделлю називають математичне, фізичне або інше логічне зображення *системи*, об'єкта, явища або процесу. Ступінь відповідності між моделлю й об'єктом встановлюються за допомогою понять ізоморфізму і гомоморфізму. Об'єкт і модель вважаються *ізоморфними*, якщо між ними існує взаємно однозначна відповідність, завдяки якій можна перетворювати одне подання в інше. Об'єкт і модель є ізоморфними лише у випадку спрощення об'єкта, тобто скорочення множини його властивостей (атрибутів) і характеристик поведінки, які визначають простір його станів. Як правило модель набагато простіша за об'єкт. У таких випадках між ними існує відношення *гомоморфності*, яке вказує на наявність однозначної відповідності лише в одному напрямку: від моделі до об'єкта [49].

Системою як формою подання об'єкта називають сукупність взаємопов'язаних елементів, що сприймаються як одне ціле. Характерною особливістю антропогенних об'єктів, до яких належать і CALS-системи, є наявність у них мети.

Система характеризується своєю *структурою* та властивостями. Під *структурою* розуміють відображення сукупності її елементів E та їх взаємозв'язків (відношень між ними) R . З урахуванням цього у межах теоретико-множинного подання будь-яка система визначається так: $S = \langle E, R \rangle$. Значення характеристик, що описують властивості системи в конкретний момент часу називають *станом системи*, а характер (функцію) зміни стану системи у часі називають її *динамікою* або траєкторією руху.

Динаміка системи у загальному випадку визначається її внутрішніми властивостями (структурою, значеннями її параметрів), початковим станом та вхідним впливом. Вхідний вплив на систему може бути таким, що відхиляє її від мети (збурення), та таким, що спрямовує її до мети (управління, керування). Серед об'єктів дослідження в рамках CALS-технологій виділяють такі, якими не управляють (некеровані), та такі, якими управляють (керовані). Процеси функціонування некерованих об'єктів проходять без керуючих впливів, а їх динаміка однозначно визначається їх внутрішніми властивостями, початковими станом і «нецільовим» впливом зовнішнього середовища. Динаміка керованих об'єктів переважно визначається керуючим впливом (сигналами), який здійснюється системою управління (регулятором), відповідно до їх мети, впливу збурення, стану та обраного закону управління.

Використання моделювання дозволяє істотно скоротити час прийняття проектних чи управлінських рішень, підвищити їхню якість, спрогнозувати наслідки. Найбільше поширення в CALS-технологіях знаходять математичне та комп'ютерне моделювання. Серед основних причин його широкого застосування виділяють необхідність раціонального використання матеріальних, фінансових, енергетичних ресурсів та необхідність скорочення термінів проектування та виготовлення продукції.

Прикладами задач, що найчастіше розв'язуються з використанням засобів моделювання в CALS-технологіях є: оптимізація варіантів побудови CALS-системи, проектування об'єктів виробництва, проектування та управління технологічними процесами виробництва.

У процесах проектування, створення й експлуатації CALS-систем постає ряд задач оцінки кількісних і якісних закономірностей процесів їх функціонування, проведення структурного, параметричного, топологічного та технологічного синтезу. У найбільш загальному випадку CALS-системи розглядаються як складні системи, для яких як об'єктів моделювання характерними є такі особливості:

- складність структури і стохастичний характер зв'язків між елементами;
- неоднозначність алгоритмів поведінки у різних умовах;
- велика кількість параметрів і змінних;
- неповнота і недетермінованість вхідної інформації;
- стохастичний характер і різноманітність зовнішніх впливів;
- обмежені можливості проведення натурних експериментів.

Вибір методів і засобів моделювання визначаються метою і задачами дослідження на кожному з етапів і стадій їх проектування й експлуатації.

На стадії макропроектування розробляються узагальнені моделі процесів функціонування CALS-системи, які дають можливість розробнику системи отримувати відповіді на запитання щодо ефективності різних технологій її функціонування.

На стадії мікропроектування розробляють моделі для задач створення ефективних забезпечуючих підсистем CALS-системи.

Вибір методу моделювання і ступінь деталізації моделей суттєво залежать також від етапу розробки системи.

На етапах передпроектних досліджень і розробки технічного завдання на проектування моделі мають, як правило, описовий характер і слугують компактним носієм інформації для розробників системи.

На етапах розробки технічного і робочого проектів моделі окремих підсистем деталізуються і використовуються для розв'язання задач їх синтезу (зокрема, вибору раціональних варіантів їх побудови).

На етапах впровадження й експлуатації CALS-систем моделі використовуються для програвання можливих ситуацій для прийняття обґрунтованих проектних і управлінських рішень.

4.2 Класифікація видів моделювання

Залежно від мети і задач дослідження для одного й того самого об'єкта може бути створено цілий ряд моделей, що відрізнятимуться наборами факторів, які вони відображують, природою моделі, точністю, складністю, іншими ознаками. Для класифікації видів моделювання найчастіше використовують такі їх ознаки: ступінь повноти моделі, характер властивостей, які відображує модель, природа моделі тощо (рис. 4.1) [50-53].

В основі моделювання лежить теорія подібності, яка стверджує, що абсолютна подібність може мати місце лише з заміною одного об'єкта іншим таким самим. У процесі моделювання абсолютна подібність не має місця й прагнуть до того, щоб модель адекватно відображала досліджувану сторону об'єкта проектування чи управління. За ознакою ступеня повноти моделі поділяють на повні, неповні й наближені.

В основі *повного моделювання* лежить повна подібність між об'єктом і моделлю, що проявляється як у часі, так і в просторі. Для *неповного моделювання* характерною є неповна подібність моделі досліджуваному об'єкту. У *наближеному моделюванні* деякі сторони функціонування досліджуваного об'єкта не моделюються зовсім.

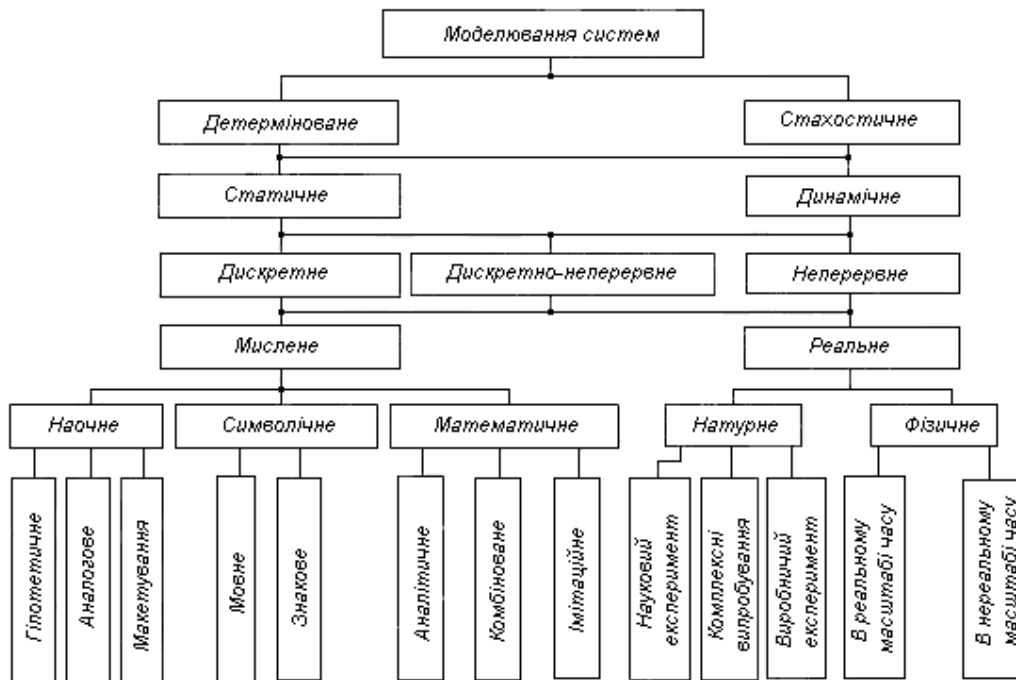


Рисунок 4.1 – Класифікація видів моделювання

Залежно від характеру досліджуваних процесів об'єкта розрізняють: детерміноване і стохастичне; статичне і динамічне; дискретне, неперервне та дискретно-неперервне моделювання. *Детерміноване моделювання* відображує детерміновані процеси або властивості, тобто такі, у яких відсутні (або можуть вважатися відсутніми) випадкові фактори. *Стохастичне моделювання* відображує ймовірнісні процеси або властивості. *Статичне моделювання* слугує для опису поведінки об'єкта в певний момент часу, а *динамічне моделювання* відображує зміни стану об'єкта в часі. *Дискретне моделювання* слугує для опису процесів, які передбачаються (чи можуть вважатися) дискретними. *Неперервне моделювання* дозволяє відобразити неперервні процеси в об'єктах, а *дискретно-неперервне моделювання* використовується для випадків, коли хочуть виділити наявність як дискретних, так і неперервних процесів.

Залежно від форми подання об'єкта виділяють реальне й уявне моделювання. У *реальному моделюванні* використовується можливість дослідження характеристик на існуючому об'єкті. Такі дослідження можуть проводитися як на об'єктах, що функціонують у нормальних режимах, так і в організації спеціальних режимів для оцінки характеристик, що становлять інтерес для дослідника (за інших значень змінних і параметрів, в іншому масштабі часу тощо). Реальне моделювання є найбільш адекватним, але його можливості, як правило, дуже обмежені (неможливо, ризики великих

втратах, небезпечно). Різновидами реального моделювання є натурне і фізичне моделювання.

Натурним моделюванням називають проведення дослідження на реальному об'єкті з наступною обробкою результатів експерименту на основі теорії подібності. Під час *фізичного моделювання* дослідження проводиться на установках, які мають ту саму природу, що і досліджувані явища або мають фізичну подібність до них.

Різновидами *уявного моделювання* є наочне, символічне і математичне моделювання. Воно часто є єдиним способом моделювання об'єктів, які або практично не реалізовані, або існують поза умовами, можливими для їх фізичного створення. Як різновид уявного найбільшого поширення для дослідження в рамках САІS-технологій набуває математичне моделювання.

Під *математичним моделюванням* розуміється процес установлення відповідності реальному об'єкту математичного об'єкта, що називається *математичною моделлю*, та експериментування з цією моделлю для одержання характеристик досліджуваного об'єкта. Математичне моделювання поділяють на аналітичне, імітаційне і комбіноване.

З використанням *аналітичного моделювання* процеси функціонування об'єктів подаються у вигляді деяких функціональних співвідношень (алгебраїчних, інтегро-диференціальних, кінцево-різницевих рівнянь) або логічних умов. Аналітичні моделі можуть досліджуватися *аналітичними* (коли прагнуть одержати в загальному вигляді явні залежності для шуканих характеристик), чисельними (коли, не маючи можливості одержати розв'язок у загальному вигляді, прагнуть одержати числові результати для конкретних початкових даних) або якісними (коли знаходяться деякі властивості розв'язку, наприклад, оцінка стійкості об'єкта) методами.

З *імітаційному моделюванні* функціонування об'єкта відтворюється за допомогою спеціального моделювального алгоритму шляхом імітації елементарних явищ процесу зі збереженням їх логічної структури й послідовності протікання в часі. Це дозволяє за вхідними даними одержати відомості щодо станів процесу в певні моменти часу і, таким чином, дає можливість оцінити характеристики об'єкта.

Основною перевагою імітаційного моделювання є можливість дослідження більш складних об'єктів. Імітаційні моделі дозволяють досить просто враховувати такі фактори як наявність дискретних і неперервних елементів, нелінійні характеристики елементів об'єкта, численні випадкові впливи та інші, які часто створюють труднощі в ході аналітичних досліджень.

Коли результати, отримані за допомогою імітаційної моделі, є реалізаціями випадкових величин і функцій, для знаходження характеристик процесу потрібно його багаторазове відтворення з наступною статистичною обробкою інформації. У таких випадках як метод машинної реалізації імітаційної моделі доцільно використовувати метод статистичного моделювання.

4.3 Критерії оцінки ефективності моделювання

Під час проведення моделювання, розробки чи вибору моделей, методів та інструментальних засобів виникає задача оцінки його ефективності. Ефективність моделювання визначається на практиці шляхом співставлення ефекту від використання його результатів і витрат на його проведення. Це визначає основні вимоги, що ставляться до моделей. Ефективність математичного моделювання може оцінюватися рядом часткових критеріїв, у тому числі: точністю результатів моделювання; адекватністю, економічністю, універсальністю моделі [54].

Ефект від моделювання зростає з підвищенням точності моделі. Як показник *точності* моделі використовують похибку ε – ступінь збігу результатів, отриманих на об'єкті x^o та за допомогою моделі x^m . Показники точності можуть бути векторними $\varepsilon_i = |x_i^o - x_i^m|$ (де i – номер показника, що визначається за допомогою моделі, $i = \overline{1, n}$; n – кількість показників, що досліджуються) або скалярними, наприклад, у вигляді норми вектора похибок: $\|\varepsilon\| = \max_{1 \leq i \leq n} \varepsilon_i$.

Для оцінки результатів статистичного моделювання разом із показником точності рекомендується використовувати показник *достовірності* отриманих оцінок α_i – ймовірність того, що похибка ε_i не перевищить задане значення ε_i^* : $\alpha_i = p[|x_i^o - x_i^m| \leq \varepsilon_i^*], i = \overline{1, n}$.

Адекватність моделі є якісним показником і характеризує її здатність відображати властивості об'єкта з похибкою, що не перевищує заданого значення ε^* , тобто $\|\varepsilon\| \leq \varepsilon^*$. Адекватність моделі, як правило, має місце лише у деякій підобласті (області адекватності O_A) простору її зовнішніх параметрів $O_A \subseteq O$, тобто $O_A = \{O(\varepsilon_i): \varepsilon_i \leq \varepsilon_i^*, i = \overline{1, n}\}$, де ε_i^* – допустима похибка визначення i -го параметру.

Стійкість характеризує ступінь можливого збурення вихідних змінних моделі з незначною зміною її вхідних змінних. Зокрема, для об'єктів, моделі яких можуть бути подані системами лінійних алгебраїчних рівнянь, оцінку стійкості розв'язків можна здійснювати за допомогою чисел обумовленості матриць [54-55].

Нехай модель M досліджуваного об'єкта подана у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$Ax = b, \quad (4.1)$$

де A – матриця постійних коефіцієнтів розмірністю $n \times n$;

x – шуканий вектор невідомих розмірністю n ;

b – вектор коефіцієнтів правої частини розмірністю n .

Модель зі збуреною матрицею A має вигляд:

$$(A + \Delta A)x = b, \quad (4.2)$$

де ΔA – збурення матриці A , що відповідає похибці визначення (задання) її коефіцієнтів.

Модель зі збуреною правою частиною b має вигляд:

$$Ax = (b + \Delta b), \quad (4.3)$$

де Δb – збурення вектора правої частини b , що відповідає похибці визначення (задання) його координат.

Показником стійкості моделі (4.1) є число обумовленості матриці A :

$$\gamma_1(M) = \text{Cond}(A) = \|A\| \|A^{-1}\|, \quad (4.4)$$

де $\|A\|$ та $\|A^{-1}\|$ – відповідно норми матриці A та оберненої до неї матриці A^{-1} .

Канонічні норми матриці A визначаються за формулами:

$$\|A\|_1 = \max_j \left\{ \sum_i |a_{ij}| \right\}; \quad \|A\|_2 = \sqrt{\sum_{ij} |a_{ij}|^2}; \quad \|A\|_\infty = \max_i \left\{ \sum_j |a_{ij}| \right\},$$

де a_{ij} – елемент матриці A .

Для моделей із симетричними матрицями коефіцієнтів оцінку стійкості можна проводити за співвідношенням власних значень матриці A , що має вигляд:

$$\gamma_2(M) = \max_i \{ |\lambda_i| \} / \min_i \{ |\lambda_i| \}, \quad (4.5)$$

де λ_i – власні числа матриці A , що є розв'язками характеристичного рівняння

$$\det(A - \lambda E) = 0, \quad (4.6)$$

де E – одинична матриця.

Максимальні відносні збурення (похибок) розв'язків задач (4.2), (4.3) визначаються співвідношеннями

$$\frac{\|\Delta x\|}{\|x + \Delta x\|} \leq \gamma(M) \frac{\|\Delta A\|}{\|A\|}, \quad (4.7)$$

$$\frac{\|\Delta x\|}{\|x\|} \leq \gamma(M) \frac{\|\Delta b\|}{\|b\|}. \quad (4.8)$$

Витрати на моделювання зменшуються зі зростанням економічності та зменшенні універсальності моделей. *Економічність* моделі характеризується розміром витрат ресурсів на моделювання (часових, фінансових, обсягів комп'ютерного часу, пам'яті тощо).

Універсальність моделі характеризує її здатність відображати різні властивості об'єкта дослідження.

Наведені показники якості моделей здебільшого є суперечливими (покращення за одними показниками призводить до зниження якості за іншими). Це потребує вибору найкращої моделі на основі компромісу за всіма показниками з урахуванням обмежень на їх значення.

4.4 Послідовність розробки і машинної реалізації моделей

З розвитком обчислювальної техніки найефективнішим методом дослідження об'єктів у CALS-технологіях стало комп'ютерне моделювання. Моделювання з використанням засобів обчислювальної техніки (цифрових, аналогових обчислювальних машин, гібридних обчислювальних комплексів) полягає в проведенні машинного експерименту з моделлю, яка є деяким програмним комплексом, що описує математично та (або) алгоритмічно поведінку чи характеристики об'єкта.

Основними етапами моделювання є: побудова концептуальної моделі M_K об'єкта та її формалізація; алгоритмізація моделі об'єкта та її машинна реалізація; одержання та інтерпретація результатів моделювання.

Взаємозв'язок перерахованих етапів моделювання систем та їх складових (підетапів, задач) може бути зображений у вигляді сіткового графіка (рис. 4.2) [53-54].

На етапі *побудови концептуальної моделі та її формалізації* проводиться дослідження об'єкта з точки зору виділення основних складових процесу його функціонування, визначаються необхідні апроксимації й отримують узагальнену схему моделі, що перетвориться в машинну модель M_M на другому етапі шляхом

її послідовної алгоритмізації та програмування. На третьому етапі з використанням обраних програмно-технічних засобів виконуються розрахунки і здійснюється інтерпретація результатів моделювання.

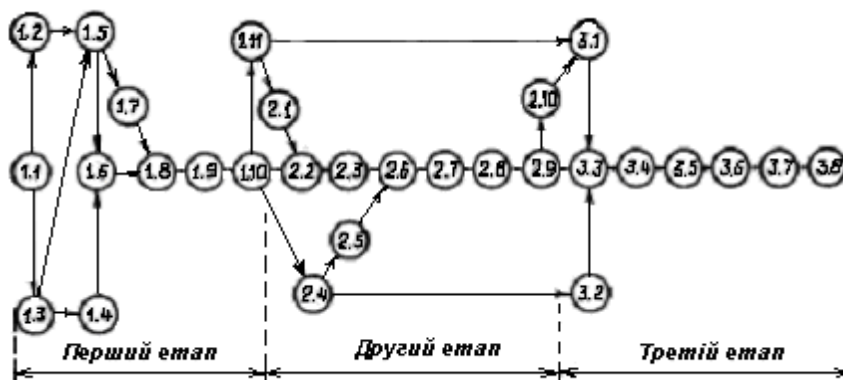


Рисунок 4.2 – Схема взаємозв’язку задач моделювання

На першому етапі формулюється модель і створюється її формальна схема. Основним призначенням цього етапу є перехід від змістовного опису об’єкта до його математичної моделі M_M . Найбільш відповідальними та найменш формалізованими завданнями при цьому є визначення межі між об’єктом (системою S) і зовнішнім середовищем, спрощення опису системи і побудова спочатку концептуальної, а потім формальної моделі системи.

Найбільш раціонально будувати модель функціонування об’єкта за блоковим принципом. При цьому виділяють три групи блоків моделі. Блоки першої групи являють собою імітатор впливів зовнішнього середовища; блоки другої групи описують процес функціонування досліджуваного об’єкта; блоки третьої групи є допоміжними і слугують для машинної реалізації блоків двох перших груп, а також для фіксації та обробки результатів моделювання.

Основними задачами першого етапу є: 1.1 – постановка задачі моделювання; 1.2 – аналіз задачі моделювання; 1.3 – визначення вимог до вхідної інформації щодо об’єкта моделювання й організація її складання; 1.4 – висування гіпотез і прийняття припущень; 1.5 – визначення параметрів і змінних моделі; 1.6 – встановлення основного змісту моделі; 1.7 – обґрунтування критеріїв оцінки ефективності об’єкта; 1.8 – визначення процедур апроксимації; 1.9 – опис концептуальної моделі об’єкта; 1.10 – перевірка достовірності концептуальної моделі; 1.11 – складання технічної документації за результатами виконання першого етапу.

На етапі *алгоритмізації моделі та її машинної реалізації* математична модель M_M , сформована на першому етапі, втілюється в конкретну

машинну модель. Цей етап є етапом практичної діяльності, спрямованої на реалізацію ідей і математичних схем у вигляді машинної моделі процесу функціонування об'єкта.

Основними задачами цього етапу є: 2.1 – побудова логічної схеми моделі; 2.2 – одержання математичних співвідношень; 2.3 – перевірка достовірності моделі; 2.4 – вибір обчислювальних засобів для моделювання; 2.5 – складання плану виконання робіт із програмування; 2.6 – побудова схеми програми моделювання; 2.7 – перевірка достовірності схеми програми; 2.8 – програмування моделі; 2.9 – перевірка достовірності програми; 2.10 – складання технічної документації за результатами виконання другого етапу.

На етапі *одержання та інтерпретації результатів моделювання* з використанням обраних програмно-технічних засобів виконуються розрахунки за співвідношеннями математичної моделі, а також здійснюється інтерпретація отриманих результатів (перехід від інформації, одержаної під час експериментів, до інформації стосовно об'єкта моделювання).

Основними задачами цього етапу є: 3.1 – планування машинного експерименту з моделлю; 3.2 – визначення вимог до обчислювальних засобів; 3.3 – проведення робочих розрахунків; 3.4 – аналіз результатів моделювання; 3.5 – подання результатів моделювання; 3.6 – інтерпретація результатів моделювання; 3.7 – підбиття підсумків моделювання і видача рекомендацій; 3.8 – складання технічної документації за результатами виконання третього етапу.

В ході машинного моделювання системи характеристики процесу її функціонування визначаються на основі моделі M_M , побудованої, виходячи з наявної вихідної інформації щодо об'єкта моделювання. З одержанням нової інформації щодо об'єкта моделювання його модель переглядається й уточнюється. Таким чином, процес моделювання, включаючи розробку й машинну реалізацію моделі, має ітераційний характер. Процес моделювання триває доти, доки не буде отримана ефективна адекватна модель об'єкта M_M , яка відповідає усім вимогам, що були поставлені під час розв'язання задачі його дослідження.

4.5 Формалізація опису об'єктів моделювання

Під формалізацією у математичному моделюванні розуміють процес створення опису об'єкта мовою математики. Такий опис має зрештою давати змогу визначати кількісні оцінки властивостей об'єкта проектування. Під час формалізації завдань структурного аналізу і синтезу об'єктів традиційно

використовується їх теоретико-множинне подання. У межах цього визначення на ранніх стадіях проектування будь-який об'єкт може бути поданий як система S у вигляді впорядкованої пари [54]

$$S = \langle E, R \rangle, \quad (4.9)$$

де E – множина елементів, що входять до складу системи;

R – множина відношень між елементами. Термін «відношення» застосовується тут у широкому розумінні, що включає такі поняття як зв'язок, з'єднання, взаємозв'язок, залежність тощо.

Мета створення об'єкта може бути структурована як множина функцій, які він має реалізувати. Для реалізації передбачених функцій об'єкт повинен мати набір властивостей. Наявність цих властивостей забезпечує відповідність функціональним вимогам, а кількісний рівень їхньої реалізації визначає властивості (якість) об'єкта.

Система S , подана у вигляді (4.9), має множину властивостей

$$P = \varphi(E, R), \quad (4.10)$$

де φ – деяке відображення.

Аналіз мети дозволяє виділити множину найважливіших часткових властивостей P' , які повинен мати створюваний об'єкт. Виділені властивості є підмножиною множини властивостей $P' \subset P$, які можуть бути отримані на універсальній множині елементів E і всіляких відношеннях R між елементами:

$$P = \varphi(E \times R). \quad (4.11)$$

Множина відношень R у (4.11) визначається можливими принципами побудови об'єкта та розподілом функцій між його елементами. Відображення P' на множини елементів E та відношень R визначає підмножини елементів E_C і відношень R_C , на яких можливо побудувати систему з необхідними властивостями (визначити область її існування $E_C \subset E$, $R_C \subset R$). Виходячи з існуючих технічних, економічних або інших обмежень, область існування системи звужується до допустимої області синтезу $E_D \subset E_C$ і $R_D \subset R_C$.

Надалі задача синтезу системи зводиться до вибору таких підмножин елементів $E \subset E_D$ і відношень $R \subset R_D$ із допустимих множин області існування, які забезпечують найефективніше (з точки зору обраних критеріїв) досягнення необхідних властивостей $P' \subset P$.

Формалізація множини найважливіших властивостей $P' = \{p_1, p_2, \dots, p_L\}$ (де L – кількість виділених властивостей) дозволяє одержати кількісні оцінки ступеня досягнення мети системи й у цьому сенсі може бути множиною часткових критеріїв ефективності. Серед найбільш загальних вимог, що

висуваються до об'єктів проектування, виробничих технологічних процесів і CALS-систем у цілому, виділяються надійність, оперативність, живучість, вартість (економічність).

Оцінка якості варіантів побудови об'єкта здійснюється на основі його функціонально-вартісного аналізу для одержання максимального співвідношення розміру ефекту від його функціонування Q і витрачених на це ресурсів C . Припустимо, що існують узагальнені оцінки ефекту і витрат ресурсів (вартості) на як систему

$$Q = F_1(E, R), \quad (4.12)$$

$$C = F_2(E, R), \quad (4.13)$$

де E, R – відповідно множини елементів і відношень між елементами системи.

Функціональний ефект об'єкта в загальному випадку є неубутною функцією від витрачених на його досягнення ресурсів (вартості) $\bar{Q} = F(\bar{C})$, де \bar{Q} й \bar{C} – узагальнені скалярні оцінки ефекту і витрат на створення та (або) експлуатацію об'єкта; F – оператор, що відображує стратегію використання ресурсів, обумовлену вибором варіанта побудови об'єкта $S \in S^*$. На ранніх етапах проектування постає завдання вибору варіанта побудови об'єкта за комплексним критерієм

$$S^o = \arg \underset{Q, C, F}{opt} \Theta(Q, C, F), \quad (4.14)$$

де $opt\Theta$ – оператор, що визначає конкретний вид критерію ефективності.

За умов заданих обмежень на показники ефекту і витрат задача синтезу об'єкта (4.14) на основі комплексного критерію може бути подана у формах:

$$S_1^o = \arg \max_{S \in S^*} (\bar{Q}(S) - \bar{C}(S) : \bar{Q}(S) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(S) \leq \bar{C}^*), \quad (4.15)$$

$$S_2^o = \arg \max_{S \in S^*} (\bar{Q}(S) / \bar{C}(S) : \bar{Q}(S) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(S) \leq \bar{C}^*), \quad (4.16)$$

де \bar{Q}^*, \bar{C}^* – граничні рівні наведених узагальнених оцінок ефекту і витрат на систему S ;

S^* – множина припустимих варіантів побудови системи S .

Окремими випадками задач (4.15) – (4.16) є задачі інженерного синтезу:

– за умов заданих обмежень на ресурси (вартість) вибрати варіант побудови об'єкта, який максимізуватиме приведений ефект

$$S_3^o = \arg \max_{S \in S^*} (\bar{Q}(S) : \bar{C}(S) \leq \bar{C}^*); \quad (4.17)$$

– за умов заданих обмежень на рівень ефекту вибрати варіант побудови об'єкта, який мінімізуватиме приведені витрати на його створення й (або) експлуатацію

$$S_4^o = \arg \min_{S \in S^*} (\bar{C}(S) : \bar{Q}(S) \geq \bar{Q}^*). \quad (4.18)$$

4.6 Побудова моделей за методом ідентифікації

Під ідентифікацією розуміють процес побудови найкращої у визначеному розумінні моделі за результатами спостереження за вхідними $u(t)$ і вихідними $y(t)$ сигналами об'єкта [54, 56].

Синтез математичної моделі передбачає необхідність розв'язання двох взаємопов'язаних задач: структурної та параметричної ідентифікації. Перша з них присвячена визначенню значущих факторів, які суттєво впливають на вихідні дані об'єкта, та визначенню структури моделі (виду оператора F_M , що встановлює зв'язок між вхідними $u_M(t)$ та вихідними $y_M(t)$ змінними моделі. Друга задача полягає у визначенні кількісних значень параметрів моделі q_M .

У загальному випадку процес ідентифікації об'єкта передбачає розв'язання таких задач:

- вибір класу та структури математичної моделі F_M об'єкта, що ідентифікується;
- вибір класу та типу вхідного сигналу $u(t)$;
- обґрунтування критерію подібності об'єкта та моделі;
- вибір методу ідентифікації та розробка алгоритмів оцінки параметрів об'єкта q ;
- перевірка адекватності отриманої моделі об'єкта.

Процес параметричної ідентифікації здійснюється таким способом (рис. 4.3). На вхід об'єкта подається відомий сигнал $u(t)$. Цей самий сигнал подається на вхід моделі, але через завади $\eta_M(t)$ вхідний сигнал моделі $u_M(t)$ є комбінацією $u(t)$ і $\eta_M(t)$. Оператор об'єкта $F[u, q, \eta]$ характеризується своєю структурою та m -вимірним вектором параметрів q . Модельний оператор об'єкта F_M характеризується структурою, m -вимірним вектором q_M параметрів і вектором похибок $\eta_M(t)$. Приведена до виходу об'єкта похибка $\eta(t)$ складається з двох частин $\eta_1(t)$ – похибка вимірювання та $\eta_2(t)$ – похибка

неточності задання моделі або неточності визначення оператора об'єкта. Похибка $\eta_2(t)$ частіше за все виникає через надмірне спрощення моделі.

Ефективність ідентифікації визначається критерієм подібності об'єкта і моделі K , який досягає глобального екстремуму у випадку еквівалентності $F(t)$ і $F_M(t)$. Критерій K прийнято формувати як функцію (функціонал) від значень виходів об'єкта $y(t)$ і моделі $y_M(t)$:

$$K[y(t), y_M(t)] = K[y(t), F_M[u_M(t), q_M(t), \eta_M(t)]] \rightarrow \underset{F_M \in \Omega_M, q_M \in Q_M}{extr}, \quad (4.19)$$

де Ω_M , Q_M – відповідно множини допустимих операторів і значень параметрів моделі.

Вичерпною характеристикою динамічних об'єктів є власні значення їх операторів (власні частоти об'єктів). У зв'язку з цим для забезпечення умов ідентифікованості необхідно: щоб вхідний сигнал об'єкта $u(t)$ збуджував усі коливання, що відповідають власним частотам об'єкта, а вихідний сигнал $y(t)$ містив достатньо інформації щодо власних частот об'єкта. Перша умова є умовою керованості об'єкта, а друга – умовою спостережуваності.

Методи розв'язання задач ідентифікації розрізняють: за виглядом моделей (функціональної ідентифікації – для об'єктів типу «чорний ящик» та параметричної ідентифікації – для об'єктів типу «сірий ящик»); за характером об'єктів, що ідентифікуються (лінійних і нелінійних, статичних і динамічних, одновимірних і багатовимірних, неперервних і дискретних об'єктів); за способом одержання інформації (пасивної та активної ідентифікації); за виглядом критерію подібності об'єкта і моделі.

Ідентифікація за методом найменших квадратів

Вихід моделі $y_M(t)$ формується на основі відомостей щодо класу функцій $F_M(t)$, серед яких необхідно визначати найкращу модель. Це потребує знання аналітичного опису моделі з точністю до скінченної кількості числа параметрів, що робить можливим використання різних методів оцінки і прийняття рішень. Частіше за все під час розв'язання задач ідентифікації використовують методи (за назвою критеріїв (4.19)) найменших квадратів, найменших зважених квадратів.

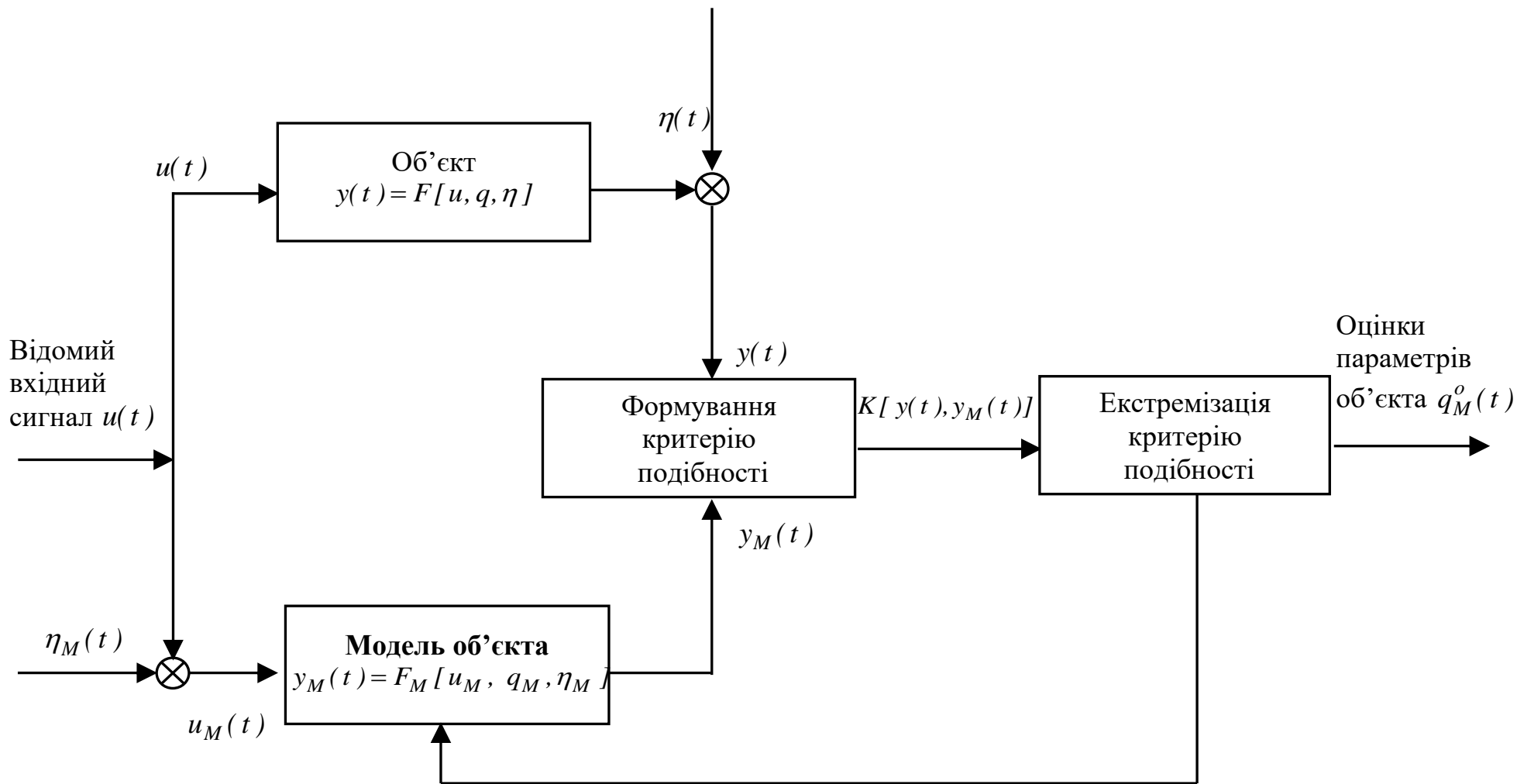


Рисунок 4.3 – Схема процесу параметричної ідентифікації

Нехай об'єкт моделювання типу «сірий ящик» є статичним, а його модель має вигляд:

$$y_M(t) = F_M [u_M(t), q_M, \eta_M(t)], \quad (4.20)$$

де $y_M(t)$ – вихідний сигнал моделі;

F_M – оператор моделі;

$u_M(t)$ – вхідний сигнал моделі;

q_M – вектор параметрів моделі;

$\eta_M(t)$ – вектор завад на вході моделі.

Входи і виходи об'єкта та моделі спостерігаються у дискретні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n і відповідно мають значення: $u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_n)$; $u_M(t_1), u_M(t_2), \dots, u_M(t_n)$; $y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)$ та $y_M(t_1), y_M(t_2), \dots, y_M(t_n)$. Тоді оцінки параметрів за методом найменших квадратів можуть бути визначені шляхом мінімізації критерію:

$$K [y(t), y_M(t)] = \sum_{i=1}^n \{ y(t_i) - F_M [u_M(t_i), q_M, \eta_M(t_i)] \}^2 \rightarrow \min_{q_M \in Q_M}, \quad (4.21)$$

де Q_M – множина допустимих значень параметрів моделі.

Наведений критерій передбачає однакову важливість (точність) спостережень на всьому інтервалі $[t_1, t_n]$. За наявності додаткової інформації щодо важливості спостережень у кожний із моментів часу t_1, t_2, \dots, t_n кращих результатів можна досягнути, використовуючи критерій найменших зважених квадратів:

$$K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \{ y(t_i) - F_M [u_M(t_i), q_M, \eta_M(t_i)] \} \times R_{ij} \times \{ y(t_j) - F_M [u_M(t_j), q_M, \eta_M(t_j)] \} \rightarrow \min_{q_M \in Q_M}, \quad (4.22)$$

де R_{ij} – елемент коваріаційної матриці, що враховує відносну вагу похибок вимірювань сигналів у моменти часу t_i та t_j .

З математичної точки зору задача параметричної ідентифікації зводиться до визначення оцінок параметрів q_M^o , значення яких мінімізують критерії (4.21) або (4.22). У багатьох випадках розв'язки вдається визначити безпосередньо, розв'язуючи системи нормальних рівнянь виду:

$$\frac{\partial K}{\partial q_{M1}} = 0; \quad \frac{\partial K}{\partial q_{M2}} = 0; \dots; \quad \frac{\partial K}{\partial q_{Mn}} = 0. \quad (4.23)$$

Наприклад, нехай об'єктом дослідження є одновимірна система типу «сірий ящик», об'єкт знаходиться у стані вільного руху (на вході об'єкта відсутні сигнали, тобто $u(t) = t$), а модель визначена як поліном ступеня k :

$$F_M = q_0 t^k + q_1 t^{k-1} + \dots + q_k. \quad (4.24)$$

18. Наведіть співвідношення для визначення стійкості розв'язків для моделей у вигляді систем лінійних алгебраїчних рівнянь.
19. Назвіть основні етапи моделювання систем.
20. У чому виявляється ітераційність процесу моделювання?
21. Що розуміють під формалізацією опису об'єктів моделювання?
22. Чим визначається множина властивостей об'єкта?
23. Сформулюйте задачі інженерного синтезу систем.
24. Дайте визначення поняття «ідентифікація об'єкта» у математичному моделюванні.
25. Які задачі розв'язуються у процесі ідентифікації об'єктів?
26. Дайте визначення структурної та параметричної ідентифікації.
27. За якими критеріями розв'язуються задачі ідентифікації?
28. Запишіть критерії найменших та найменших зважених квадратів.

5 ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У CALS-ТЕХНОЛОГІЯХ

5.1 Системний підхід до моделювання об'єктів

Для розв'язання задач аналізу й синтезу в CALS-системах застосовують класичний (індуктивний) або системний підходи [54, 57]. У межах класичного підходу об'єкт розглядається як система шляхом переходу від часткового до загального і синтезується (конструюється) шляхом злиття окремих компонентів, які розробляються роздільно. На відміну від нього, системний підхід передбачає послідовний перехід від загального до часткового, коли в основі розгляду лежить мета створення об'єкта.

Фахівці з проектування й експлуатації CALS-систем мають справу із об'єктами різних видів (проекти, вироби, технологічні процеси тощо), які мають бути ефективними. З урахуванням цього CALS-систему визначають як цілеспрямовані множини елементів, а зовнішнє середовище – як множину існуючих поза системою елементів будь-якої природи, що впливають на систему або перебувають під її впливом.

У системному підході до моделювання необхідно, насамперед, чітко визначити мету моделювання. Оскільки неможливо повністю змоделювати реально функціонуючий об'єкт (систему-оригінал S), відповідно до розв'язуваної задачі створюється його модель (система-модель). Стосовно моделювання мета визначається з необхідних задач дослідження, що дозволяє підійти до вибору критерію й оцінити, які елементи увійдуть у створювану модель M . Для цього необхідно мати критерій відбору окремих елементів для створюваної моделі.

У процесі моделювання структура об'єкта може вивчатися ззовні з погляду складу окремих підсистем і відношень між ними, а також зсередини, коли аналізуються окремі властивості, що дозволяють об'єкту досягати заданої мети, тобто коли вивчаються його функції. Відповідно до цього розрізняють структурний і функціональний підходи до дослідження об'єктів.

У межах структурного підходу виявляються склад виділених елементів об'єкта (системи S) і зв'язки між ними, тобто його структура. Остання залежно від мети дослідження може бути описана на різних рівнях деталізації. Найбільш загальним є топологічний опис структури, який дозволяє визначити в абстрактних поняттях складові об'єкта і добре формалізується на основі теорії

графів. Менш загальним є функціональний опис, коли розглядаються окремі функції, тобто алгоритми поведінки об'єкта, і здійснюється їх оцінка. Під функцією розуміють властивість об'єкта, що призводить до досягнення ним мети. Оскільки функція відображає властивість, а властивість відображає взаємодію об'єкта із зовнішнім середовищем, то властивості можуть бути виражені у вигляді або деяких характеристиках елементів і підсистем, або об'єкта загалом.

Прояв функцій системи в часі (функціонування) $S(t)$ означає її перехід із одного стану до іншого, тобто рух у просторі станів Z . Під час експлуатації системи S досить важливою є якість її функціонування, що оцінюється одним (частковим чи узагальненим) або множиною показників (критеріїв) ефективності.

Створювана модель M з позицій системного підходу може також розглядатися як система $S = S'(M)$. У межах класичного підходу, який може бути використаний лише в ході створення відносно простих моделей M , вивчення взаємозв'язків між окремими частинами моделі передбачає розгляд їх як відбиття зв'язків між окремими підсистемами об'єкта (рис. 5.1). Реальний об'єкт, що підлягає моделюванню, розбивається на окремі підсистеми, тобто вибираються вихідні дані D для моделювання й ставиться мета (ціль C), що відображає окремі сторони процесу моделювання. За окремою сукупністю вихідних даних D ставиться мета моделювання окремої сторони функціонування системи, на базі цієї мети формується деякий компонент K майбутньої моделі. Сукупність компонентів K поєднується в модель M .

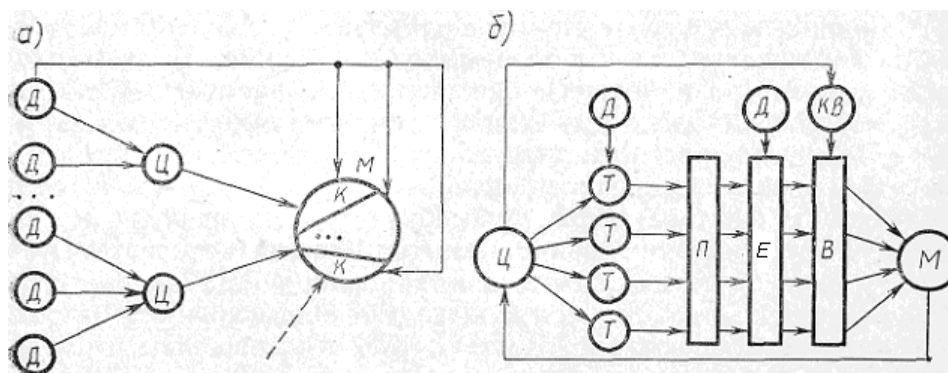


Рисунок 5.1 – Схеми процесів синтезу моделей на основі класичного (а) і системного (б) підходів

Класичний підхід може бути використаний лише для реалізації простих моделей, у яких можливий поділ і взаємно незалежний розгляд

окремих сторін функціонування реального об'єкта. У межах класичного підходу модель M утворюється шляхом об'єднання окремих її компонентів і не враховується виникнення нового системного ефекту.

У межах системного підходу дослідник (розробник) розглядає об'єкт як деяку підсистему метасистеми, тобто системи більш високого рангу. На виникнення системного підходу вплинули суттєве збільшення кількості вхідних даних, що виникають у процесах розробки й експлуатації складних об'єктів, необхідність врахування складних стохастичних внутрішніх зв'язків і впливів зовнішнього середовища. Це потребує вивчення складного об'єкта не ізольовано, а у взаємодії із зовнішнім середовищем та з іншими системами деякої метасистеми.

Процес синтезу моделі M на базі системного підходу передбачає, що на основі вихідних даних D , які відомі з аналізу зовнішньої системи, тих обмежень, які накладаються на систему зверху або виходячи з можливостей її реалізації, і на основі мети функціонування формулюються вихідні вимоги T до моделі. На базі цих вимог формуються орієнтовно деякі підсистеми P , елементи E та здійснюється найбільш складний етап синтезу – вибір B складових системи, для чого використовуються спеціальні критерії вибору KB .

На базі системного підходу може бути запропонована і деяка послідовність розробки моделей, коли виділяють дві основні стадії проектування: макропроектування й мікропроектування.

На *стадії макропроектування* на основі даних про об'єкт і зовнішнє середовище будується модель зовнішнього середовища, виявляються ресурси й обмеження для побудови моделі системи, вибирається модель системи і критерії, що дозволяють оцінити адекватність моделі M об'єкта дослідження. Побудувавши модель об'єкта (наприклад, CALS-системи) і модель зовнішнього середовища, на основі критерію ефективності функціонування об'єкта в процесі моделювання вибирають оптимальну стратегію керування ним, що дозволяє реалізувати можливості моделі з відтворення окремих сторін функціонування об'єкта.

Стадія мікропроектування значною мірою залежить від конкретного типу обраної моделі. У випадку імітаційної моделі необхідно забезпечити створення інформаційного, математичного, технічного і програмного забезпечень системи моделювання. На цій стадії можна встановити основні характеристики створеної моделі, оцінити час роботи з нею і витрати ресурсів для одержання заданої якості відповідності моделі процесу функціонування об'єкта.

Модель M має відповідати визначеній меті її створення, тому її окремі частини мають компонуватися взаємно, виходячи з єдиної системної задачі. Мета може бути сформульована якісно, тоді вона матиме більшу змістовність і тривалий час може відображати об'єктивні можливості системи моделювання. В процесі кількісного формулювання мети виникає цільова функція, яка точно відображує найбільш істотні фактори, що впливають на досягнення мети.

5.2 Типові математичні схеми

Вихідною інформацією у побудові математичних моделей процесів функціонування СALS-систем чи об'єктів слугують дані про їх призначення й умови роботи. Ця інформація визначає основну мету моделювання і дозволяє сформулювати вимоги до розроблюваної математичної моделі M . Рівень абстрагування залежить від переліку питань, на які дослідник об'єкта хоче одержати відповідь за допомогою моделі. На перших етапах дослідження об'єкта вводиться поняття його *математичної схеми* [54, 57]. Воно дозволяє розглядати математику не як метод розрахунку, а як метод мислення та засіб формулювання понять, що є найважливішим з переходом від словесного опису об'єкта до формального подання процесу його функціонування у вигляді деякої математичної моделі (аналітичної або імітаційної).

Кожен об'єкт дослідження характеризується набором властивостей, що визначають його поведінку й особливості функціонування у взаємодії із зовнішнім середовищем. Ступінь повноти і зміст моделі визначається, в основному, вибором границі «об'єкт (система) – середовище». Модель об'єкта можна подати у вигляді множини величин, що описують процес його функціонування:

- сукупність вхідних впливів на об'єкт $x_i \in X, i = \overline{1, n_X}$;
- сукупність впливів зовнішнього середовища $v_j \in V, j = \overline{1, n_V}$;
- сукупність внутрішніх (власних) параметрів об'єкта $h_i \in H, i = \overline{1, n_H}$;
- сукупність вихідних характеристик об'єкта $y_i \in Y, i = \overline{1, n_Y}$.

У наведених множинах виділяють керовані та некеровані змінні. У загальному випадку x_i, v_i, h_i, y_i є елементами непересічних підмножин і містять як детерміновані, так і стохастичні складові. У процесі моделювання вхідні впливи, впливи зовнішнього середовища та внутрішні

параметри об'єкта розглядаються як незалежні (*екзогенні*) змінні, які у векторній формі можна подати у вигляді: $\vec{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_{n_X}(t)]$; $\vec{v}(t) = [v_1(t), v_2(t), \dots, v_{n_V}(t)]$; $\vec{h}(t) = [h_1(t), h_2(t), \dots, h_{n_H}(t)]$. Усі вихідні характеристики об'єкта є залежними (*ендогенними*) змінними й у векторній формі мають вигляд: $\vec{y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_{n_Y}(t)]$.

Процес функціонування об'єкта описується в часі оператором F , що у загальному випадку перетворює екзогенні змінні в ендогенні

$$\vec{y}(t) = F[\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t]. \quad (5.1)$$

Сукупність залежностей вихідних характеристик об'єкта від часу для всіх видів $y_i(t)$, $i = \overline{1, n_Y}$, називається вихідною траєкторією $\vec{y}(t)$. Залежність (5.1) називається законом функціонування об'єкта. У загальному випадку закон функціонування об'єкта може бути заданий у вигляді функції, функціонала, логічних умов, в алгоритмічній і табличній формах або у вигляді словесного правила відповідності. Метод одержання вихідних характеристик об'єкта $\vec{y}(t)$ на основі вхідних впливів $\vec{x}(t)$, впливів зовнішнього середовища $\vec{v}(t)$ і його власних параметрів $\vec{h}(t)$ називають алгоритмом його функціонування A . Закон функціонування об'єкта F може бути реалізований різними способами (алгоритмами функціонування) A .

Відношення (5.1) є математичним описом поведінки об'єкта (системи) моделювання в часі t , що відображає його динамічні властивості, і може розглядатися як динамічна модель. Для статичних моделей співвідношення (5.1) спрощується і має вигляд:

$$\vec{y}(t) = F[\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}]. \quad (5.2)$$

Співвідношення (5.1) і (5.2) у ряді випадків можуть бути отримані через властивості об'єкта у конкретні моменти часу (його стани): $\vec{z}(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_{n_Z}(t)]$, $t \in (t_0, T)$. Процес функціонування об'єкта можна розглядати як послідовну зміну його станів $z_1(t), z_2(t), \dots, z_{n_Z}(t)$ або траєкторію руху точки у (n_Z+1) -вимірному фазовому просторі. Сукупність усіх можливих значень станів $\{\vec{z}\}$ називається простором станів об'єкта моделювання Z .

Стан об'єкта у момент часу t повністю визначається початковими умовами $\vec{Z}^0 = \vec{z}(t_0)$, вхідними впливами $\vec{x}(t)$, внутрішніми параметрами

$\vec{h}(t)$, впливами зовнішнього середовища $\vec{v}(t)$, які мали місце за проміжок часу $t - t_0$, за допомогою таких векторних рівнянь:

$$\begin{aligned}\vec{z}(t) &= \Psi[\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t], \\ \vec{y}(t) &= F[\vec{z}, t]\end{aligned}\quad (5.3)$$

або

$$\vec{y}(t) = F[\Psi(\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t)]. \quad (5.4)$$

З урахуванням цього математичну модель об'єкта можна розглядати як скінченну множину змінних $\{\vec{x}(t), \vec{v}(t), \vec{h}(t)\}$ разом із математичними зв'язками між ними та характеристиками $\vec{y}(t)$. При цьому час t на інтервалі моделювання (t_0, T) може змінюватися як дискретно, так і неперервно, а змінні $\vec{x}(t)$, $\vec{v}(t)$, $\vec{h}(t)$ можуть бути як детермінованими, так і стохастичними.

Наведені співвідношення (5.1) – (5.4) є досить загальними математичними схемами, що дозволяють описувати широкий клас об'єктів, і не можуть бути безпосередньо використані для одержання конкретних (кількісних) результатів. Для цього на практиці використовують менш універсальні, але більш прості та наочні типові математичні схеми, що пов'язані з відповідними підходами до моделювання об'єктів:

- *D-схеми* (неперервно-детермінований підхід);
- *F-схеми* (дискретно-детермінований підхід);
- *P-схеми* (дискретно-стохастичний підхід);
- *Q-схеми* (неперервно-стохастичний підхід);
- *A-схеми* (універсальний підхід).

5.3 Неперервно-детермінований підхід

У межах неперервно-детермінованого підходу змінні вхідного впливу $\vec{x}(t)$, впливу зовнішнього середовища $\vec{v}(t)$ і власні параметри $\vec{h}(t)$ об'єкта вважаються детермінованими і такими, що змінюються у неперервному часі t . Найбільш загальним видом моделей, що використовуються у межах цього підходу, є диференціальні моделі. Такі математичні схеми подаються у вигляді систем диференціальних рівнянь. Вони описують динаміку об'єктів і мають назву *D-схем* (від англ. *dynamics*) [54, 57].

У найпростішому випадку звичайне диференціальне рівняння як модель динаміки має вигляд:

$$\vec{y}' = \vec{f}(\vec{y}, t), \quad \vec{y}(t_0) = \vec{y}^0, \quad (5.5)$$

де $\vec{y}' = \frac{d\vec{y}}{dt}$, $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, $\vec{f} = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ – n -вектори;

$\vec{f}(\vec{y}, t)$ – вектор-функція, що визначена у $(n+1)$ -вимірному просторі та є неперервною.

Найбільш важливим для системотехніки є застосування D -схем як математичного апарату в теорії автоматичного управління. Традиційно керований об'єкт подається у вигляді двох підсистем: керованої та керуючої (регулятора) (рис. 5.2).

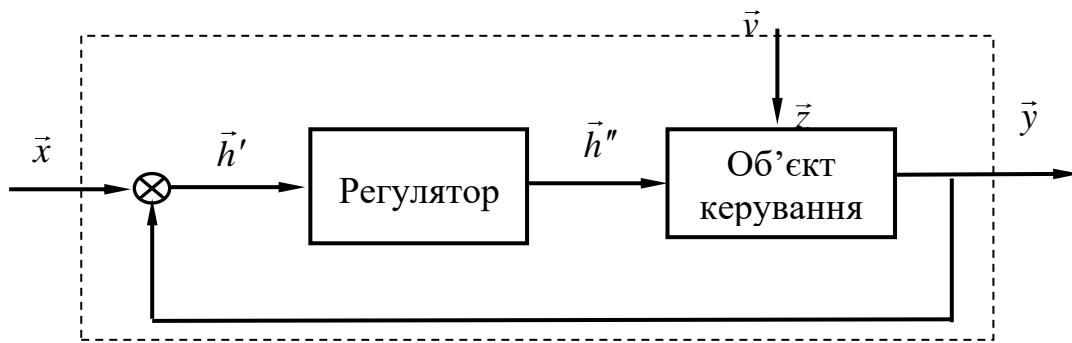


Рисунок 5.2 – Структурна схема керованого об'єкта

Для таких об'єктів математична модель динаміки може бути подана у вигляді:

$$\vec{y}'(t) = \vec{F}(\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, \vec{z}, \vec{y}, t), \quad \vec{y}(t_0) = \vec{y}^0, \quad (5.6)$$

де $\vec{y} = \vec{y}(t)$, $\vec{x} = \vec{x}(t)$, $\vec{v} = \vec{v}(t)$, $\vec{h} = \vec{h}(t)$ – відповідно вектори вихідних, вхідних сигналів, впливу зовнішнього середовища, власних параметрів $\vec{h}(t) = [\vec{h}'(t), \vec{h}''(t)]$;

\vec{F} – вектор-функція;

t – змінна часу.

Кількість рівнянь системи та значення параметрів у моделях динаміки (5.6) визначаються особливостями зовнішнього середовища, об'єкта і системи керування. Дослідження моделей у межах неперервно-детермінованого підходу здійснюється засобами аналітичного, імітаційного або комбінованого моделювання.

5.4 Дискретно-детермінований підхід

У межах дискретно-детермінованого підходу змінні вхідного впливу $\vec{x}(t)$, впливу зовнішнього середовища $\vec{v}(t)$ і власні параметри $\vec{h}(t)$ об'єкта вважаються детермінованими і такими, що змінюються у дискретному часі t . Цей підхід покладено в основу математичного апарату теорії автоматів. На основі цієї теорії об'єкт подається у вигляді автомата, що переробляє дискретну інформацію і змінює свої внутрішні стани лише в допустимі моменти часу [54, 57].

Скінченним називається автомат, у якого множина внутрішніх станів, вхідних і вихідних сигналів є скінченними множинами. Формально скінченний автомат (англ. *finite automat*) можна подати як математичну схему (F -схему), що характеризується шістьма елементами:

- скінченною множиною вхідних сигналів (вхідним алфавітом) X ;
- скінченною множиною вихідних сигналів (вихідним алфавітом) Y ;
- скінченною множиною внутрішніх станів (внутрішнім алфавітом або алфавітом станів) Z ;
- початковим станом $z_0 \in Z$;
- функцією переходів $\varphi(z, x)$;
- функцією виходів $\psi(z, x)$.

Автомат, що задається F -схемою $F = \langle X, Y, Z, z_0, \varphi, \psi \rangle$, функціонує в дискретному автоматному часі, моментами якого є такти, за такою схемою: у кожному t -му такті на вхід автомата, що перебуває в стані $z(t)$, подається деякий сигнал $x(t)$, на який він реагує переходом у $(t+1)$ -му такті в новий стан $z(t+1)$ з видачою деякого вихідного сигналу.

Система рівнянь, що описує роботу автомата 1-го роду (автомата Мілі), має вигляд:

$$z(t+1) = \varphi[z(t), x(t)], \quad y(t) = \psi[z(t), x(t)], \quad t=0, 1, 2, \dots \quad (5.7)$$

Відповідна система рівнянь для автомата 2-го роду має вигляд:

$$z(t+1) = \varphi[z(t), x(t)], \quad y(t) = \psi[z(t), x(t-1)], \quad t=0, 1, 2, \dots \quad (5.8)$$

Автомат 2-го роду, для якого $y(t) = \psi[z(t)]$, тобто функція виходів не залежить від вхідної змінної, називається автоматом Мура.

Закон функціонування детермінованого скінченного автомата може бути поданий у табличному, матричному або графічному вигляді.

У табличному і матричному способі задання кінцевого автомата рядки відповідають вхідним сигналам автомата, а стовпці – його станам (табл. 5.1). На перетині i -го рядка та j -го стовпця таблиці переходів міститься відповідне

значення $\varphi[z_i, x_j]$ функції переходів, а в таблиці виходів – відповідне значення $\psi[z_i, x_j]$ функції виходів.

Спрямований граф автомата є набором вершин, що відповідають різним станам автомата і з'єднуючих їх дуг, які відповідають переходам автомата (рис. 5.3).

Таблиця 5.1 – Таблиці переходів і виходів автомата Мілі

Входи	Стани автомата			Стани автомата		
	z_0	z_1	z_2	z_0	z_1	z_2
x_1	z_2	z_0	z_0	y_1	y_1	y_2
x_2	z_0	z_2	z_1	y_1	y_2	y_1

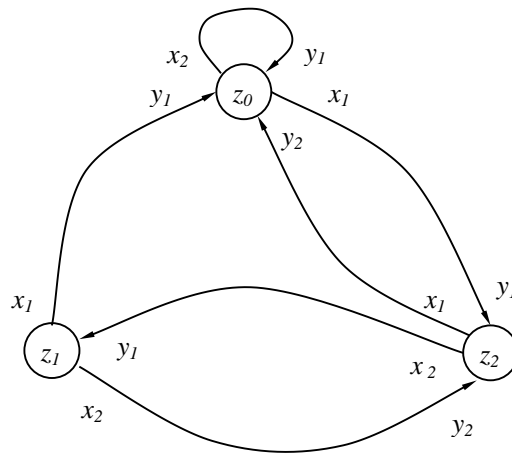


Рисунок 5.3 – Граф автомата Мілі, що поданий таблицею 5.1

Дослідження моделей у межах дискретно-детермінованого підходу здійснюється засобами імітаційного моделювання.

5.5 Дискретно-стохастичний підхід

У межах дискретно-стохастичного підходу вхідний вплив $\vec{x}(t)$, вплив зовнішнього середовища $\vec{v}(t)$ і власні параметри $\vec{h}(t)$ об'єкта подаються стохастичними змінними у дискретному часі t , а моделі – у вигляді імовірнісних (стохастичних) автоматів або так званих P -схем (від англ. *probabilistic automat*) [54, 57].

Імовірнісний автомат визначається як дискретний потактний перетворювач інформації з пам'яттю, функціонування якого в кожному такті залежить тільки від стану пам'яті в ньому і може бути описане статистично.

Введемо математичне поняття P -автомата, використовуючи поняття, уведені для детермінованого скінченного автомата (F -схеми).

Позначимо через $G = \{ \langle x_i, z_s \rangle \}$ множину різних пар $\{ \langle x_i, z_s \rangle \}$ (де x_i – елементи вхідної множини X , а z_s – елементи множини станів Z), а через $\Phi = \{ \langle z_k, y_j \rangle \}$ – множину різних пар $\langle z_k, y_j \rangle$ (де z_k – елементи множини станів Z , а y_j – елементи вихідної множини Y).

Нехай будь-який елемент множини G визначає на множині Φ деякий закон розподілу (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Закон розподілу ймовірностей для P -автомата

Елементи Φ	$\langle z_1, y_1 \rangle$	$\langle z_1, y_2 \rangle$...	$\langle z_K, y_J \rangle$
$\langle x_i, z_s \rangle$	b_{11}	b_{12}	...	b_{KJ}

При цьому $\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J b_{kj} = 1$, де b_{kj} – імовірності переходу автомата із

стану z_s у стан z_k з видачою сигналу y_j з надходженням на його вхід сигналу x_i .

Позначимо множину розподілів, поданих у табл. 5.2, через B (кількість розподілів дорівнює кількості елементів у множині G). Тоді імовірнісний P -автомат формально може бути поданий у такому вигляді:

$$P = \langle X, Y, Z, B \rangle. \quad (5.9)$$

Частковими випадками P -автомата є автомати, у яких або перехід у новий стан z_k , або вихідний сигнал y_j визначаються детерміновано. Якщо вихідний сигнал P -автомата y_j визначається детерміновано, то такий автомат називається Y -детермінованим імовірнісним автоматом. Аналогічно, Z -детермінованим імовірнісним автоматом називається такий P -автомат, у якого вибір нового стану z_k є детермінованим.

Законо функціонування імовірнісних автоматів також можуть бути подані у табличному, матричному або графічному вигляді. Дослідження моделей у межах дискретно-стохастичного підходу здійснюється засобами аналітичного, імітаційного або комбінованого моделювання.

5.6 Неперервно-стохастичний підхід

Особливості неперервно-стохастичного підходу розглянемо на прикладі використання як типових математичних схем систем масового обслуговування, які називатимемо Q -схемами (від англ. *queueing system*) [54, 57].

Системи масового обслуговування є класом математичних схем, розроблених у теорії масового обслуговування, і різних додатків для формалізації процесів функціонування систем, які за своєю суттю є процесами обслуговування.

Характерним для роботи таких об'єктів є стохастичний характер процесу їхнього функціонування, тобто випадкова поява заявок (вимог) на обслуговування і завершення обслуговування у випадкові моменти часу.

У будь-якому елементарному акті обслуговування можна виділити дві основні складові: очікування обслуговування заявкою і власне обслуговування заявки. Це можна зобразити у вигляді деякого i -го приладу обслуговування Π_i , що складається з накопичувача заявок H_i , у якому може водночас перебувати $l_i = \overline{0, L_i}$ заявок, де L_i – ємність i -го накопичувача, та каналу обслуговування заявок K_i (рис. 5.4). На елементи приладу обслуговування Π_i надходять потоки подій: у накопичувач H_i – потік заявок w_i ; на канал K_i – потік обслуговувань u_i .

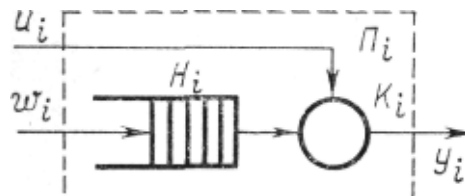


Рисунок 5.4 – Структурна схема обслуговуючого приладу

Потоком подій називається послідовність подій, що відбуваються одна за іншою у випадкові моменти часу. Розрізняють потоки однорідних і неоднорідних подій. Потік подій називається однорідним, якщо він характеризується тільки моментами надходження (настання) цих подій. Потік неоднорідних подій характеризується не тільки моментами настання, але й ознаками (приналежність до того або іншого джерела заявок, наявність пріоритету, можливість обслуговування тим або іншим каналом тощо) подій.

Процес функціонування приладу обслуговування Π_i можна подати як процес зміни станів його елементів у часі $z_i(t)$. Перехід у новий стан для Π_i означає зміну кількості заявок, які в ньому перебувають (у каналі K_i та в накопичувачі H_i). Таким чином, вектор станів для Π_i має вигляд $\vec{z}_i = (z_i^H, z_i^K)$, де z_i^H – стан накопичувача; z_i^K – стан каналу ($z_i^K = 0$ – канал вільний, $z_i^K = 1$ – канал зайнятий).

Під час моделювання більшості технічних об'єктів для формалізації використовуються не окремі прилади обслуговування, а їх сукупності. Якщо канали K_i різних приладів обслуговування з'єднані паралельно, то має місце багатоканальне обслуговування (багатоканальна Q -схема), а якщо прилади P_i та їхні паралельні композиції з'єднані послідовно, то має місце багатofазне обслуговування (багатofазна Q -схема). Таким чином, для задання Q -схеми необхідно використати оператор сполучення R , що відображує взаємозв'язок елементів структури (каналів і накопичувачів) між собою.

Розрізняють розімкнуті й замкнуті Q -схеми. У розімкнутій Q -схемі вихідний потік обслугованих заявок не може знову надійти на будь-який елемент (зворотний зв'язок відсутній), а в замкнутих Q -схемах є зворотні зв'язки, за якими заявки рухаються в напрямку, зворотному руху вхід-вихід.

Власними (внутрішніми) параметрами Q -схеми H будуть кількість фаз обслуговування, кількість каналів на кожній фазі, кількість накопичувачів кожної фази, ємності накопичувачів.

Для задання Q -схеми також необхідно описати алгоритми її функціонування A , які визначають набір правил поведінки заявок у системі в різних неоднозначних ситуаціях. Залежно від місця виникнення таких ситуацій розрізняють алгоритми (дисципліни) очікування заявок у накопичувачі H_i й обслуговування заявок каналом K_i кожного елементарного обслуговуючого приладу P_i Q -схеми. Неоднорідність заявок, що відображує процеси, які мають місце на реальному об'єкті, враховується за допомогою введення класів пріоритетів.

Таким чином, Q -схема, що описує процес функціонування системи масового обслуговування будь-якої складності, однозначно задається у вигляді:

$$Q = \langle W, U, H, Z, R, A \rangle, \quad (5.10)$$

де W – вхідний потік вимог (закон розподілу і параметри);

U – потік обслуговувань (закон розподілу і параметри);

H – множина внутрішніх параметрів;

Z – множина станів елементів структури;

R – оператор, який задає взаємозв'язок елементів Q -схеми;

A – оператор, який задає алгоритми функціонування Q -схеми.

Відносно прості Q -схеми досліджуються за допомогою аналітичних моделей теорії масового обслуговування. Q -схеми, що описують поведінку більш складних об'єктів, досліджуються за допомогою імітаційного статистичного моделювання.

5.7 Мережний підхід

Для математичного опису процесів функціонування дискретних об'єктів з паралельно та асинхронно взаємодіючими процесами розроблено мережний підхід на основі мереж Петрі (*K. Petri*) [54, 57].

Мережа Петрі моделює процеси, що подаються у вигляді послідовності подій. Вона подається у вигляді дводольного орієнтованого графа, який складається з вершин двох видів: позицій і переходів. Позиції відображують умови настання подій, а переходи – власне події. Достатні умови настання подій подаються шляхом розмітки (маркування) позицій мережі.

Вважається, що події настають миттєво і у різний час. Кожній події відповідає перехід мережі. Подія відбувається, якщо виконуються певні умови. Кожній із умов відповідає певна позиція. Виконання умов відображується за допомогою маркерів (фішок), що позначаються у вигляді точок у середині відповідних позицій. Кількість можливих станів мережі визначається кількістю її можливих маркувань (розподілів маркерів за позиціями).

Моделювання мережею Петрі відображується переміщенням маркерів між позиціями p_i . Послідовність подій відображується як послідовність спрацювань (збуджень, запусків) переходів u_j . Подія j настає (перехід u_j спрацьовує), якщо маркери присутні у всіх вхідних позиціях p_i переходу. Здійснення події j відображується у вилученні маркерів із усіх вхідних позицій переходу u_j та поміщенні його у всі вихідні позиції цього переходу.

Формально мережа Петрі (N -схема, від англ. *Net* – мережа) подається як кортеж, що має такий вигляд:

$$N = \langle P, U, F, H, M_0 \rangle, \quad (5.11)$$

де $P = \{p_i\}$ – скінченна непорожня множина позицій;

$U = \{u_j\}$ – скінченна непорожня множина переходів;

$F = P \times U \rightarrow \{0, 1\}$ – вхідна функція інцидентності, яка вказує на наявність дуг, що пов'язують позиції з переходами;

$H = U \times P \rightarrow \{0, 1\}$ – вихідна функція інцидентності, яка вказує на наявність дуг, що пов'язують переходи з позиціями;

M_0 – початкова розмітка мережі, $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$, яка визначає початкове розміщення маркерів на позиціях мережі.

Наприклад, у моделюванні простої обчислювальної системи у межах цього підходу мережа Петрі може бути подана такими множинами (рис. 5.5): умови (позиції): p_1 – «у вхідній черзі є завдання»; p_2 – «розв'язання закінчено»; p_3 – «процесор вільний»; p_4 – «у вихідній черзі є завдання»; переходи:

u_1 – поява завдання на вході обчислювальної системи; u_2 – початок розв’язання; u_3 – закінчення розв’язання; u_4 – вихід завдання з обчислювальної системи.

Для розглянутої мережі її параметри мають такі значення:

- множина позицій $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$;
- множина переходів $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$;
- вхідна функція інцидентності $F = P \times U$ (табл.5.3);
- вихідна функція інцидентності $H = U \times P$ (табл. 5.3);
- початкова розмітка мережі $M_0 = \{3, 0, 1, 0\}$.

На практиці використовують численні різновиди мереж Петрі, наприклад:

- часові (враховують детерміновані або стохастичні затримки з переміщенням маркерів як на позиціях, так і на переходах);
- стохастичні (враховують випадкові затримки та ймовірності спрацювання переходів);
- кольорові (для відображення потоків різних видів за допомогою різних маркерів).

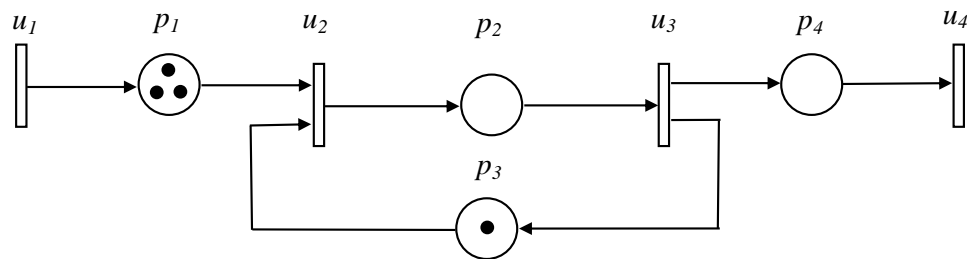


Рисунок 5.5 – Мережа Петрі для моделювання обчислювальної системи

Таблиця 5.3 – Вхідна та вихідна функції інцидентності

F	u_1	u_2	u_3	u_4	H	p_1	p_2	p_3	p_4
p_1	0	1	0	0	u_1	1	0	0	0
p_2	0	0	1	0	u_2	0	1	0	0
p_3	0	1	0	0	u_3	0	0	1	1
p_4	0	0	0	1	u_4	0	0	0	0

Для дослідження процесів функціонування об’єктів на моделях у вигляді мереж Петрі використовуються засоби імітаційного моделювання.

5.8 Універсальний підхід

У межах універсального підходу існує можливість описувати процеси функціонування неперервних і дискретних, детермінованих і стохастичних об'єктів. Цей підхід базується на понятті агрегативної системи (від англ. *Aggregate system*), що є формальною схемою загального вигляду (*A*-схему) [54, 57].

З агрегативному описі складний об'єкт (система) розбивається на скінченну кількість частин (підсистем), зберігаючи при цьому зв'язки, що забезпечують їхню взаємодію. Внаслідок такої декомпозиції складна система подається у вигляді багаторівневої конструкції із взаємозалежних елементів, об'єднаних у підсистеми різних рівнів. Елементами *A*-схеми виступають агрегати, а зв'язки між агрегатами (всередині системи та із зовнішнім середовищем) здійснюються за допомогою оператора сполучення *R*. Очевидно, що агрегат сам може розглядатися як *A*-схема, тобто може розбиватися на елементи (агрегати) наступного рівня.

Кожен із агрегатів характеризується такими множинами: моментів часу *T*, вхідних сигналів *X*, вихідних сигналів *Y*, станів *Z* у кожен момент часу *t*. Стан агрегату в момент часу $t \in T$ позначається як $z(t) \in Z$, вхідні й вихідні сигнали як $x(t) \in X$ і $y(t) \in Y$ відповідно.

Вважається, що перехід агрегату зі стану $z(t_1)$ у стан $z(t_2) \neq z(t_1)$ визначаються власними (внутрішніми) параметрами самого агрегату $h(t) \in H$ і вхідними сигналами $x(t) \in X$ та відбувається за малий інтервал часу, тобто має місце стрибок δz . Моменти стрибків станів δz називають особливими моментами часу t_δ , а стани $z(t_\delta)$ – особливими станами *A*-схеми.

У початковий момент часу t_0 агрегат знаходиться у стані $z^0 = z(t_0)$, що задається законом розподілу процесу $z(t)$ у момент часу t_0 . Процес функціонування агрегату у випадку надходження вхідного сигналу $x(t_n)$ описується випадковим оператором *V*:

$$z(t_n+0) = V[t_n, z(t_n), x(t_n)]. \quad (5.12)$$

Якщо інтервал часу (t_n, t_{n+1}) не містить жодного моменту надходження сигналів, то для $t \in (t_n, t_{n+1})$ стан агрегату визначається випадковим оператором *U* відповідно до співвідношення:

$$z(t) = U[t, t_n, z(t_n+0)]. \quad (5.13)$$

Стрибки станів δz можуть відбуватися і в моменти часу, що не є моментами надходження вхідних сигналів. Для опису стрибків станів у особливі моменти часу t_δ використовується випадковий оператор *W*, що є окремим випадком оператора *U*, тобто:

$$z(t_\delta+0) = W[t_\delta, z(t_\delta)]. \quad (5.14)$$

У множині станів Z виділяється така підмножина Z^Y , що якщо $z(t_\delta)$ досягає Z^Y , то цей стан є моментом видачі вихідного сигналу, обумовленого оператором виходів G :

$$y = G[t_\delta, z(t_\delta)]. \quad (5.15)$$

Таким чином, формально агрегат визначається упорядкованою сукупністю розглянутих множин:

$$A = \langle T, X, Y, Z, Z^Y, H, V, U, W, G \rangle. \quad (5.16)$$

Існує велика кількість об'єктів, які через їх складність не можуть бути формалізовані у вигляді окремих агрегатів, тому їх формалізують деякою конструкцією з окремих агрегатів $A_n, n = \overline{1, n_A}$, що називають агрегативною системою. Для опису реальної системи S у вигляді A -схеми необхідно мати опис як окремих агрегатів A_n , так і зв'язків між ними (рис. 5.6).

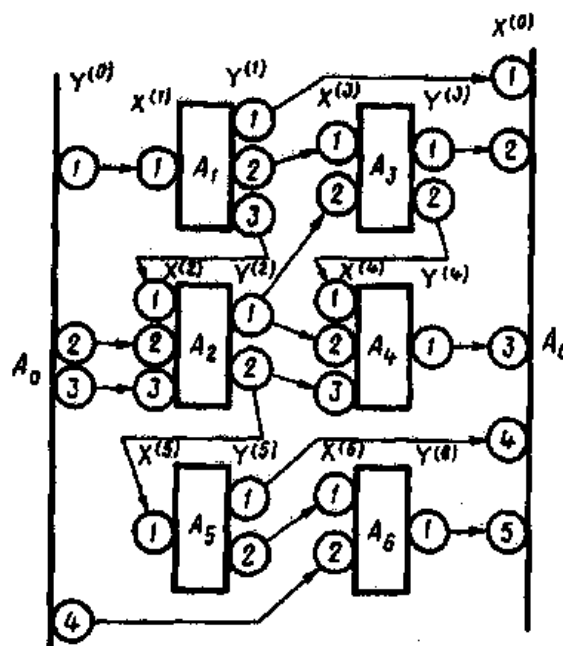


Рисунок 5.6 – Структура агрегативної системи

Уся інформація, що циркулює в A -схемі, ділиться на зовнішню і внутрішню. Зовнішня інформація надходить від зовнішніх об'єктів, що не є елементами розглянутої схеми, а внутрішня інформація виробляється агрегатами самої A -схеми. Весь обмін інформацією між A -схемою і зовнішнім середовищем E відбувається через агрегати, які називаються полюсами A -схеми. При цьому розрізняють входні (агрегати A_1, A_2, A_6) і вихідні (агрегати A_1, A_3, A_4, A_5, A_6) полюси A -схеми. Агрегати, що не є полюсами, називаються внутрішніми.

Кожен n -й агрегат A -схеми A_n має вхідні контакти, на які надходить сукупність елементарних сигналів $x_i(t)$, $i = \overline{1, I_n}$, що водночас виникають на вході елемента, і вихідні контакти, з яких знімається сукупність елементарних сигналів $y_j(t)$, $j = \overline{1, J_n}$.

Під час опису взаємодії між агрегатами вводяться такі припущення:

– взаємодія між A -схемою і зовнішнім середовищем E , а також між окремими агрегатами усередині системи S здійснюється лише з передачею сигналів (взаємні впливи, що мають місце поза механізмом обміну сигналами, не враховуються);

– для опису сигналу достатньо деякого скінченного набору характеристик;

– елементарні сигнали миттєво передаються в A -схемі незалежно один від одного елементарними каналами;

– до вхідного контакту будь-якого елемента A -схеми підключається не більше одного елементарного каналу, до вихідного контакту – будь-яка скінченна кількість елементарних каналів.

Зовнішнє середовище E у схемі взаємодії з агрегативною системою можна подавити у вигляді фіктивного елемента системи A_0 , що також має вхідні й вихідні контакти.

Дослідження процесів функціонування відносно простих A -схем здійснюється засобами аналітичного моделювання, а більш складних – засобами імітаційного моделювання.

5.9 Контрольні запитання та завдання

1. У чому полягає відмінність схем синтезу моделей на основі класичного і системного підходів?

2. Дайте визначення математичної схеми. Опишіть її місце у процесі моделювання.

3. Чим визначається стан об'єкта у конкретний момент часу?

4. За якими ознаками виділяються типові математичні схеми?

5. Наведіть структурну схему керованого об'єкта.

6. Якими рівняннями подаються моделі D-схем?

7. Як формально подається об'єкт у межах дискретно-детермінованого підходу?

8. У чому відмінність моделей, що описують роботу детермінованих скінченних автоматів 1-го роду і 2-го роду?

9. Якими способами задаються детерміновані скінченні автомати?
10. Дайте визначення Y - та Z -детермінованого імовірнісного автомата.
11. Якими методами досліджуються P -схеми?
12. Наведіть формальне подання Q -схеми.
13. Чим визначається стан Q -схеми?
14. Як формально подається мережа Петрі?
15. За яких умов настають події у мережі Петрі?
16. Як формально подається агрегат?
17. Дайте визначення полюса агрегата.
18. Які припущення вводяться під час опису взаємодії між агрегатами?

6 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

6.1 Проблема багатокритеріальної оптимізації

На всіх етапах проектування й експлуатації CALS-систем виникає необхідність розв'язання задач прийняття рішень. Задачі прийняття рішень традиційно формалізуються в термінах «умови – мета». При цьому «умови» розглядаються як множина станів об'єкта й операторів, що переводять його з одного стану в інший, а «мета» – як бажаний стан об'єкта. Формально задача полягає у виборі альтернативи $x \in X$, що призводить до деякого наслідку (результату) $u \in U$ (U – множина можливих наслідків). Ефективність рішення (розв'язку) визначається ступенем відповідності отриманого наслідку $u \in U$ поставленій меті й оцінюється за множиною показників (критеріїв) [54, 58].

Основними класами задач прийняття рішень є:

– *задача в умовах визначеності* – коли кожна альтернатива $x \in X$ призводить до єдиного наслідку $u \in U$, тобто існує детермінована залежність наслідків від альтернатив;

– *задача в умовах ризику* – коли кожна з альтернатив $x \in X$ може призводити до одного з декількох наслідків $u \in U_x$ з певною ймовірністю;

– *задача в умовах невизначеності* – коли кожна з альтернатив $x \in X$ може призводити до одного з декількох наслідків $u \in U_x$, причому відсутня навіть стохастична залежність наслідків від альтернатив.

У процесі розв'язання проблема прийняття рішень розглядається як система *Pr*:

$$Pr = \langle Tasks, Rels \rangle, \quad (6.1)$$

де *Tasks* – множина задач;

Rels – множина відношень між задачами, що визначають схему їхніх взаємозв'язків за вхідними і вихідним даними;

$$Tasks = \{ Task_i \}_{i=1}^6, \quad (6.2)$$

де *Task*₁ – задача формалізації мети;

*Task*₂ – задача визначення універсальної множини альтернатив X^U ;

*Task*₃ – задача визначення множини допустимих альтернатив $X \subseteq X^U$;

*Task*₄ – задача виділення підмножини ефективних альтернатив $X^K \subseteq X \subseteq X^U$;

*Task*₅ – задача ранжирування альтернатив $x \in X^K$;

$Task_6$ – задача вибору екстремальної альтернативи $x^o \in X^K$.

Задача формалізації мети $Task_1$ у найпростішому випадку полягає в побудові цільової функції $p(x) = k_1(x)$ на основі одного критерію ефективності, яка задається на множині альтернатив $x \in X$ і набуває дійсних значень. У загальному випадку враховується множина показників (часткових критеріїв) ефективності $k_1(x), k_2(x), \dots, k_m(x)$. При цьому часткові критерії $k_i(x)$, $i = \overline{1, m}$, як правило, мають різний фізичний зміст, розмірність, інтервали вимірювання і є суперечливими.

Розв'язання задачі визначення універсальної множини альтернатив X^U ($Task_2$) здійснюється виходячи зі специфіки задачі або ситуації прийняття рішення у CALS-системі.

Задача визначення множини допустимих альтернатив $X \subseteq X^U$ ($Task_3$) полягає у вилученні з універсальної множини X^U підмножини варіантів \bar{X} , які не задовольняють обмеження розв'язуваної задачі $X = X^U \setminus \bar{X}$. Задля цього потрібно визначати функціональні та вартісні характеристики варіантів $x \in X^U$. Основними засобами оцінки локальних властивостей $k_j(x)$, $j = \overline{1, m}$ варіантів $x \in X^U$ є аналітичне й імітаційне комп'ютерне моделювання. Для одержання узагальнених оцінок якості варіантів $P(x)$ використовуються методи експертного і багатофакторного оцінювання на основі функцій корисності часткових критеріїв (ФКЧК) [59].

Задача виділення підмножини ефективних альтернатив $X^K \subseteq X$ ($Task_4$) полягає у вилученні з множини допустимих неефективних (неоптимальних) альтернатив X^C , що належать до множини згоди. Розв'язок називають ефективним $x^o \in X$ (Парето-оптимальним, таким, що не може бути покращеним), якщо не існує більш кращого розв'язку $x \in X$, тобто $x^o \succ x$ для всіх $x \in X$.

Розв'язання задачі ранжирування альтернатив $Task_5$ здійснюється на основі парадигми максимізації корисності. Для її розв'язання використовуються два підходи: упорядкування варіантів особою, яка приймає рішення (ОПР) або формування узагальненого критерію ефективності й зведення задачі до задачі багатофакторного оцінювання. При цьому в обох підходах вважається, що кожному з варіантів із множини допустимих (або

ефективних) $x \in X$ приписується деяка корисність (цінність) $P(x)$, значення якої й визначають порядок:

$$\forall x, y \in X : x \sim y \leftrightarrow P(x) = P(y);$$

$$x \succ y \leftrightarrow P(x) > P(y);$$

$$x \succeq y \leftrightarrow P(x) \geq P(y).$$

Порядок альтернатив може визначитися на основі ординальної (порядкової) та кардинальної (кількісної) теорії корисності.

Задача вибору найкращої альтернативи $x^o \in X^K$ ($Task_6$) у наведених вище умовах зводиться до вибору крайнього елемента впорядкованого ряду розв'язків або до безпосередньої екстремізації функції узагальненої корисності (ФУК)

$$x^o = \underset{x \in X^K}{arg \ extr} P(x) \quad (6.3)$$

методами математичного програмування.

Процеси прийняття рішень, крім перерахованих, можуть включати інші задачі, що пов'язані зі специфікою проблемної ситуації, об'єкта проектування або керування, використовуваної методології. При цьому кожна із задач, у свою чергу, за необхідності може бути розбита на ряд взаємозалежних підзадач.

Схема вирішення проблеми багатокритеріального вибору в межах кардиналістичного підходу подається в такий спосіб [58]:

$$S \rightarrow A \rightarrow opt \Theta \rightarrow x^o, \quad (6.4)$$

де S – ситуація прийняття рішення;

A – аксіоматика прийняття рішення, що являє собою набір аксіом, які визначають схему компромісу (принцип упорядкування рішень);

$opt \Theta$ – схема компромісу (узагальнений критерій, ФУК);

x^o – ефективний розв'язок.

Плідним для вирішення цієї проблеми виявляється застосування аналітико-евристичного підходу, що полягає у виборі ОПР аксіоматики A , на основі евристичних міркувань.

6.2 Бінарні відношення між альтернативними варіантами

Найважливішою серед виділених, з методологічної точки зору, вважається задача ранжирування альтернатив $x \in X^K$ ($Task_5$). Її розв'язання передбачає вибір принципу оптимальності Π й синтез на його основі функції вибору C_Π , що визначає метрику для ранжирування альтернатив $P(x)$. Вибір виду $P(x)$ являє, по суті, розв'язання задачі ідентифікації переваг ОПР.

При цьому найбільший інтерес, як у теоретичному, так і в практичному плані становлять питання вибору структури і параметрів моделі $P(x)$ [54, 59].

Для формалізації процедури вибору ефективних розв'язків ОПР використовується апарат бінарних відношень. Бінарним відношенням R на непорожній множині альтернатив X називають підмножину множини всіх упорядкованих пар з X , що задається прямим добутком $X \times X = \{(x, y) : x, y \in X\}$. Запис $x R y$ (x перебуває у відношенні R до y) означає, що (x, y) належить R ; аналогічно не $x R y$ ($x \bar{R} y$) означає, що (x, y) не належить R , або що x не перебуває у відношенні R до y .

У теорії прийняття рішень використовують три види бінарних відношень:

- еквівалентності (байдужості) $R_E(X) = \{(x, y) : x, y \in X, x \sim y\}$;
- нестрогої переваги $R_{NS}(X) = \{(x, y) : x, y \in X, x \succeq y\}$;
- строгої переваги $R_S(X) = \{(x, y) : x, y \in X, x \succ y\}$.

Бінарне відношення R на множині X може бути задане шляхом перерахування пар альтернатив $R(X) = \{(a, b), (b, c), (b, d), \dots\}$, шляхом визначення загальної властивості $R(X) = \{(x, y) : x, y \in X, [задана властивість]\}$ або за допомогою матриці (графа) $A(R)$, елементи якої визначаються умовою:

$$a_{ij}(R) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_i, x_j) \in R(X); \\ 0, & \text{if } (x_i, x_j) \notin R(X). \end{cases} \quad (6.5)$$

Бінарне відношення R на множині X є:

- рефлексивним, якщо $x R x$ для кожного $x \in X$; нереклексивним, якщо $x \bar{R} x$ для кожного $x \in X$;
- симетричним, якщо з $x R y$ випливає $y R x$; асиметричним, якщо з $x R y$ випливає $y \bar{R} x$;
- транзитивним, якщо з $x R y$ і $y R z$ випливає $x R z$; негативно транзитивним, якщо з $x \bar{R} y$ і $y \bar{R} z$ випливає $x \bar{R} z$;
- зв'язаним, якщо $x R y$ або $y R x$; слабо зв'язаним, якщо з $x \neq y$ випливає $x R y$ або $y R x$.

Транзитивне бінарне відношення $R(X)$ називається впорядкуванням або відношенням порядку.

Як наслідок суб'єктивності ОПР на практиці досить часто зустрічаються приклади нетранзитивних переваг. Нехай потрібно вибрати варіант побудови CALS-системи на множині альтернативних з такими характеристиками:

- x : оперативність – 8 с, надійність – 0.95, вартість – \$350 тис.;
- y : оперативність – 9 с, надійність – 0.96, вартість – \$400 тис.;
- z : оперативність – 10 с, надійність – 0.97, вартість – \$450 тис.

ОПР може вимагати x більше, ніж y , розсудивши, що підвищення надійності не втрачає оперативності в 1 с і \$50 тис. Виходячи з аналогічних міркувань вона вимагає y скоріш, ніж z , але порівнюючи x і z , вона вимагає z порівняно з x , вважаючи, що підвищення надійності в 0.02 важливіше за втрату оперативності в 2 с і \$100 тис. В описаній ситуації переваги ОПР утворюють цикл $x \succ y$, $y \succ z$, $z \succ x$.

У випадку, коли переваги не утворюють циклів, а еквівалентності не передбачаються транзитивними, кожна непорожня скінченна підмножина $X=\{x\}$ містить максимально кращу альтернативу x^0 :

$$x^0 \succ x_i \succ x_j \succ \dots \succ x_n, \quad (6.6)$$

де $x^0, x_i, x_j, \dots, x_n \in X$.

6.3 Моделі задач вибору багатокритеріальних розв'язків

У межах кардиналістичного підходу задача вибору розв'язків у багатьох випадках може бути зведена до задачі оптимізації виду (6.3). Моделі багатокритеріального оцінювання і вибору будуються на основі таких основних ФУК [54, 59]:

– адитивної:

$$P(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \bar{k}_i(x), \quad (6.7)$$

– мультиплікативної:

$$P(x) = \prod_{i=1}^m [\bar{k}_i(x)]^{\lambda_i}, \quad (6.8)$$

– змішаної (адитивно-мультиплікативної):

$$P(x) = \gamma \sum_{i=1}^m \lambda_i \bar{k}_i(x) + (1 - \gamma) \prod_{i=1}^m [\bar{k}_i(x)]^{\lambda_i}, \quad (6.9)$$

де $P(x)$ – функція загальної корисності альтернативи x ;

γ – адаптаційний коефіцієнт, що визначає вид схеми, $0 \leq \gamma \leq 1$. При $\gamma = 1$ реалізується адитивна схема (6.7), при $\gamma = 0$ – мультиплікативна схема (6.8);

m – кількість часткових критеріїв;

λ_i – коефіцієнти, що характеризують ступінь важливості критерію k_i ,
 $i = \overline{1, m}$;

$\bar{k}_i(x)$ – нормоване значення критерію $k_i(x)$:

$$\bar{k}_i(x) = \frac{k_i(x) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-}, \quad (6.10)$$

де $k_i(x)$ – значення i -го часткового критерію для варіанта x ;

k_i^- , k_i^+ – найгірше й найкраще значення критерію k_i .

Особливістю адитивних моделей (6.7) є необмежена можливість компенсації одних властивостей об'єкта іншими, що не завжди є припустимим. Вільними від цього недоліку є мультиплікативні моделі (6.8). Комбіновані моделі (6.9) є більш складними, проте об'єднують у собі переваги адитивних і мультиплікативних моделей.

6.4 Визначення підмножини ефективних рішень

Для звуження області пошуку в задачах багатокритеріального оцінювання й вибору пропонується звужувати множину (область) розв'язків X шляхом визначення множини (області) ефективних (таких, що не поліпшуються, Парето-оптимальних) розв'язків [54, 59]. Таку множину (область) називають множиною (областю) компромісів (ОК). Виходячи з цього, множина можливих рішень X подається у вигляді об'єднання двох підмножин $X = X^S \cup X^K$, де X^S – множина (область) згоди, будь-яке рішення з якої може бути поліпшене хоча б за одним із критеріїв без погіршення якості за іншими; X^K – множина (область) компромісів, жоден із розв'язків якої не може бути поліпшений одночасно за всіма критеріями.

Виділення ОК не є обов'язковим етапом багатокритеріальної оптимізації, але є доцільним, оскільки, як правило, істотно звужує область пошуку оптимального рішення x^0 та не потребує перевірки оптимальності отриманого розв'язку.

Точне визначення X^K є досить складною задачею, що розв'язується методами на основі теорем Карліна (для опуклих областей) і Гермейєра (для неопуклих областей). Ефективним способом її спрощення є попереднє визначення наближеної області компромісів (НОК) X^P . Умовами коректності процедури визначення НОК є вимога, щоб НОК містила в собі ОК: $X^K \subseteq X^P$, та простота її визначення.

Суть одного з методів визначення НОК для опуклих областей X полягає в такому. В області допустимих розв'язків X здійснюється оптимізація послідовно за кожним із часткових критеріїв k_1, k_2, \dots, k_m . Кожен із результатів заноситься в окремий рядок таблиці (табл. 6.1). В i -му рядку таблиці подані значення всіх часткових критеріїв, отримані в ході оптимізації за частковим критерієм k_i . Стовець j містить набір значень часткового критерію k_j у точках оптимуму за всіма частковими критеріями. Таким чином, у кожному стовпці таблиці значення часткового критерію змінюються від найкращого k_j^+ до найгіршого k_j^- . Причому найкращі значення часткових критеріїв знаходяться на діагоналі таблиці $k_j^+ = k_{jj}, j = \overline{1, m}$.

Таблиця 6.1 – Результати оптимізації за частковими критеріями

$k_i \setminus k_j$	k_1	k_2	...	k_m
k_1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1m}
k_2	k_{21}	k_{22}	...	k_{2m}
...
k_m	k_{m1}	k_{m2}	...	k_{mm}

Отримана множина пар значень $\langle k_j^+, k_j^- \rangle, j = \overline{1, m}$ визначає границі відображення НОК на простір часткових критеріїв $X^P \rightarrow K$ (рис. 6.1). У загальному випадку наближена область компромісів X^P містить у собі підмножину розв'язків з області згоди X^S . Якщо розв'язок $x \in X^P$ може бути покращений за одним або декількома частковими критеріями без погіршення якості за іншими, то він не включається до X^K .

Під час розв'язання дискретних багатокритеріальних задач схема визначення НОК залишається такою самою, з тією відмінністю, що матимуть місце не області, а відповідні множини розв'язків X, X^P, X^S, X^K . У таких випадках визначення ОК може здійснюватися методом парних порівнянь. Нехай розв'язки x_1, x_2, \dots, x_n належать X або X^P . Область компромісів X^K складається тільки з розв'язків, що не можуть бути покращені за частковими критеріями.

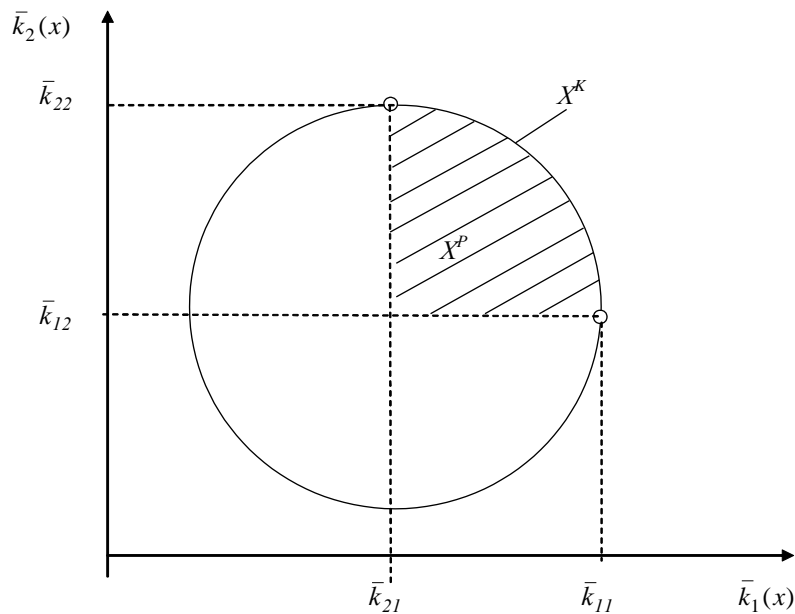


Рисунок 6.1 – Визначення НОК X^P на опуклій множині альтернатив X

Алгоритм формування ОК полягає в порівнянні всіх можливих пар розв'язків $x_i, x_j \in X^P$, тобто x_1 та x_2 , x_1 та x_3, \dots , x_2 та x_3 , x_2 та x_4, \dots і так далі та видаленні з подальшого розгляду розв'язків, які за всіма частковими критеріями гірші за інші (інший).

6.5 Функції корисності часткових критеріїв

Ефективність розв'язків $x \in X$ у багатокритеріальному підході оцінюється за множиною часткових критеріїв $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$, де $k_i = f_i(x)$. Часткові критерії, по-перше, можуть бути суперечливими, а по-друге, мають різний фізичний зміст, а відповідно – різні розмірність та інтервали зміни. Для вибору єдиного розв'язку з області компромісів необхідно ранжувати розв'язки за ступенем їх цінності (корисності).

У межах кардиналістичного підходу для цього використовують функції узагальненої корисності (узагальнений критерій ефективності). За наявності додаткової інформації щодо цінності властивостей альтернативи $x \in X$ у моделях (6.7) – (6.9) замість нормованих значень часткових критеріїв $\bar{k}_i(x)$ використовуються функції корисності часткових критеріїв (ФКЧК) $\zeta_i(k_i(x))$ [54, 59].

ФКЧК мають задовольняти такі вимоги: бути монотонними і безрозмірними; мати єдиний інтервал зміни (наприклад, від 0 до 1); бути

інваріантними до виду екстремуму часткового критерію (*min* або *max*); дозволяти реалізувати як лінійні, так і нелінійні залежності від значень часткового критерію.

Поняття «корисності часткового критерію» пов'язане з невизначеністю, що породжується невизначеністю поняття «найкраща система». Це робить доцільним використання для формування ФКЧК апарату теорії нечітких множин. Нехай $Y = \{y\}$ – деяка множина. Нечітка (розмита) множина G на множині Y задається функцією належності $\xi_G : Y \rightarrow [0, 1]$, яка ставить у відповідність кожному елементу $y \in Y$ дійсне число ξ_G з інтервалу $[0, 1]$. Число ξ_G визначає ступінь належності нечіткій множині G . Чим ближче до 1, тим вищий ступінь належності y нечіткій множині G . Для дискретних множин $Y = \{y\}$ використовується подання нечіткої множини G як множини пар елементів $G = \{(y, \xi_G(y))\}$. Тобто, частковий критерій подається як нечітка множина $K_j = \{(k_j(x), \xi_j(x))\}$.

Перерахованим вимогам відповідає, зокрема, ФКЧК виду:

$$\xi_i(k_i(x)) \equiv \xi_i(x) = \left(\frac{k_i(x) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\alpha_i}, \quad (6.11)$$

де α_i – параметр, що визначає вид функції; при $\alpha_i = 1$ отримаємо лінійну, при $0 < \alpha_i < 1$ – опуклу, при $\alpha_i > 1$ – увігнуту залежно від значення критерію $k_i(x)$ (рис. 6.2).

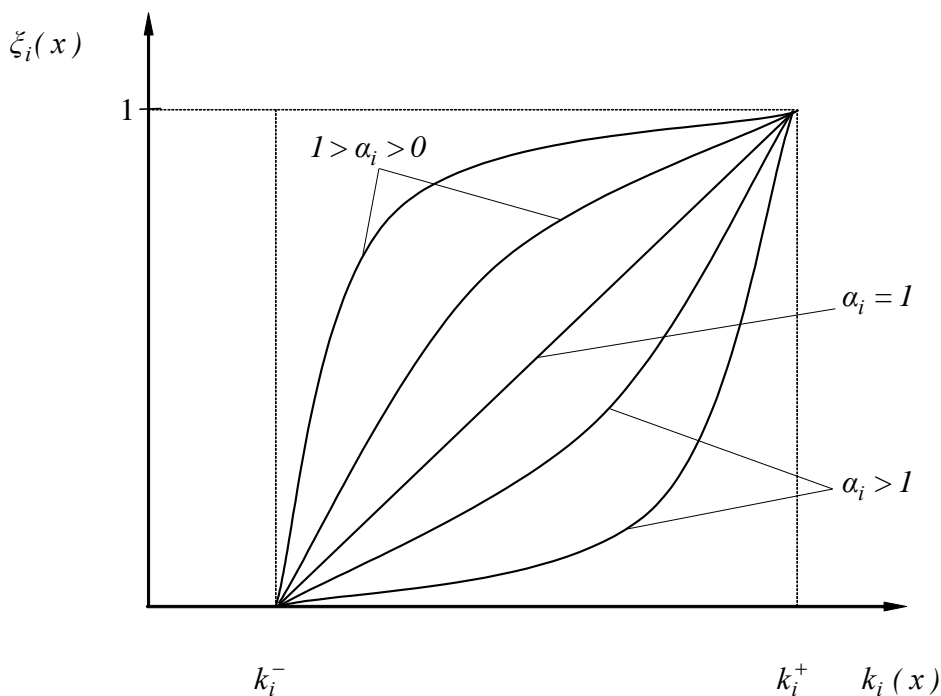


Рисунок 6.2 – ФКЧК (6.11) для $k_i(x) \rightarrow \max$

ФКЧК виду (6.11) може розглядатися як функція належності розв'язків розмитій (нечіткій) множині «найкращий варіант».

Поряд з ФКЧК на практиці використовуються функції втрати корисності

$$\bar{\xi}_i(x) = 1 - \xi_i(x). \quad (6.12)$$

Задля підвищення адекватності моделей багатofакторного оцінювання можуть використовуватися більш складні ФКЧК, що дозволяють реалізовувати лінійні, опуклі, увігнуті та S-подібні залежності від значень часткових критеріїв.

6.6 Формування узагальненого критерію ефективності

Інформація, що описує ситуації багатокритеріального вибору Q , на практиці може подаватися з неповною визначеністю. У таких ситуаціях використовуються моделі й методи вибору рішень в умовах невизначеності цілей, вихідних даних або ризику [54, 59].

Припустимо, що ступінь невизначеності мети може бути заданий співвідношеннями значень вагових коефіцієнтів $[\lambda_i]_{i=1}^m$ часткових критеріїв $[k_i(x)]_{i=1}^m$, $x \in X$ (де X – множина допустимих альтернатив; m – кількість часткових критеріїв). Найбільш характерними ситуаціями під час багатокритеріального вибору є такі: *ситуація 1* – значення вагових коефіцієнтів часткових критеріїв $[\lambda_i]_{i=1}^m$ невідомі; *ситуація 2* – чисельні значення коефіцієнтів $[\lambda_i]_{i=1}^m$ невідомі, але часткові критерії можуть бути впорядковані за ступенем важливості; *ситуація 3* – відомі кількісні значення вагових коефіцієнтів $[\lambda_i]_{i=1}^m$ (значення коефіцієнтів $[\lambda_i]_{i=1}^m$ можуть задаватися з різним ступенем точності й вірогідності від повної визначеності до практично повної невизначеності).

У *ситуації 1* природно вважати, що часткові критерії мають однакову важливість, та використовувати максимінну або мінімаксну схеми компромісу, що засновані на прагненні до рівності ФКЧК:

$$x^o = \arg \max_{x \in X} \min_i \lambda_i \xi_i(x), \quad (6.13)$$

$$x^o = \arg \min_{x \in X} \max_i \lambda_i \xi_i(x), \quad (6.14)$$

де X – множина допустимих розв'язків.

У *ситуації 2* може бути задана система переваг часткових критеріїв, наприклад, $k_1 \succ k_2 \succ \dots \succ k_m$, що дозволяє використовувати схему вибору

компромiсного розв'язку шляхом лексикографiчної оптимiзацiї (послiдовного застосування критерiїв).

Розв'язок x лексикографiчно кращий за розв'язок y , якщо виконується одна з умов:

$$\begin{aligned} \xi_1(x) &> \xi_1(y), \\ \xi_1(x) &= \xi_1(y), \xi_2(x) > \xi_2(y), \\ &\dots\dots\dots \\ \xi_i(x) &= \xi_i(y), i = \overline{1, m-1}, \xi_m(x) > \xi_m(y). \end{aligned}$$

Суть лексикографiчної оптимiзацiї може бути подана у такому виглядi. На множинi допустимих розв'язкiв X необхідно знайти пiдмножину розв'язкiв $X_1^o \subseteq X$, оптимальних за найважлившим iз критерiїв – k_1 . На множинi розв'язкiв X_1^o знайти пiдмножину розв'язкiв X_2^o , оптимальних за наступним за важливистю критерiєм – k_2 . На останньому етапi iз пiдмножини розв'язкiв X_{m-1}^o знаходимо за критерiєм k_m єдиний оптимальний розв'язок x^o . При цьому

$$x^o \in X_{m-1}^o \subseteq X_{m-2}^o \subseteq \dots \subseteq X_2^o \subseteq X_1^o \subseteq X^K.$$

Якщо в процесi оптимiзацiї за критерiями $k_i, i = \overline{1, m-1}$ буде отримано єдиний розв'язок, вiдповiдну множину $X_i^o, i = \overline{1, m-1}$ розширити шляхом включення до неї квазiоптимальних розв'язкiв.

У ситуацiї 3 за умови незалежностi часткових критерiїв $k_i(x), i = \overline{1, m}$ розв'язок рекомендується вибирати з використанням унiверсальної адаптивної моделi оцiнювання, побудованої на основi адитивної схеми (6.7)

$$P(x) = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [\lambda_i \xi_i(x)]^\beta \right\}^{1/\beta}, \quad (6.15)$$

за правилом

$$x^o = \arg \text{extr}_{x \in X} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [\lambda_i \xi_i(x)]^\beta \right\}^{1/\beta}, \quad (6.16)$$

де $\xi_i(x)$ – функцiя корисностi i -го критерiю;

β – адаптацiйний параметр.

Змiнюючи значення адаптацiйного параметра в моделi (6.16), можна одержати рiзні схеми вибору. Так при $|\beta| \rightarrow \infty$ виходять максимiнна (6.13) та мiнiмаксна (6.14) схеми, що використовуються в ситуацiї 1, при $\beta = 1$ виходить схема, придатна для вибору рiшень у ситуацiях 2 i 3:

$$x^o = \arg \max_{x \in X} \left\{ \sum_{i=1}^m [\lambda_i \xi_i(x)] \right\}, \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1.$$

При $\beta = 1$ така модель дозволяє вибрати розв'язки, що максимізують сумарну корисність, при $|\beta| \rightarrow \infty$ – розв'язки із квазірівними корисностями за всіма частковими критеріями. За умов неможливості точного визначення (задання) значень часткових критеріїв або функцій їхньої корисності для максимального вирівнювання якості за всіма критеріями значення β може бути обране з умови:

$$\beta^* = \log m / \log(1 + \varepsilon), \quad (6.17)$$

де m – кількість часткових критеріїв;

ε – відносна точність визначення часткових критеріїв.

Конкретне значення адаптаційного коефіцієнта $\beta \in [1, \beta^*]$ можна визначити, виходячи зі ступеня вірогідності визначення значень вагових коефіцієнтів $[\lambda_i]_{i=1}^m$

$$\beta' = \log m / \log[1 + (m - 1)\eta], \quad (6.18)$$

де η – коефіцієнт ступеня визначеності мети, який визначається, виходячи з вимог до стійкості й ефективності рішень, $\eta \in [0, 1]$. Крайніми випадками є: $\eta = 0$ – повна невизначеність переваг між частковими критеріями; $\eta = 1$ – повна визначеність переваг.

6.7 Контрольні запитання та завдання

1. Сформулюйте постановку задачі прийняття рішень.
2. Назвіть основні класи задач прийняття рішень.
3. Назвіть основні підходи до розв'язання задачі ранжирування альтернатив.
4. Опишіть схему вирішення проблеми багатокритеріального вибору в межах кардиналістичного підходу.
5. Дайте визначення бінарних відношень на множині альтернатив.
6. Запишіть моделі задач вибору розв'язків.
7. Дайте визначення області компромісів.
8. Для чого здійснюється виділення області компромісів?
9. Опишіть алгоритм виділення наближеної області компромісів для опуклої області альтернатив.
10. Опишіть суть методу парних порівнянь.

11. Яким вимогам мають відповідати функції корисності часткових критеріїв?
12. Дайте визначення нечіткої множини.
13. Наведіть формулу функції корисності часткових критеріїв.
14. Назвіть основні ситуації невизначеності мети, що виникають в процесі прийняття рішень.
15. Запишіть співвідношення для пошуку розв'язків за максимінним та мінімаксним критеріями.
16. Опишіть процедуру пошуку лексикографічно найкращого розв'язку.
17. Наведіть співвідношення для універсальної схеми компромісу.
18. Як визначається значення адаптаційного параметра β в універсальній схемі компромісу?

7 СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ CALS-СИСТЕМ

7.1 Особливості CALS-систем як об'єктів проектування

У процесі проектування CALS-систем, у ході їх реорганізації та планування розвитку неминуче виникають задачі синтезу їхньої структури. При цьому під структурою у широкому сенсі розуміється побудова та внутрішня форма організації системи. У системотехніці, теорії систем, системології поняття структури деталізується та визначається як організація системи з окремих елементів з їх взаємозв'язками, які визначаються розподілом функцій і цілей, які виконуються системою. На практиці у процесах дослідження та проектування розглядають різні аспекти внутрішньої будови CALS-систем: організаційну, топологічну (просторову), функціональну, інші види структур.

У найпростішому випадку задача синтезу структури полягає у визначенні кращого (у сенсі обраних критеріїв ефективності) набору взаємопов'язаних елементів, які забезпечують досягнення поставлених перед CALS-системою цілей. Розв'язання задачі у такій постановці, за винятком систем великої розмірності, не викликає принципових труднощів.

У найбільш загальному випадку проблема структурного синтезу полягає у визначенні: множини функцій, виконуваних системою; принципів побудови системи; множини взаємопов'язаних елементів, що утворюють систему; розподілу виконуваних функцій між елементами системи. У часткових задачах необхідним є визначення тільки одного або декількох показників з перерахованих груп.

Наведені постановки добре відображають суть задач проблеми структурного синтезу зосереджених CALS-систем або систем, що мають невелике територіальне (просторове) розосередження. Для багатьох систем, що проектуються, створюються чи експлуатуються в даний час, характерними є значні територіальні розміри. При цьому збільшення відстаней між функціональними підсистемами призводить до появи нової системної властивості, яка не характерна для територіально зосереджених CALS-систем. Вона пов'язана з тим, що структурні, вартісні і функціональні характеристики розподілених CALS-систем багато в чому визначаються топологією (розміщенням) їх підсистем та елементів. Топологія підсистем і елементів, у свою чергу, визначає топологію комунікаційних зв'язків, що забезпечують функціонування системи як єдиного цілого, реалізуючи обмін між елементами і підсистемами ресурсами й інформацією.

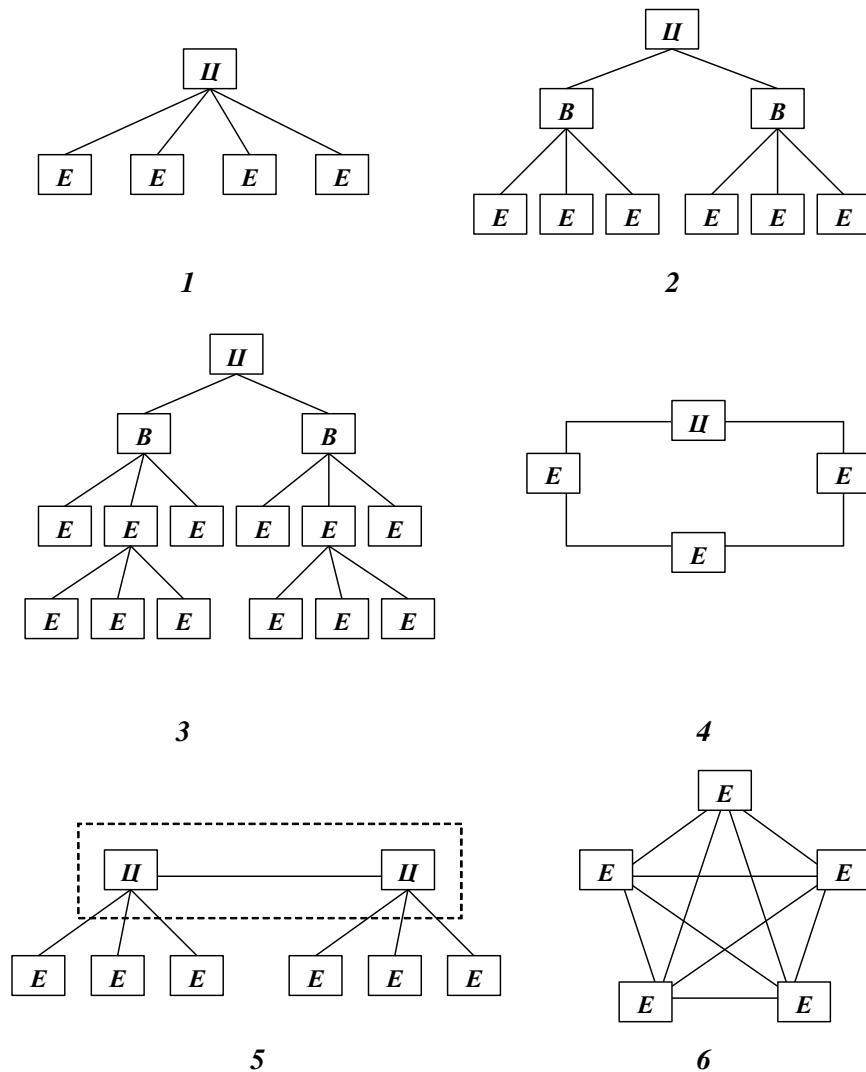
До тих пір, поки протяжність комунікаційних зв'язків є незначною, витрати ресурсів на створення й експлуатацію складають відносно невелику частину у витратах на CALS-систему у в цілому та ними можна знехтувати. У цих умовах визначальним у синтезі системи є вибір організаційної або функціональної структури, а проблема може бути зведена до розв'язання задачі структурно-функціональної оптимізації. Зі зростанням територіальної розосередженості зростають протяжність комунікаційних зв'язків і витрати на їх реалізацію, а також вплив схеми, топології і характеристик зв'язків між елементами на ефективність функціонування CALS-системи в цілому. Вплив перерахованих чинників із зростанням територіальної розосередженості CALS-систем зростає, стаючи зазвичай визначальним як у вартості, так і в ефективності системи в цілому.

Таким чином, вартісні і функціональні характеристики подібних систем, у свою чергу, багато в чому визначаються їх просторовою організацією. При цьому виникає необхідність у розв'язанні комплексу задач, що утворюють проблему структурно-функціонально-топологічної оптимізації, в якій рішення щодо кількості елементів, розподілу функцій, технології їх реалізації та взаємозв'язків елементів системи необхідно приймати, виходячи з їх просторового розташування [60].

Сучасні CALS-системи можуть бути побудовані на різних принципах, з використанням різних елементів, використовувати різні технології функціонування та мати суттєво різні структури (рис. 7.1). Незважаючи на різне функціональне призначення і особливості постановок задач синтезу, CALS-системи мають такі загальні риси: загальна мета, яка полягає в задоволенні безперервної інформаційної підтримки замовників, проектувальників, постачальників (виробників) продукції, експлуатаційного та ремонтного персоналу; територіальне розосередження місць збору, зберігання й обробки інформації; наявність у технологіях функціонування численних циклів передачі інформації, які відіграють визначальну роль в ефективності функціонування та витратах на створення й експлуатацію системи; залежність показників функціональної ефективності та витрат від структури, топології системи та технології її функціонування при одночасному глибокому взаємозв'язку цих характеристик.

Врахування останньої особливості призводить до проблеми структурно-функціонально-параметричної та топологічної оптимізації, що виникає в процесах оптимізації CALS-систем. У загальному випадку вона може бути сформульована у такому вигляді. Для заданої множини територіально розосереджених об'єктів CALS-технології, які потребують інформаційного обслуговування, необхідно визначити: структурні (кількість рівнів системи,

кількість підсистем і елементів на кожному з рівнів, схему їх взаємозв'язків), топологічні характеристики (розміщення підсистем, елементів і зв'язків), параметри (потужності комп'ютерних засобів підсистем, елементів, пропускні спроможності каналів передачі інформації) та технологію функціонування системи (обміну інформацією), що задовольняють заданим обмеженням (за затратами, оперативністю, надійністю, живучістю) й екстремізують обрані показники якості системи.



Ц – центр; *В* – вузол; *Е* – елемент;

1 – радіальна; 2 – радіально-вузлова; 3 – деревоподібна; 4 – кільцева;

5 – децентралізована; 6 – повнозв'язна.

Рисунок 7.1 – Схеми структур CALS-систем

Крім того, в процесах проектування, планування розвитку та реінжинірингу вихідні дані та цілі CALS-системи можуть суттєво змінюватись.

Це призводить до необхідності вибору досить стійких (робастних) структур CALS-систем, здатних з мінімальними або прийнятними витратами адаптуватися до змін перерахованих факторів.

До числа найважливіших особливостей проблеми, які враховуються у розробці технологій проектування та реінжинірингу CALS-систем, належать такі:

- тісний взаємозв'язок задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації CALS-систем, що унеможлиблює коректну декомпозицію проблеми на умовно незалежні задачі, з одного боку, та складність їх спільного розв'язання – з іншого;

- комбінаторний характер більшості задач проблеми і, як наслідок, практично повна відсутність прийнятних з обчислювальної точки зору ефективних методів їх розв'язання;

- присутність на всіх етапах різного ступеня невизначеності вхідних даних і локальних цілей створення системи;

- складність технологій функціонування CALS-систем, що робить практично непридатними для їх аналізу класичні аналітичні методи дослідження;

- процеси створення (реструктуризації) CALS-систем передбачають залучення значних ресурсів, мають значну тривалість у часі та складаються з множини етапів, що пов'язано з необхідністю планування раціональних траєкторій їх розвитку;

- динамічність умов функціонування, яка веде до необхідності змін принципів побудови CALS-системи, її організаційної, функціональної та топологічної структур, тобто необхідності її реінжинірингу.

7.2 Системологічний аналіз проблеми синтезу CALS-систем

Під час формалізації задач структурного аналізу й синтезу систем у даний час традиційно використовується їх теоретико-множинне визначення. У рамках цього визначення на ранніх стадіях проектування будь-яка система s може бути подана у вигляді впорядкованої пари [60]

$$s = \langle e, r \rangle, \quad (7.1)$$

де e – множина елементів, що входять до складу системи;

r – множина відношень між елементами. Тут термін «відношення» відображає такі поняття як зв'язок, з'єднання, взаємозв'язок, залежність тощо.

Мета створення CALS-системи може бути структурована як множина функцій, які вона має реалізувати. Для реалізації передбачених функцій система повинна мати множину відповідних властивостей. Наявність цих властивостей забезпечує відповідність функціональним вимогам, а кількісний рівень їх реалізації визначає властивості (ефективність) системи.

Система s , подана у вигляді (7.1), має множину функціональних і вартісних властивостей

$$p = \varphi(e, r), \quad (7.2)$$

де φ – деяке відображення.

Аналіз мети створення системи дозволяє виділити множину найважливіших властивостей P' , які повинна мати система, що створюється. Виділені властивості є підмножиною множини властивостей $P' \subset P$, які можуть бути отримані на універсальних множинах елементів E і відношень R між ними

$$P = \varphi(E, R). \quad (7.3)$$

Множина відношень R в (7.3) визначається можливими принципами побудови системи і частково розподілом функцій між її елементами. Відображення P' на множині елементів E і відношень R визначає підмножини елементів E_C і відношень R_C , на яких можливо побудувати систему з необхідними властивостями, тобто визначити область існування CALS-системи $E_C \subset E$, $R_C \subset R$. Виходячи з існуючих технічних, економічних або інших обмежень область існування системи звужується до допустимої області синтезу $E_D \subset E_C$ і $R_D \subset R_C$.

Надалі завдання синтезу системи зводиться до вибору таких підмножин елементів $e \subset E_D$ і відношень $r \subset R_D$ з допустимих множин області існування, які забезпечують найбільш ефективно (в сенсі обраних показників) досягнення необхідних властивостей $P' \subset P$.

Подальша деталізація опису системи має бути спрямована на відображення топологічних аспектів, що виникають у ході її синтезу. Це призводить до різкого ускладнення опису й ускладнює його практичне використання. Виходом є декомпозиція вихідної проблеми в рамках методології системного підходу. При цьому проблема може бути подана у вигляді системи, що складається з комплексів задач, розв'язання яких призводить до досягнення мети (вирішення проблеми структурного синтезу системи).

Умовою ефективності реалізації такого підходу є коректне врахування взаємозв'язків, які формалізуються у вигляді екзогенних (зовнішніх) цілей і обмежень, що визначають область допустимих рішень для досягнення ендогенних (внутрішніх) цілей на прийнятному рівні синтезу.

На підставі вивчення досвіду вирішення подібних проблем [60] вона може бути декомпозована і подана як система Π (рис. 7.2), яка складається з комплексів задач

$$\Pi = \langle KЗ, ВЗ \rangle, \quad (7.4)$$

де $KЗ$ – множина задач комплексу;

$BЗ$ – множина відношень між задачами комплексу, що визначає схему їх взаємозв'язку;

$$KЗ = \{ВППС, ВСС, ВТЕЗ, ВТФ, ВПЕЗ, ОЕВР\}, \quad (7.5)$$

де $ВППС$ – задачі вибору принципів побудови системи;

$ВСС$ – задачі вибору структури системи;

$ВТЕЗ$ – задачі визначення топології елементів і зв'язків;

$ВТФ$ – задачі вибору технології функціонування;

$ВПЕЗ$ – задачі визначення параметрів елементів і зв'язків;

$ОЕВР$ – задачі оцінки ефективності варіантів і вибору рішень.

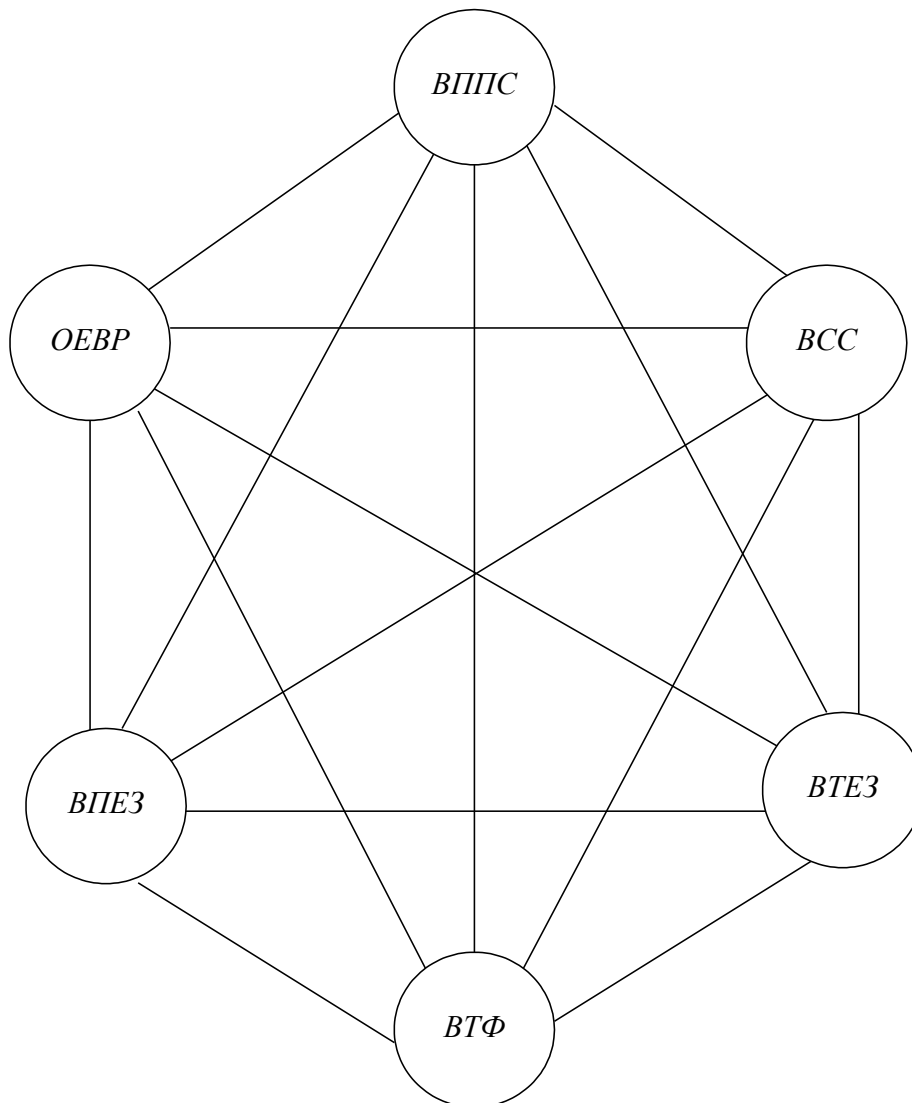


Рисунок 7.2 – Схема взаємозв'язків комплексів задач проблеми синтезу CALS-системи

Задачі вибору принципів побудови системи. Множина виконуваних системою функцій, як правило, визначається неформально на стадіях передпроектних досліджень і розробки завдання на проектування. Можливі принципи побудови і функціонування системи зазвичай задані і у синтезі системи здійснюється вибір деяких принципів з множини допустимих. Кожному набору принципів побудови системи відповідає множина функцій, з якого в ході проектування системи необхідно вибрати підмножину, достатню для реалізації обраних принципів.

Задачі вибору структури системи. Практично будь-яка система може бути побудована на різних наборах елементів $e \in E_D$ і з різними взаємозв'язками між ними $r \in R_D$. Отримувані при цьому варіанти побудови системи відрізнятимуть своїми властивостями p (функціональними показниками і необхідними ресурсами). Суть задач вибору структури може бути подана у такому вигляді. Задані набори типових елементів E_C , з яких може створюватися система, а також їх функціональні і вартісні характеристики. Необхідно визначити кількість рівнів системи, множини елементів на кожному з рівнів і схеми їх взаємозв'язків.

Задачі вибору структури CALS-системи не можуть розв'язуватися незалежно. Їх остаточні рішення можуть бути отримані тільки шляхом прив'язки до конкретних топологій і технологій функціонування. З цієї точки зору розв'язання задач вибору структури, по-перше, має передувати розв'язанню інших комплексів задач проблеми, а по-друге, зводиться до визначення допустимої множини варіантів структур і пошуку найкращого з них. Основні обмеження на допустиму множину структур задаються з вибором принципів побудови і розподілі функцій між типовими елементами системи.

Задачі визначення топології елементів і зв'язків. У загальному випадку кожен з варіантів структури CALS-системи може бути реалізований множиною різних топологій, що характеризуються різними рівнями витрат і ефективності. Задачі вибору топології полягають в такому. Передбачаються заданими множина елементів і структура системи. Необхідно визначити місця розміщення елементів і зв'язків між ними. До числа найважливіших обмежень належать обмеження на місця можливого розміщення елементів та зв'язків.

Топологія системи, будучи реалізацією структури, в процесі проектування системи багато в чому визначає її. Так, взаємне розміщення елементів системи багато в чому визначає їх взаємозв'язки. Це, в свою чергу, визначає необхідні потужності обчислювальних засобів, тобто уточнює параметри елементів структури. З огляду на це кожен із запропонованих

варіантів топології може бути об'єктивно оцінений тільки за допомогою глобального критерію (або множини часткових критеріїв) ефективності. Однак для цього має бути визначена технологія функціонування системи в цілому. Незалежне розв'язання задачі топологічної оптимізації за деяким локальним критерієм не гарантує досягнення глобального оптимуму загальної задачі оптимізації CALS-системи.

Задачі вибору технології функціонування системи. Загальна схема технології функціонування CALS-системи задається в принципах її побудови і уточнюється з розподілом функцій, виконуваних системою, між її елементами. Подальше уточнення технології відбувається під час вибору її структури і топології. Остаточне формування технології здійснюється в ході вибору алгоритмів функціонування елементів системи. При цьому суть задач полягає в такому. Для заданих структури і топології необхідно вибрати технологію функціонування системи, за яких максимізується її ефективність. У найпростішому випадку вибір технології може здійснюватися шляхом оптимізації маршрутів переміщення інформаційних потоків.

Задачі визначення параметрів елементів і зв'язків. Суть задач параметричного синтезу полягає у виборі функціональних параметрів елементів і зв'язків системи. Їх розв'язання здійснюється в умовах заданих структурних, топологічних і технологічних параметрів системи. Результати розв'язання цих задач можуть бути основою для вибору елементів і зв'язків із заданих множин типових.

Задачі оцінки ефективності варіантів і вибору рішень. Процедура синтезу CALS-системи, як і розв'язання будь-якого з інших комплексів задач (7.5) обов'язкового етапу включає етап аналізу. Суть його в загальному випадку полягає в такому. Для обраних структури, топології, технології функціонування і параметрів CALS-системи необхідно визначити функціональні та вартісні характеристики варіанта її побудови. Основними засобами оцінки локальних властивостей варіантів є аналітичне та імітаційне комп'ютерне моделювання. Для отримання узагальнених оцінок якості варіантів використовуються методи експертного та багатофакторного оцінювання.

Перераховані комплекси задач проблеми (7.4) найтісніше пов'язані між собою, кожен з них може розглядатися лише як умовно незалежний (рис. 7.2). Кожній конкретній постановці проблеми структурного синтезу CALS-системи відповідає свій шлях на графі, що проходить через задану множину вершин. При цьому кожен з виділених комплексів задач, у свою чергу, за необхідності може розбиватися на множини часткових.

Процес структурного синтезу CALS-системи, крім перерахованих, може включати інші задачі, пов'язані з її специфікою або специфікою використовуваної методології проектування. Зокрема, зростання потужності обчислювальної техніки, яка використовується в системах автоматизованого проектування, дозволяє ставити і вирішувати нові, більш складні комплекси задач: структурно-топологічного, структурно-технологічного, структурно-параметричного синтезу.

В умовах сучасного розвитку математичних методів і обчислювальної техніки з'являється можливість розробки і впровадження технологій системного проектування CALS-системи – побудови систем як цілеспрямованих об'єктів у базисах системних властивостей, системних ресурсів і структури їх життєвих циклів. Сучасні підходи до вирішення проблеми оптимізації CALS-систем базуються на ідеї системного проектування, яка об'єднує комплекси моделей і методів розв'язання задач, що належать до всіх етапів їх життєвого циклу. Вони лежать у руслі функціонально-структурного наряду синтезу та аналізу складних об'єктів, орієнтованого на адаптацію CALS-систем в умовах змін зовнішнього середовища.

7.3 Формалізація цілей створення системи та її структурного опису

Структурна складність CALS-систем пов'язана з тим, що вони об'єднують технології проектування і виробництва продукції. Вони складаються з великої кількості елементів (комп'ютерів, баз даних тощо) зі складною схемою взаємозв'язків між ними. Тому створення єдиного опису в процесі їх структурного синтезу є досить складним завданням [60-61]. Традиційно для формалізованого опису структур об'єктів і задач проектування використовується апарат теорії множин і теорії графів. Як правило, елементам об'єкта ставлять у відповідність вершини графа, а зв'язкам між ними – дуги.

Узагальнення теоретико-множинного опису дозволяє подавати об'єкти як системи у вигляді: $s = \langle e, r \rangle$, де e – множина елементів, що входять до складу системи; r – множина відношень між елементами системи e . Множина властивостей, які має система s , подається у вигляді $p = \varphi(e, r)$, де φ – деяке відображення.

Характерною, особливо CALS-систем як об'єктів проектування, є визначальна залежність їх властивостей (функціональних і вартісних характеристик) від їх просторової організації. CALS-система, структура якої подана у вигляді $s = \langle e, r \rangle$, може бути реалізована множиною різних

топологій G^* . Виходячи з цього, кожній з топологічних реалізацій $g \in G^*$ системи відповідатиме свій набір властивостей:

$$\phi : (e, r, g) \rightarrow p, \quad (7.6)$$

де ϕ – деяке відображення.

Відповідно, подання CALS-систем у традиційному вигляді є досить загальним і може розглядатися тільки як його концептуальна структурна модель метарівня на ранніх стадіях проектування. Під час розв'язання задач системного проектування їхній опис має бути деталізовано, щоб мати змогу відображати його топологічні властивості:

$$s = \langle e, r, g \rangle, \quad (7.7)$$

де g – топологічна реалізація структури $\langle e, r \rangle$.

При цьому топологічна реалізація CALS-системи може розглядатися як сукупність топологій елементів g_E , відношень (зв'язків) g_R і траєкторій (переміщень інформації, що визначаються переважно алгоритмами функціонування системи A) g_A , тобто

$$g = \{g_E, g_R, g_A\}.$$

На першому етапі структурного синтезу, виходячи з результатів аналізу цілей системи, необхідно виділити підмножину найважливіших властивостей P' , якими вона має володіти. Виділені властивості є підмножиною множини властивостей $P' \subseteq P^U$, які можуть бути отримані на універсальних множинах елементів E^U , відношень між елементами R^U та їх топологій G^U :

$$P^U = \phi(E^U, R^U, G^U). \quad (7.8)$$

Множина E^U включає в себе різні типи елементів, на яких може бути побудована система. Множина відношень R^U визначається можливими принципами побудови CALS-системи, а також розподілом функцій між елементами та, зокрема, описує можливі схеми взаємозв'язків між множиною елементів E^U .

Склад множини R^U визначається складом множини E^U . Склад множини G^U визначається складом множин E^U і R^U .

Відображення P' на множини елементів E^U , відношень R^U і топологій G^U неявно визначає підмножини елементів E' , відношень (зв'язків) R' і топологій G' , на яких може бути реалізована CALS-система з визначеними властивостями P' .

У такий спосіб формується множина існування CALS-системи $S' = \{s\}$, яка виходячи з існуючих технічних, економічних, просторових або інших обмежень, звужується до допустимої множини синтезу $S^* = \{s\}$, $S^* \subseteq S'$, тобто $E^* \subseteq E' \subseteq E^U$, $R^* \subseteq R' \subseteq R^U$, $G^* \subseteq G' \subseteq G^U$. При цьому кожна з підмножин

множини існування E', R', G' і допустимої множини E^*, R^*, G^* формуються з урахуванням інших підмножин (рис. 7.3).

На наступних етапах задача структурного синтезу системи деталізується та зводиться до вибору таких підмножин елементів $e^o \subseteq E^*$, відношень $r^o \subseteq R^*$ і топологій $g^o \subseteq G^*$ з допустимої множини, які забезпечують найбільш раціональне (наприклад, з мінімальними витратами ресурсів C^o) отримання необхідних властивостей P' .

Формалізація множини найважливіших властивостей $P' = \{p_1, p_2, \dots, p_{n_p}\}$ (де n_p – кількість виділених властивостей) дозволяє отримати кількісні оцінки ступеня досягнення мети системи та в цьому сенсі може слугувати множиною часткових критеріїв ефективності. Серед найбільш загальних вимог, що висуваються до таких систем, виділяються: якість, терміни, вартість, надійність виконання функцій, завантаження, живучість.

У процесі розв'язання задач синтезу CALS-систем прагнуть до інтегральності часткових критеріїв $K = \{k_1, k_2, \dots, k_{n_k}\}$, тобто, щоб $Card K < Card P'$ або $n_k < n_p$.

Оцінка якості варіантів побудови CALS-систем може бути здійснена з використанням методології функціонально-вартісного аналізу.

Метою створення CALS-систем є максимізація їхньої ефективності, тобто отримання максимального співвідношення розміру ефекту від їхнього використання Q і витрачених на це ресурсів C . Без втрати спільності припустимо, що існують узагальнені оцінки ефекту і витрат ресурсів (вартості) на систему

$$Q = F_1(e, r, g), \quad (7.9)$$

$$C = F_2(e, r, g), \quad (7.10)$$

де e, r, g – відповідно множини елементів, відношень між елементами та їх топологій.

Функціональний ефект системи у загальному випадку є неубутною функцією від витрачених на його досягнення ресурсів (вартості системи)

$$\bar{Q} = F(\bar{C}),$$

де \bar{Q} і \bar{C} – узагальнені скалярні оцінки ефекту та витрат на CALS-систему;

F – оператор, який відображає стратегію використання ресурсів, що визначається вибором варіанта побудови системи $s \in S^*$.

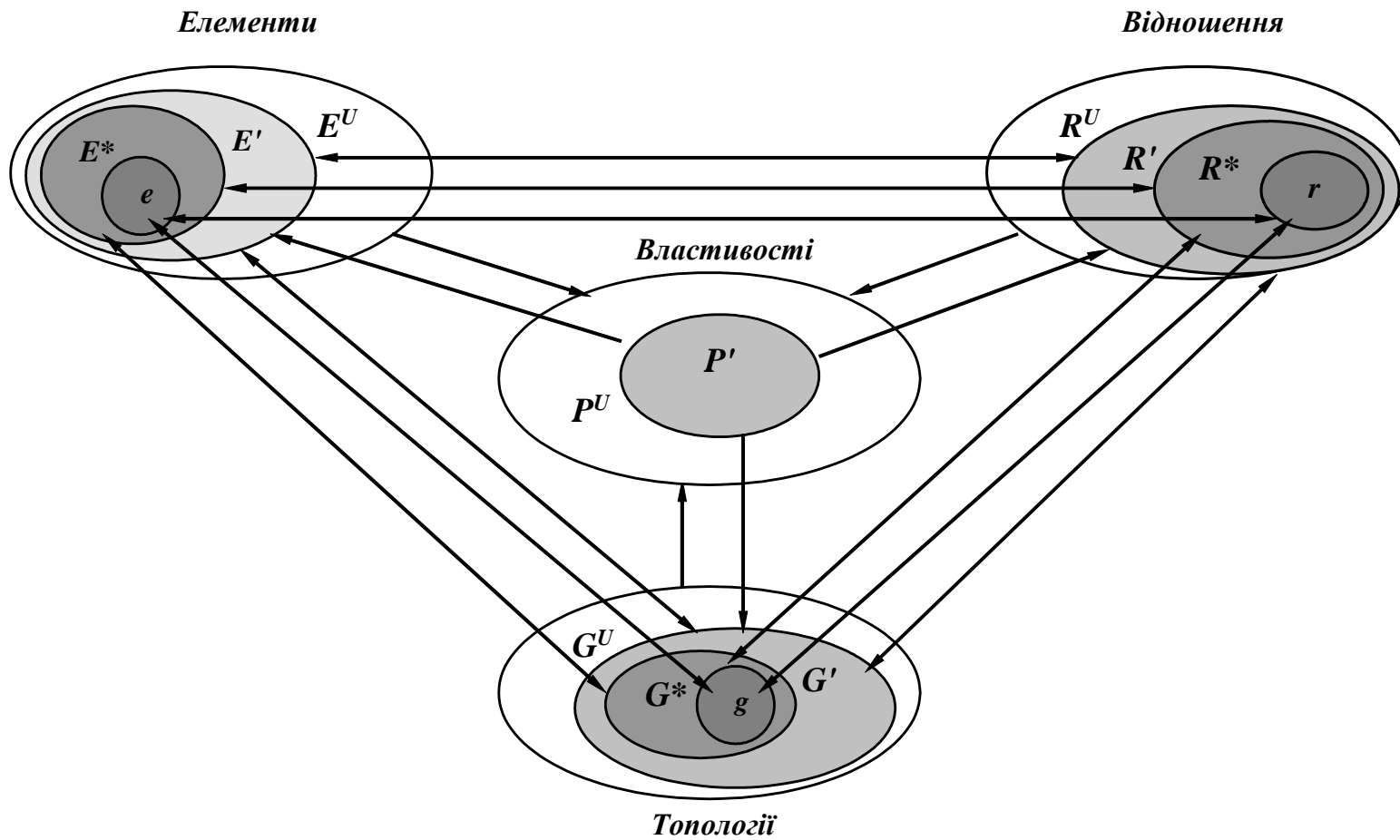


Рисунок 7.3 – Схема зв'язків категорій «Елемент», «Відношення», «Топологія» та «Властивість» у процесі структурного синтезу CALS-систем

На ранніх етапах проектування виникає задача вибору варіанта побудови системи за комплексним критерієм

$$x^o = \arg \underset{Q,C,F}{opt} \Theta(Q, C, F), \quad (7.11)$$

де $opt\Theta$ – оператор, який визначає конкретний вигляд критерію ефективності.

В умовах заданих обмежень на показники ефекту та витрат задача синтезу системи (7.11) на основі комплексного критерію може бути подана в одній з форм:

$$s_1^o = \arg \max_{s \in S^*} (\bar{Q}(s) - \bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*), \quad (7.12)$$

$$s_2^o = \arg \max_{s \in S^*} (\bar{Q}(s) / \bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*), \quad (7.13)$$

де \bar{Q}^* , \bar{C}^* – граничні рівні приведених узагальнених оцінок ефекту та витрат на систему;

$S^* = \{s\}$ – множина допустимих варіантів побудови системи.

Частковими випадками задач (7.12) – (7.13) є задачі інженерного синтезу CALS-системи:

– в умовах заданих обмежень на ресурси (витрат) визначити варіант побудови системи, який максимізуватиме приведений ефект:

$$s_3^o = \arg \max_{s \in S^*} (\bar{Q}(s) : \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*); \quad (7.14)$$

– в умовах заданих обмежень на рівень ефекту від використання CALS-системи визначити варіант її побудови, що потребує мінімальних приведених витрат на створення та (або) експлуатацію:

$$s_4^o = \arg \min_{s \in S^*} (\bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*). \quad (7.15)$$

Проблема структурного синтезу CALS-систем є багатогранною, включає комплекси задач вибору структури, топології, технології функціонування, параметрів елементів і зв'язків, всебічної оцінки і вибору варіантів на різних етапах його життєвого циклу. Крім того, опис систем та задач їх синтезу у вигляді (7.11) – (7.15) є досить загальними. Для отримання по них проектних рішень необхідна їх подальша деталізація.

7.4 Вибір і формалізація критеріїв оцінки ефективності системи

Спрощено мету створення CALS-системи можна сформулювати як задоволення потреб множини користувачів (об'єктів) $Ob = \{ob_i\}$, $i = \overline{1, n_o}$ (де n_o – кількість користувачів) в інформаційному обслуговуванні. Ступінь досягнення

мети можна оцінити множиною найважливіших властивостей системи $p = \{ p_i : i = \overline{1, n_p} \}$ (де n_p – кількість виділених властивостей), що характеризують, зокрема, ефекти від її функціонування Q і витрати C , пов'язані з її створенням і експлуатацією. Найбільш істотними і загальними вимогами, що висуваються до подібних систем, є: якість, терміни і витрати на виконання функцій [61].

Під якістю виконання функцій системою розуміється ступінь задоволення вимог користувачів. Як показники якості обслуговування можуть використовуватись своєчасність, достовірність та точність виконання інформаційно-обчислювальних задач. Рівень якості обслуговування визначається, як правило, складом типових елементів CALS-систем $e \subseteq E^*$ (обчислювальних засобів, баз даних, мереж зв'язку) і технологією їх функціонування.

Виконання покладених на CALS-систему функцій має здійснюватися в мінімальні $\tau \rightarrow \min$ або у встановлені терміни $\tau \leq \tau^*$ (де τ^* – допустимий час на реалізацію функцій). Порушення встановлених термінів τ^* , як правило, вважається неприпустимим і викликає збільшення часу виконання проектних робіт або зниження якості керування виробничим процесом.

Під вартістю виконання функцій C розуміються витрати на створення і (або) експлуатацію CALS-системи, що реалізує заданий набір функцій. Іноді як вартість виконання функцій розглядають окремі складові наведених витрат, наприклад, тільки капітальні або експлуатаційні витрати, деякі їх складові або її питомий показник (наприклад, витрати на реалізацію однієї з функцій). Крім перерахованих вище вимог до CALS-систем можуть висуватися також такі вимоги, як живучість, надійність, завантаження системи, пропускна здатність ритмічність її роботи тощо. У процесі структурного синтезу з них частіше за інших враховуються живучість (*Survivability*) і надійність (*Reliability*) систем. Під живучістю і надійністю системи розуміється стійкість її функціонування щодо пошкоджень елементів і зв'язків. Причому термін «живучість» використовується для аварійних пошкоджень, а термін «надійність» – для випадкових відмов.

Деякі властивості CALS-систем є взаємопов'язаними та змінюються узгоджено. Так, наприклад, вимога неприпустимості відмови у реалізації функції призводить до того, що ненадійність одних елементів збільшує час виконання функції за допомогою інших елементів; збільшення кількості або потужностей елементів системи знижує ступінь її завантаження, збільшуючи витрати на виконання функцій тощо. У процесі створення й експлуатації системи ступінь задоволення перерахованим вимогам, що виражається

множиною її найважливіших властивостей $p = \{p_i : i = \overline{1, n_p}\}$, розглядається часткові критерії її ефективності $K = \{k_i : i = \overline{1, n_k}\}$. Інші властивості розглядаються при цьому як обмеження.

В рамках обраних показників ефективності задача синтезу CALS-системи може бути сформульована у такому вигляді.

Задані множини: територіально розосереджених об'єктів (користувачів), що потребують інформаційного обслуговування $Ob = \{ob_i\}$, $i = \overline{1, n_o}$, і їх характеристик (територіальне розташування, інтенсивність надходження вимог, трудомісткість обслуговування тощо); типових елементів $\Omega_E = \{\omega\}$ і зв'язків $\Omega_C = \{\omega\}$, на базі яких створюється система; місць можливого розміщення її елементів $G = \{g\}$; допустимих технологій її функціонування $\Gamma = \{\gamma\}$.

Необхідно визначити: кількість елементів системи n_E ; їхні типи $X = \{x_i^\omega\}$, $i = \overline{1, n_E}$, $\omega \in \Omega_E$; місця розміщення елементів $Y = \{y_i^g\}$, $i = \overline{1, n_E}$, $g \in G$; множини і типи зв'язків між елементами $R = \{r_{ij}^\omega\}$, $i, j = \overline{1, n_E}$, $\omega \in \Omega_C$; підмножини об'єктів, що обслуговуються кожним з елементів $V = \{Ob_i\}$, $i = \overline{1, n_E}$, $\bigcup_{i=1}^{n_E} Ob_i = Ob$, і технології їх обслуговування $Z = \{z_i^\gamma\}$, $i = \overline{1, n_E}$, $\gamma \in \Gamma$. При цьому бажаною метою є екстремізація визначених часткових критеріїв ефективності:

– витрат

$$C(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \min_{n_E, X, Y, R, V, Z}; \quad (7.16)$$

– оперативності

$$\theta(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \max_{n_E, X, Y, R, V, Z}; \quad (7.17)$$

– живучості

$$\psi(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \max_{n_E, X, Y, R, V, Z}; \quad (7.18)$$

– надійності

$$\mu(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \max_{n_E, X, Y, R, V, Z}. \quad (7.19)$$

Витрати на створення і (або) експлуатацію системи можна вважати такими, що складаються з витрат на її елементи (елементи, вузли, центри) та зв'язки між ними. У цьому випадку з використанням показника витрат на

CALS-систему її вартості C критерій (7.16) може бути поданий у такому вигляді:

$$C = \sum_{i=1}^{n_E} \sum_{\omega \in \Omega_E} \sum_{\gamma \in \Gamma} c_i^{\omega\gamma} x_i^\omega z_i^\gamma + \sum_{i,j=1}^{n_E} \sum_{g,h \in G} \sum_{\omega \in \Omega_c} c_{ij}^{gh\omega} y_i^g y_j^h r_{ij}^\omega \rightarrow \min_{n_E, X, Y, R, V, Z}, \quad (7.20)$$

де $c_i^{\omega\gamma}$ – вартість i -го елемента системи типу $\omega \in \Omega_E$, який функціонує з використанням технології $\gamma \in \Gamma$, $i = \overline{1, n_E}$;

x_i^ω – булева змінна ($x_i^\omega = 1$, якщо i -й елемент системи типу ω ; $x_i^\omega = 0$ – в іншому випадку);

z_i^γ – булева змінна ($z_i^\gamma = 1$, якщо i -й елемент системи використовує технологію γ ; $z_i^\gamma = 0$ – в іншому випадку);

$c_{ij}^{gh\omega}$ – вартість зв'язку типу $\omega \in \Omega_c$ між елементами i і j , розташованими в пунктах $g \in G$ і $h \in G$;

y_i^g, y_j^h – булеві змінні ($y_i^g = 1, y_j^h = 1$, якщо відповідно i -й або j -й елемент системи розміщені в пунктах g і h ; $y_i^g = 0, y_j^h = 0$ – в іншому випадку);

r_{ij}^ω – булева змінна ($r_{ij}^\omega = 1$, якщо між елементами i і j системи використовується зв'язок типу $\omega \in \Omega_c$; $r_{ij}^\omega = 0$ – в іншому випадку).

Одним з найбільш інформативних показників оперативності CALS-систем є час перебування вимог об'єктів обслуговування в системі. Він складається з витрат часу на всіх стадіях процесу обслуговування: очікування, пошуку інформації, обробки і передачі між елементами. З використанням показника оперативності θ часу перебування вимог k -го об'єкта в системі τ_k , $k = \overline{1, n_o}$, у прийнятих вище позначеннях критерій (7.17) може бути поданий у такому вигляді:

$$\tau_k = \sum_{i \in E_k} \sum_{\omega \in \Omega_e} \sum_{\gamma \in \Gamma} \tau_{ki}^{\omega\gamma} x_i^\omega z_i^\gamma + \sum_{i,j \in E_k} \sum_{g,h \in G} \sum_{\omega \in \Omega_c} \tau_{kij}^{gh\omega} y_i^g y_j^h r_{ij}^\omega \rightarrow \min_{n_E, X, Y, R, V, Z}, \quad (7.21)$$

де E_k – множина елементів системи, що беруть участь в обслуговуванні вимог k -го користувача, $k = \overline{1, n_o}$;

$\tau_{ki}^{\omega\gamma}$ – час обробки вимог k -го користувача i -м елементом системи типу $\omega \in \Omega_e$, що функціонує з використанням технології $\gamma \in \Gamma$;

$\tau_{kij}^{gh\omega}$ – час передачі вимог k -го користувача між i -м і j -м елементами системи, що розміщені в пунктах $g \in G$ і $h \in G$ з використанням каналу зв'язку типу $\omega \in \Omega_c$.

Оцінку часу перебування вимог у системі (залежно від конкретної постановки задачі) можна використовувати його максимальне або середньозважене значення

$$\tau = \max_{1 \leq k \leq n_o} \tau_k \rightarrow \min_{n_E, X, Y, R, V, Z}, \quad (7.22)$$

$$\tau = \sum_{k=1}^{n_o} \bar{e}_k \tau_k \rightarrow \min_{n_E, X, Y, R, V, Z}, \quad (7.23)$$

де n_o – кількість користувачів системи;

τ_k – час перебування вимог k -го користувача в системі;

\bar{e}_k – коефіцієнт, що характеризує питому вагу вимог k -го користувача, $k = \overline{1, n_o}$.

Серед показників живучості, які використовуються в процесах оптимізації варіантів побудови систем, виділяються показники їх структурної та функціональної живучості [61].

Показники структурної живучості визначаються на основі аналізу топологічної структури системи, а також надійності її елементів і зв'язків між ними. Вони формуються на основі оцінок зв'язності системних графів: реберна, вершинна, змішана зв'язність. Більшість з них визначає мінімальну кількість вершин і (або) ребер, видалення яких призводить до втрати зв'язності системного графа. Такі показники є малоінформативними у синтезі ненадлишкових (деревовидних) структур і структур із заданою надлишковістю, оскільки дають тривіальні результати.

Під час оцінки функціональної живучості може також визначатися відносна частина функцій (функціональних задач), які здатна виконувати система або зниження її працездатності за різних класів ушкоджень (відмов). При цьому показники функціональної живучості багато в чому визначаються показниками структурної живучості CALS-системи.

Для оцінки структурної живучості системи, побудованої на однотипних елементах і каналах (зв'язках), пропонується використовувати детерміновані показники, що визначають середню або питому кількість пар елементів системи, що залишаються зв'язаними в одночасному пошкодженні певної кількості елементів і (або) зв'язків між елементами. Позначимо через n^* кількість пар елементів системи, які повинні бути пов'язані між собою (не обов'язково безпосередньо), а через n_i – кількість пар елементів, які втратили зв'язок через пошкодження або вихід з ладу i -го елемента. Тоді при виході з ладу одного елемента середня кількість пар елементів, які залишаються

зв'язаними, для систем з однотипними елементами і зв'язками може бути визначена в такий спосіб:

$$\psi_E = \frac{\sum_{i=1}^{n_E} (n^* - n_i)}{n_E}, \quad (7.24)$$

де n_E – загальна кількість елементів системи.

Середня кількість пар елементів системи ψ_E , що залишаються зв'язними з одночасним виходом з ладу q_E елементів, складає:

$$\psi_E = \frac{\sum_{j=1}^{n_{qE}} (n^* - n'_j)}{n_{qE}}, \quad (7.25)$$

де n'_j – кількість пар елементів, які втратили зв'язок через пошкодження (виходу з ладу) j -го набору з q_E елементів;

n_{qE} – кількість різних можливих наборів з q_E елементів на множині з n_E елементів (дорівнює кількості пар сполучень $C_{n_E}^{q_E}$).

Позначимо через n_l кількість пар елементів, які втратили зв'язок внаслідок виходу з ладу l -го зв'язку (зв'язку між деякою парою елементів i та j). Наявність безпосередніх зв'язків між елементами задається матрицею суміжності системи $R = \{r_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, n_e}$. Тоді з виходом з ладу тільки одного зв'язку середня кількість пар елементів, які залишаються зв'язними, може бути визначена за співвідношенням:

$$\psi_r = \frac{\sum_{l=1}^{n_r} (n^* - n_l)}{n_r}, \quad (7.26)$$

де $n_r = |R|$ – загальна кількість зв'язків між суміжними елементами системи (дорівнює кількості одиниць в матриці суміжності системи R).

Середня кількість пар елементів ψ_r , що залишаються зв'язними в одночасному виході з ладу q_r зв'язків між суміжними елементами, за аналогією з (7.25) дорівнює:

$$\psi_r = \frac{\sum_{l=1}^{n_{qr}} (n^* - n'_l)}{n_{qr}}, \quad (7.27)$$

де n'_l – кількість елементів, що втратили зв'язок через пошкодження або вихід з ладу l -го набору з q_r зв'язків між суміжними елементами;

n_{qr} – кількість різних можливих наборів з q_r зв'язків, які вийшли з ладу, на множині всіх n_r зв'язків (дорівнює кількості пар сполучень $C_{n_r}^{q_r}$).

На практиці іноді зручніше користуватися відносними оцінками структурної живучості (7.25) і (7.27), що показують частку, яку складають зв'язані елементи системи від загальної кількості пар елементів, між якими повинні існувати зв'язки:

$$\bar{\psi}_E = \frac{\psi_E}{n^*}, \quad \bar{\psi}_r = \frac{\psi_r}{n^*}. \quad (7.28)$$

Використання в показниках (7.24) – (7.28) параметра n^* (кількість пар елементів системи, які мають бути пов'язані між собою) замість параметра $C_{n_E}^2$ (кількість сполучень пар елементів) у багатьох випадках дозволяє суттєво спростити обчислення оцінок. Для систем з різнотипними елементами, вузлами і зв'язками між ними запропоновані моделі (7.24) – (7.28) можуть бути деталізовані в напрямку врахування ваг зв'язаних елементів. Показники надійності варіантів побудови CALS-систем $\mu(n_E, X, Y, R, V, Z)$ залежать від обраних типових елементів і зв'язків між ними і можуть бути визначені аналітично тільки для конкретних структур. У загальному випадку в процесі структурного синтезу системи вони визначаються за допомогою імітаційних моделей.

З метою забезпечення ефективності рішень на всіх етапах життєвого циклу CALS-систем необхідна розробка єдиної методології їх структурного синтезу, яка передбачає коректну декомпозицію проблеми на комплекси завдань, що належать до різних рівнів опису і етапів синтезу (проектування), розробку комплексу відповідних моделей і проектних процедур технології синтезу.

7.5 Декомпозиція проблеми оптимізації системи

Традиційно проблема структурного синтезу CALS-системи розглядається як така, що складається із сукупності неповністю визначених завдань проектування, для яких не сконструйовані схеми і не синтезовані моделі проектування, що дозволяє віднести її до числа слабоструктурованих [60, 62]. Складність CALS-систем не дозволяє створювати їх єдиний формалізований опис (модель) і знаходити за ним ефективне проектне рішення в рамках єдиної проектної процедури.

Методологія структурного синтезу CALS-систем базується на ідеях агрегативно-декомпозиційного і блочно-ієрархічного підходів, які передбачають розбиття опису за ступенем деталізації на ієрархічні рівні й

аспекти, а процесу проектування – на групи проектних процедур, пов'язаних з отриманням і перетворенням описів (рішень) щодо виділених рівнів і аспектів з подальшим їх об'єднанням (агрегацією) для отримання на відповідному рівні рішень по системі в цілому.

Розглянемо проблему метазадачу *MetaTask*, що складається з множини задач, які належать до різних ієрархічних рівнів декомпозиції, з їх взаємозв'язками за вихідними даними і результатами розв'язання:

$$MetaTask = \{Task^l\}, \quad Task^l = \{Task_i^l\}, \quad i = \overline{1, i_l}, \quad l = \overline{1, n_l}, \quad (7.29)$$

де $Task^l$ – множина задач синтезу, що належать до рівня l ;

n_l – кількість рівнів опису CALS-системи;

i – номер задачі;

i_l – кількість задач, що підлягають розв'язанню на рівні l .

Кожну з задач на цьому етапі подаватимемо у вигляді деякого перетворювача даних

$$Task_i^l: In_i^l \rightarrow Out_i^l, \quad i = \overline{1, i_l}, \quad l = \overline{1, n_l}, \quad (7.30)$$

де In_i^l, Out_i^l – відповідно вхідні та вихідні дані i -ї задачі l -го рівня.

При цьому кожна з виділених задач $Task_i^l, i = \overline{1, i_l}, l = \overline{1, n_l}$, зазвичай, може бути подана у вигляді множини взаємопов'язаних підзадач $Task_i^l = \{Task_{ij}^l\}, j = \overline{1, j_i}$ (де j_i – кількість підзадач задачі $Task_i^l$).

Системологічний аналіз проблеми синтезу CALS-систем і огляд її сучасного стану дозволяють зробити висновок про доцільність використання в конструкторському і техніко-економічному аспектах трьох ступенів деталізації їх опису на *мета-, макро- і мікрорівнях* (рис. 7.4).

На *метарівні* проблема *MetaTask* розглядається в цілому, аналізується її місце серед інших проблем проектування виробів, технологій їх виготовлення тощо. Більшість задач *макрорівня* за своєю суттю є задачами системного проектування і відрізняються обмеженнями, які відображають специфіку основних етапів життєвого циклу CALS-системи:

$$Task^l = \{Task_i^l\}, \quad i = \overline{1, 5}, \quad (7.31)$$

де $Task_1^l$ – формування вимог до CALS-системи та розробка технічного завдання на проектування;

$Task_2^l$ – системне проектування;

$Task_3^l$ – планування розвитку системи;

$Task_4^l$ – адаптація системи;

$Task_5^l$ – реінжиніринг CALS-системи.

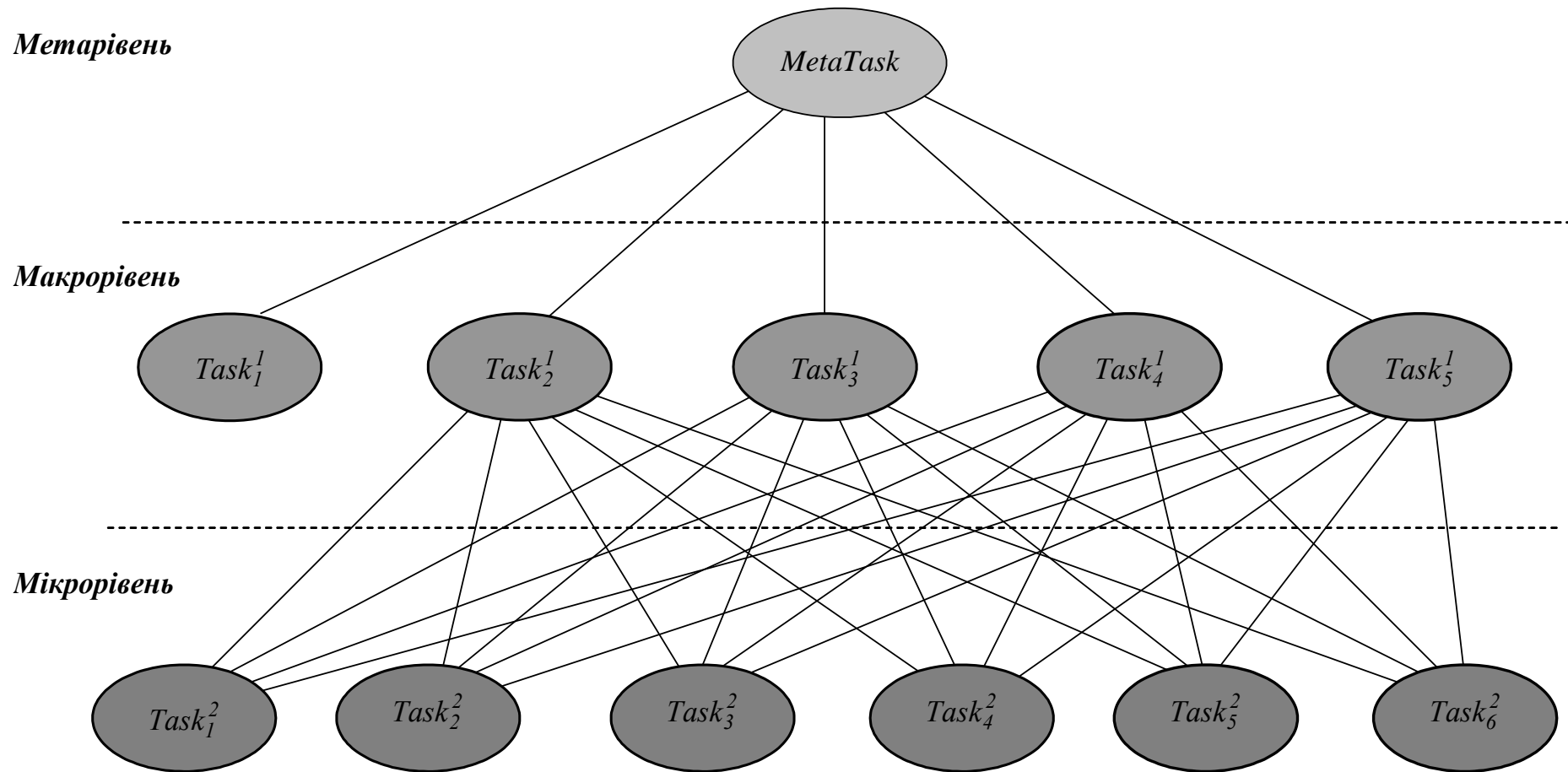


Рисунок 7.4 – Схема декомпозиції проблеми структурного синтезу CALS-системи

В рамках задачі $Task_1^I$ визначаються цілі, для досягнення яких створюється CALS-система, уточнюється коло вирішуваних нею завдань, досліджуються властивості зовнішнього середовища, характеристики її впливу (множина користувачів, їх топологія, інтенсивність і трудомісткість їх запитів тощо), визначаються можливі принципи її побудови Π .

Основною метою розв'язання цієї задачі є визначення оптимального співвідношення ефекту Q^* від використання системи і витрат (вартості) на його досягнення C^* , тобто по суті в розв'язанні задачі (7.6), а також області існування системи S' . Особливу важливість ця задача має під час синтезу систем нових видів (які не мають аналогів за програмними цілями або виконуваними функціями). Її рішення може бути отримано шляхом функціонально-вартісного аналізу створюваної CALS-системи.

Вхідні та вихідні дані задачі формування вимог до CALS-системи та розробки технічного завдання на проектування $Task_1^I$ можуть бути подані у такому вигляді

$$Task_1^I: \{ObjS, Los, Ben, S^U\} \rightarrow \{K, Q^*, C^*, \Pi, S'\}, \quad (7.32)$$

де $ObjS$ (*om Objects of Service*) – множина характеристик користувачів системи;

Los (*om Losses*) – множина втрат, пов'язаних з незадовільною роботою CALS-системи (або її відсутністю);

Ben (*om Benefits*) – множина ефектів від використання створюваної CALS-системи;

$S^U = \{s\}$ – вихідна множина варіантів побудови системи, яка визначається універсальними множинами її елементів E^U , відношень (зв'язків) між ними R^U і їхнього розміщення (топологій) G^U ;

K – множина критеріїв для оцінки та вибору варіантів побудови CALS-системи;

$S' = \{s\}$ – область існування системи, яка визначається множинами елементів E' , відношень між ними R' та їхніх топологій G' , що дозволяють отримати необхідний набір її властивостей Q^* .

Особливістю цієї задачі є оцінковий характер вихідної інформації, її низька достовірність, евристичний характер оцінок, більшість з яких визначаються експертним шляхом.

Задача системного проектування $Task_2^I$ полягає у визначенні найкращого за множиною обраних критеріїв K варіанта побудови CALS-системи s^o на основі допустимих принципів її побудови Π , а також заданих структурних, топологічних, параметричних і технологічних обмежень $S' = \{s\}$, рівнів її ефекту

Q^* і (або) її вартості C^* . Ступінь визначеності вихідної інформації при цьому є більш високим, ніж для попередньої задачі.

Формально задача $Task_2^1$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_2^1: \{ObjS, K, Q^*, C^*, S', P\} \rightarrow \{s^o, K(s^o)\}, \quad (7.33)$$

де s^o – ефективний варіант побудови CALS-системи, $s^o \in S^*$;

$K(s^o)$ – множина покритеріальних оцінок варіанта s^o .

Задача планування розвитку CALS-системи $Task_3^1$ полягає у виборі для заданої множини моментів часу $T=\{t\}$ ефективної траєкторії зміни структури s_t^o у процесі її еволюції зі зміною обсягів запитів користувачів $ObjS_t$, ресурсного забезпечення C_t^* , зміни обмежень на якість виконання функцій Q_t^* . Метою є визначення найкращої за множиною критеріїв $K(s) = \{k_j(s)\}_{j=1}^m$ послідовності введення в експлуатацію окремих елементів чи підсистем, що забезпечують на кожному з етапів необхідний рівень ефективності Q_t^* в умовах обмежень на розміри виділених ресурсів C_t^* . При цьому передбачається розв'язання множини пов'язаних за вхідними й вихідними даними задач системного проектування виду (7.33).

Формально задача планування розвитку системи $Task_3^1$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_3^1: \{T, ObjS_t, K, Q_t^*, C_t^*, S'\} \rightarrow \{s_t^o, K(s_t^o)\}, \quad (7.34)$$

де $T = \{t\}$ – множина моментів часу, які відповідають етапам планування розвитку системи;

$S'=\{s\}$ – множина допустимих варіантів побудови CALS-системи з області її існування;

s_t^o – ефективний варіант побудови CALS-системи на t -му етапі, $s_t^o \in S'$;

$K(s_t^o)$ – множина покритеріальних оцінок варіанта s_t^o .

Задача структурної адаптації CALS-системи $Task_4^1$ розв'язується в процесі її експлуатації та пов'язана з необхідністю відносно незначних структурних, технологічних, топологічних або параметричних змін отриманого раніше варіанта $s^o \in S'$ у зв'язку зі змінами множини і (або) характеристик користувачів $Obj\tilde{S}$, зміною деяких елементів або підсистем, необхідних рівнів ефекту або витрат тощо.

Формально задача структурної адаптації CALS-системи $Task_4^1$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_4^1: \{Obj\tilde{S}, s^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}'\} \rightarrow \{\tilde{s}^o, K(\tilde{s}^o)\}, \quad (7.35)$$

де \tilde{S}' – допустима множина варіантів адаптації системи;

\tilde{s}^o – ефективний адаптований варіант побудови CALS-системи;

$K(\tilde{s}^o)$ – покритеріальна оцінка варіанту \tilde{s}^o .

Задача реінжинірингу CALS-системи $Task_5^1$ розв'язується в процесі її експлуатації та пов'язана з необхідністю кардинальних структурних, технологічних, топологічних або параметричних змін у зв'язку зі змінами множини й (або) характеристик запитів користувачів, розширенням множини функціональних задач, удосконаленням елементної бази та (або) технологій реалізації функцій системи, що роблять існуючий варіант системи малоефективним. При цьому допускається як повна заміна елементів і технологій їх взаємодії, так і їх модернізація, пов'язана зі зміною їх вартісних і функціональних характеристик Δ_{ER} .

Формально задача реінжинірингу CALS-системи $Task_5^1$ може бути подана у такому вигляді

$$Task_5^1: \{Obj\tilde{S}, s^o, \tilde{Q}^*, \tilde{C}^*, \tilde{S}', \Delta_{ER}\} \rightarrow \{\tilde{s}^o, K(\tilde{s}^o)\}, \quad (7.36)$$

де s^o і \tilde{s}^o – відповідно попередній варіант і варіант побудови CALS-системи, отриманий в результаті її реінжинірингу;

Δ_{ER} – множина змін функціональних і вартісних характеристик, пов'язаних з переходом на нову елементну та технологічну базу.

Комплекс задач метарівня (7.32) – (7.36) охоплює все коло питань структурного синтезу CALS-системи, що виникають на стадіях передпроектних досліджень, проектування, створення й експлуатації, що розв'язуються в системах їх проектування й управління ними.

Основні задачі мікрорівня пов'язані з вирішенням питань системного проектування CALS-системи:

$$Task^2 = \{Task_i^2\}, \quad i = \overline{1, 6}, \quad (7.37)$$

де $Task_1^2$ – вибір принципів побудови CALS-системи;

$Task_2^2$ – вибір структури системи;

$Task_3^2$ – визначення топології елементів і зв'язків системи;

$Task_4^2$ – вибір технології функціонування системи;

$Task_5^2$ – визначення параметрів елементів і зв'язків системи;

$Task_6^2$ – оцінка ефективності варіантів побудови системи і вибір найкращого серед них.

Вибір принципів побудови та функціонування CALS-системи π з множини допустимих Π , визначених за результатами розв'язання задачі $Task_1^1$, здійснюється неформальними методами на підставі знань і досвіду проектувальників. При цьому множина варіантів, яка визначається областю існування системи S' , і подається множинами елементів E' , відношень R' і топологій G' , скорочується до множини допустимих варіантів побудови CALS-системи $S^* \subseteq S'$, що визначається допустимими множинами елементів $E^* \subseteq E'$, відношень $R^* \subseteq R'$ і топологій $G^* \subseteq G'$.

Формально задача вибору принципів побудови CALS-системи $Task_1^2$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_1^2 : \{ObjS, \Pi, S', K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{\pi, S^*\}, \quad (7.38)$$

де $ObjS$ – множина характеристик користувачів системи;

K – множина критеріїв для оцінки та вибору варіантів побудови CALS-системи;

Q^*, C^* – задані граничні рівні ефекту від використання і витрат на систему;

$S^* = \{s\}$ – область допустимих варіантів побудови системи, що задається множинами елементів E^* , відношень R^* і топологій G^* виходячи з обраних принципів її побудови $\pi \in \Pi$.

Задача вибору структури $Task_2^2$ полягає в довизначенні варіанта побудови CALS-системи s_{AB} (з заданими технологією функціонування $A = \psi_A(E, R)$, параметрами елементів і відношень (зв'язків) між ними $B = \psi_B(E, R)$) кількістю елементів $|E|$ і зв'язками між ними $R \subseteq R^*$, а також оцінці властивостей отриманого варіанта s_{ER} у критеріальному просторі K . Задача розв'язується в умовах заданих рівнів ефекту Q^* і витрат C^* .

Формально задача вибору структури $Task_2^2$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_2^2 : \{ObjS, A, B, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{|E|, R, s_{ER}, K(s_{ER})\}. \quad (7.39)$$

Задача вибору топології (територіального чи просторового розміщення) елементів і зв'язків $Task_3^2$ полягає в довизначенні для заданих множин елементів E , зв'язків між ними R , параметрів B і технології функціонування A варіанта побудови CALS-системи s_{ERAB} кращою топологією $G \subseteq G^*$. При цьому враховуються обмеження на допустимі рівні ефекту Q^* і витрат C^* .

Формально задача вибору топології елементів і зв'язків $Task_3^2$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_3^2 : \{ObjS, E, R, A, B, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{G, s_G, K(s_G)\}, \quad (7.40)$$

де s_G – варіант побудови з оптимізованою топологією.

Задача вибору технології функціонування CALS-системи $Task_4^2$ полягає у довізначенні в умовах заданих множин елементів E , зв'язків між ними R , топології G , параметрів елементів і зв'язків $B = \psi_B(E, R)$ варіанта її побудови s_{ERGB} найкращою технологією $A = \psi_A(E, R)$. При цьому також задані рівні необхідного ефекту Q^* і граничних витрат C^* .

Формально задача вибору технології функціонування CALS-системи $Task_4^2$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_4^2 : \{ObjS, E, R, G, B, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{A, s_A, K(s_A)\}, \quad (7.41)$$

де s_A – варіант побудови CALS-системи з оптимізованою технологією її функціонування.

Задача визначення параметрів елементів і зв'язків системи $Task_5^2$ полягає у виборі варіанта побудови $s_B \in S^*$, що має кращі їх значення B за множиною показників K . Розв'язання задачі здійснюється в умовах заданих структурних $(|E|, R)$, топологічних G і технологічних A характеристик системи. Необхідним є параметричне довізначення варіанта s_{ERGA} . Результати розв'язання цієї задачі є основою для вибору типів вузлів, елементів і зв'язків із заданих множин типових зразків.

Формально задача визначення параметрів елементів і зв'язків CALS-систем $Task_5^2$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_5^2 : \{ObjS, |E|, R, G, A, S^*, K, Q^*, C^*\} \rightarrow \{B, s_B, K(s_B)\}. \quad (7.42)$$

Задача визначення ефективності варіантів і вибору рішень $Task_6^2$ полягає в оцінці варіантів побудови CALS-системи $s \in S^*$ за множиною критеріїв K і виборі найкращого варіанта $s^o = \underset{s}{arg\ opt} K(s)$. Її розв'язання здійснюється в умовах заданих структурних (E, R) , топологічних G і технологічних A характеристик системи, а також параметрів елементів і зв'язків B .

Формально задача визначення ефективності варіантів CALS-системи і вибору найкращого серед них $Task_6^2$ може бути подана у такому вигляді:

$$Task_6^2 : \{ObjS, Q^*, C^*, S^*, K\} \rightarrow \{s^o, K(s^o)\}. \quad (7.43)$$

Подальша декомпозиція задач мікрорівня $Task_i^2 = \{Task_{ij}^2\}$, $j = \overline{1, j_i}$ (де j_i – кількість підзадач задачі $Task_i^2$) приводить до комплексу задач синтезу елементів, зв'язків між ними і елементів технологій функціонування CALS-системи. У процесі системного проектування CALS-системи вирішення з цього комплексу задач вважаються визначеними і використовуються вихідні дані (обмежень) у вигляді множин допустимих значень їх функціональних і вартісних характеристик B^* .

Кожна з задач проблеми має підтримуватися системою моделей різного рівня деталізації, а отже різної точності й складності. Вони утворюють відкритий банк моделей, узгоджених за змінними та параметрами. Це дозволить, залежно від специфіки задач і умов їх розв'язання формувати ланцюжки моделей у рамках використовуваної технології проектування.

Процес структурного синтезу CALS-системи, крім перерахованих, може включати інші задачі, пов'язані з її специфікою або специфікою використовуваної методології синтезу. Зростання потужності обчислювальної техніки на практиці дозволяє вирішувати комплексні задачі мікрорівня: структурно-топологічного, структурно-технологічного, структурно-параметричного синтезу.

Для побудови ефективної технології структурного синтезу CALS-системи необхідна розробка комплексу моделей всіх задач (7.37) з урахуванням наборів вхідних і вихідних даних (7.38) – (7.43), на основі якого може бути створена логічна схема процесу її проектування.

7.6 Синтез логічної схеми системного проектування

Під час реалізації системного підходу в процесі проектування й оптимізації CALS-систем однією з головних задач є формалізоване подання процесу розв'язання сукупності взаємопов'язаних підзадач. Таку формалізацію зручно подавати у вигляді логічної схеми побудови глобального проектного рішення. Технологія розв'язання задачі структурного синтезу CALS-систем реалізується на основі агрегативно-декомпозиційного підходу, методів системного аналізу та системного проектування складних об'єктів [64-65].

На основі виконаної формалізації структурного опису і цілей створення CALS-системи та їх декомпозиції на комплекси взаємопов'язаних задач доцільною є розробка мережної математичної моделі базової задачі її структурного синтезу – задачі системного проектування. Множини можливих шляхів на мережі побудованої у такий спосіб моделі визначають множини моделей, які можна сформувати з її елементарних складових. Ступінь агрегації моделей у процесі структурного синтезу визначається ефективністю

використовуваних методів оптимізації та потужністю наявних засобів обчислювальної техніки. На основі отриманої мережної моделі може бути побудована логічна схема системного проектування, що визначає черговість розв'язання задач синтезу CALS-системи. Для визначення схеми проектування CALS-системи *CirDes* (от *Circuit of Designing*) необхідно визначити таку п'ятірку множин:

$$CirDes = (Tasks, InDat, Res, DesDec, ProcDec), \quad (7.39)$$

де *Tasks* (від *Tasks of Designing*) – упорядкована множина задач проектування;

$Task_i^l$ – i -та задача проектування l -го рівня;

InDat (від *Initial Data*) – множина вхідних даних;

Res (від *Restrictions*) – множина обмежень задач;

DesDec (від *Design Decisions*) – множина проектних рішень;

ProcDec (від *Procedures of Decision*) – відображення, що має сенс вирішальної (проектної) процедури і ставить кожній парі «вхідні дані-обмеження» $(InDat_i^l, Res_i^l)$ непорожню підмножину *DesDec*, що позначається як *ProcDec* $(InDat_i^l, Res_i^l)$. Вся множина задач проектування CALS-системи *Tasks* є повністю розв'язною, якщо для всіх задач $Task_i^2$, $i = \overline{1,6}$ існують проектні процедури $ProcDec_i^2$, $i = \overline{1,6}$ і кожне проектне рішення є єдиним:

$$|ProcDec(InDat_i^l, Res_i^l)| = 1.$$

Основними задачами, пов'язаними з вирішенням питань системного проектування CALS-систем є: $Task_1^2$ – вибір принципів побудови CALS-системи; $Task_2^2$ – вибір структури системи; $Task_3^2$ – визначення топології елементів і зв'язків системи; $Task_4^2$ – вибір технології функціонування системи; $Task_5^2$ – визначення параметрів елементів і зв'язків між елементами системи; $Task_6^2$ – оцінка ефективності варіантів побудови системи і вибір найкращого серед них.

У процесі аналізу взаємозв'язків моделей у комплексі виділених задач системного проектування кожен з моделей зручно подавати у такому вигляді:

$$ModTask_i^2 : \{ InDat_{iE}^2, InDat_{iI}^2, Res_i^2 \} \rightarrow DesDec_i^2, \quad i = \overline{1,6}, \quad (7.40)$$

де $ModTask_i^2$ (від *Model of Task*) – модель i -ї задачі 2-го рівня;

$InDat_{iE}^2$ – множина формалізованих зовнішніх (відносно комплексу задач) вхідних даних;

$InDat_{iI}^2$ – множина формалізованих внутрішніх (відносно комплексу задач) вхідних даних;

Res_i^2 – множина формалізованих обмежень задач;

$DesDec_i^2$ – проектне рішення.

У результаті аналізу комплексу задач $Task_i^2$, $i = \overline{1,6}$ встановлено, що зовнішні (відносно всього комплексу задач) вхідні дані моделей є однаковими:

$$InDat_{iE}^2 = \{ObjS, K\}, \quad i = \overline{1,6}, \quad (7.41)$$

де $ObjS$ – множина формалізованих характеристик користувачів;

K – множина критеріїв для оцінки і вибору варіантів побудови CALS-систем.

У моделі задачі вибору принципів побудови CALS-системи внутрішні вхідні дані не використовуються, тобто $InDat_{iI}^2 = \emptyset$. Виходячи з цього, систему обмежень і вихідні дані моделі цієї задачі можна подати у такому вигляді:

$$Res_1^2 = \{Q^*, C^*, \Pi, S'\}, \quad DesDec_1^2 = \{\pi, S^*\}, \quad (7.42)$$

де Q^* – необхідний рівень ефекту від використання системи;

C^* – обмеження на ресурси (вартість) системи;

Π – множина допустимих принципів побудови системи;

$S' = \{s\}$ – область існування системи, яка, виходячи зі встановлених обмежень, визначається множинами використовуваних елементів E' , існуючих відношень між ними R' і їх топологій G' ;

$\pi \in \Pi$ – обрані принципи побудови системи;

$S^* = \{s\}$ – множина допустимих варіантів побудови системи, що задається множинами допустимих елементів E^* , відношень R^* і топологій G^* , виходячи з обраних принципів побудови $\pi \in \Pi^*$.

Системи обмежень у моделях задач $Task_2^2 - Task_6^2$ співпадають і мають вигляд:

$$Res_i^2 = \{Q^*, C^*, S^*\}, \quad i = \overline{2,6}. \quad (7.43)$$

Множини формалізованих вхідних (внутрішніх) і вихідних даних задачі вибору структури системи $Task_2^2$ можна подати у такому вигляді:

$$InDat_{2I}^2 = \{A, B\}, \quad DesDec_2^2 = \{|E|, R, s_{ER}, K(s_{ER})\}, \quad (7.44)$$

де A – технологія функціонування CALS-системи;

B – множина параметрів елементів системи і відношень між ними;

$|E|$ – кількість елементів системи;

R – множина зв'язків між елементами системи;

$s_{ER}, K(s_{ER})$ – варіант побудови системи, отриманий шляхом оптимізації кількості елементів $|E|$ і зв'язків між ними R , а також оцінка його властивостей за множиною критеріїв K .

Множини формалізованих вхідних (внутрішніх) і вихідних даних задачі визначення топології елементів і зв'язків CALS-системи $Task_3^2$ можна подати у такому вигляді:

$$InDat_{3I}^2 = \{E, R, A, B\}, \quad DesDec_3^2 = \{G, s_G, K(s_G)\}, \quad (7.45)$$

де $g, s_G, K(s_G)$ – відповідно множини топологічних характеристик системи, варіант її побудови з оптимізованою топологією і його покритеріальна оцінка.

Множини формалізованих вхідних (внутрішніх) і вихідних даних задачі вибору технології функціонування CALS-системи $Task_4^2$ можуть бути подані у такому вигляді:

$$InDat_{4I}^2 = \{E, R, G, B\}, \quad DesDec_4^2 = \{A, s_A, K(s_A)\}, \quad (7.46)$$

де $A, s_A, K(s_A)$ – відповідно множини алгоритмів, що визначають технологію функціонування системи, варіант її побудови з оптимізованою технологією і його багатокритеріальна оцінка.

Множини формалізованих вхідних (внутрішніх) і вихідних даних задачі визначення параметрів елементів і зв'язків системи $Task_5^2$ можуть бути подані у такому вигляді:

$$InDat_{5I}^2 = \{|E|, R, G, A\}, \quad DesDec_5^2 = \{B, s_B, K(s_B)\}, \quad (7.47)$$

де $B, s_B, K(s_B)$ – відповідно множини параметрів елементів і зв'язків системи, варіант її побудови з оптимізованими значеннями параметрів і його покритеріальна оцінка.

Множини формалізованих обмежень, вхідних (внутрішніх) і вихідних даних задачі оцінки ефективності варіантів і вибору рішень $Task_6^2$ можуть бути подані у такому вигляді:

$$InDat_{6I}^2 = \{E, R, G, A, S^*\}, \quad DesDec_6^2 = \{s^o, K(s^o)\}, \quad (7.48)$$

де $s^o, K(s^o)$ – відповідно кращий варіант побудови CALS-системи (глобальне проектне рішення) і його покритеріальна оцінка.

Процеси проектування CALS-систем можна побудувати за паралельною, послідовною або комбінованою схемами.

У паралельній схемі проектування вся множина задач $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ (7.37) має бути повністю визначена шляхом задання множин вхідних даних $InDat_i^2$, обмежень Res_i^2 і вирішальних процедур $ProcDec_i^2$ уже на вихідному етапі проектування. При цьому повністю паралельна схема допускає будь-яку впорядкованість завдань.

Проведений аналіз вхідних і вихідних даних моделей комплексу задач системного проектування показав, що всі вони як найтісніше пов'язані між собою за внутрішніми вхідними і вихідними даними (рис. 7.5). Встановлена схема їх взаємозв'язку дозволяє зробити висновок про непридатність паралельної схеми системного проектування CALS-систем. Вирішення цього завдання доцільно будувати на основі послідовної ітераційної схеми системного проектування.

При цьому з отриманого проектного рішення $DesDec_i^2$ поточної i -ї задачі $Task_i^2$, $i = \overline{1,6}$ формуються вхідні дані $InDat_{i+1}^2$ або обмеження Res_{i+1}^2 у вирішальній процедурі $ProcDec_{i+1}^2$ для наступної задачі $Task_{i+1}^2$. У такий спосіб здійснюється «замикання» задач послідовної схеми:

$$\exists DesDec_i^l \in DesDec Tr (InDat_{i+1}^l \vee Res_{i+1}^l \in DesDec_i^l), \quad (7.49)$$

де $DesDec$ – множина проектних рішень;

Tr (від *True*) – істинність висловлювання $InDat_{i+1}^2 \vee Res_{i+1}^2 \in DesDec_{i+1}^2$.

З визначенням черговості розв'язання задач проектування CALS-системи $Task_i^2$, $i = \overline{1,6}$ (7.37), в рамках послідовної схеми слід прагнути до мінімізації ступеня їх нерозв'язності за вихідними даними і мінімізації складності створюваної процедури.

Таким чином, задача вибору принципів побудови CALS-систем, що визначає обмеження на множини допустимих варіантів її побудови S^* для всіх інших задач (7.37), має вирішуватися перш за них.

Задача оцінки ефективності варіантів і вибору глобального рішення $Task_6^2$ використовує вихідні дані (проектні рішення) всіх інших задач комплексу і тому має розв'язуватися в останню чергу.

Визначення топології CALS-систем (завдання $Task_3^2$) неможливе без знання її організаційної або функціональної структури, яка визначається в результаті розв'язання задачі $Task_2^2$. Отже, її розв'язання має передувати розв'язанню задачі $Task_3^2$.

З причини того, що система може бути побудована на різнотипних елементах і зв'язках між ними, а елементи можуть використовувати різні алгоритми функціонування, задачі їх визначення $Task_5^2$ і $Task_4^2$ доцільно розв'язувати після розв'язання задачі $Task_2^2$, у рамках якої визначається їх кількість.

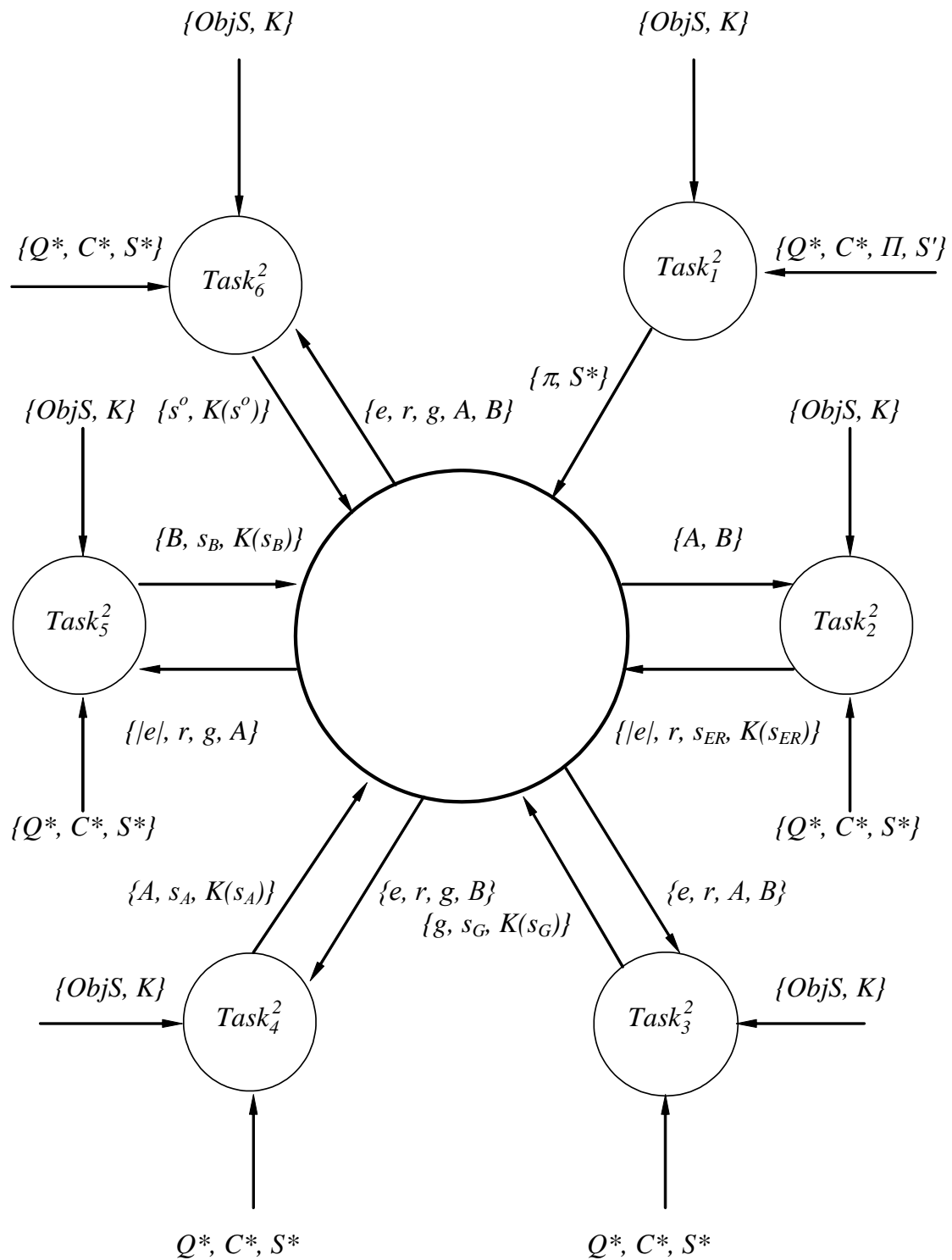


Рисунок 7.5 – Схема взаємозв'язків комплексу моделей задач проектування CALS-системи

Оскільки остаточний вибір технології функціонування може бути здійснений тільки з урахуванням траєкторій просторових переміщень інформації за запитами користувачів, то розв'язання задачі вибору технології $Task_4^2$ має слідувати за розв'язанням задачі $Task_3^2$.

Розв'язання задачі вибору технології функціонування $Task_4^2$ можна отримувати як до, так і після вибору оптимальних значень параметрів елементів і зв'язків системи ($Task_5^2$). Проте в останньому випадку можуть частіше виникати ситуації не виконання обмежень за заданих значень параметрів елементів і зв'язків, що вимагає змін раніше отриманих проектних рішень (повторних рішень попередніх задач). Тому пропонується розв'язувати задачу параметричного синтезу $Task_5^2$ після розв'язання задачі технологічного синтезу $Task_4^2$, отриманого в умовах максимальних (найменш жорстких обмежень) значень параметрів.

Як елементарна ланка, на базі якої упорядковуються задачі проектування CALS-систем, використовується комірка проектування. Комірка проектування описує принципово розв'язні за допомогою певної вирішальної процедури $ProcDec_i^l$ задачу $Task_i^l$ за її вихідними даними $InDat_i^l$ і обмеженням Res_i^l , $i = \overline{1, 6}$. При цьому проектні рішення задачі $DesDec_i^l$ подаються в категоріях моделі $ModTask_i^l$, $i = \overline{1, 6}$ і допускають порівняння за множиною критеріїв K . Комірка може розглядатися як схеми подання проектної процедури у такому вигляді:

$$Task_i^l: ProcDec_i^l \{InDat_i^l, Res_i^l\} \rightarrow DesDec_i^l / ModTask_i^l. \quad (7.50)$$

На підставі результатів проведеного аналізу мережної моделі задачі системного проектування CALS-систем (7.40) – (7.48) за обмеженнями, вхідними і вихідними даними (рис. 7.3) пропонується такий ланцюжок комірок у схемі розв'язання задачі проектування CALS-систем:

$$Task_1^2 \rightarrow Task_2^2 \rightarrow Task_3^2 \rightarrow Task_4^2 \rightarrow Task_5^2 \rightarrow Task_6^2. \quad (7.51)$$

На підставі визначеної послідовності задач (7.51) може бути побудована послідовна схема системного проектування CALS-систем (рис. 7.6).

Для її реалізації потрібно довизначення вхідних даних завдань $Task_2^2$, $Task_3^2$ і $Task_4^2$. Розв'язання цих задач у запропонованій схемі можуть бути отримані тільки виходячи з прогнозних або експертних вхідних даних $InDat_i^2$ і обмежень Res_i^2 , $i = \overline{2, 4}$. Отже, на її основі можуть бути отримані тільки локально оптимальні проектні рішення.

Для практичного застосування запропонованої схеми проектування CALS-систем (7.51) необхідно розглянути можливість реалізації ітераційної схеми отримання загального проектного рішення $DesDec_2^l$, що дозволяє

формувати відсутні вхідні дані за результатами розв'язання задач на попередній ітерації. При цьому може бути істотно підвищено якість рішень часткових і загальної задач проектування CALS-систем.

7.7 Формування і вибір вирішення задачі системного проектування

У процесі розробки методу формування розв'язків для базової задачі системного проектування CALS-систем необхідно провести аналіз її розв'язуваності на трьох рівнях: за входами, за ресурсами, за процесом [66]. З розв'язання задачі на кожному з рівнів йтиме її розв'язуваність у цілому.

При цьому слід враховувати характерні особливості задачі проектування CALS-систем $Task_2^1 = \{Task_i^2\}$, $i = \overline{1, 6}$ як територіально розподілених об'єктів: тісний взаємозв'язок задач структурного, топологічного, параметричного, технологічного синтезу, що вимагає їх спільного розв'язання; комбінаторний характер більшості задач (підзадач), які входять до її складу; необхідність розв'язання задач великої розмірності; наявність у постановках задач чинників, які важко піддаються формалізації; висока динамічність та неповна визначеність вхідних даних; широкий діапазон умов розв'язання задач.

Аналіз наведених вище особливостей задачі дозволяє сформулювати вимоги, яким мають задовольняти ефективні методи і процедури їх розв'язання.

1. Тісний взаємозв'язок і неповна інформаційна визначеність задач вибору принципів побудови CALS-систем, структурного, топологічного, параметричного і технологічного синтезу, а також аналізу і вибору проектних рішень $Task_i^2$ за наборами вхідних даних $InDat_i^2$ і обмежень Res_i^2 , $i = \overline{1, 6}$ обумовлює ітераційний характер методів і процедур їх розв'язання. Таким способом забезпечується можливість розв'язання задач $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ за входами.

2. Висока складність методів розв'язання (або вирішальних процедур) $MetDec_i^2$, яка обумовлена комбінаторним характером більшості задач $Task_i^2$, і широкий діапазон умов їх розв'язання вимагають використання множини методів $MetDec_i^2 = \{MetDec_{ij}^2\}$, $i = \overline{1, 6}$, що мають різну обчислювальну складність і точність. Це забезпечить можливість розв'язання задач системного проектування за ресурсами.

3. Для більш повного використання досвіду проектувальників і врахування чинників, які важко піддаються формалізації, процес розв'язання задачі доцільно будувати на основі інтерактивних (людино-машинних)

процедур. Процес пошуку проектного рішення при цьому складатиметься із взаємодоповнюючих процедур автоматичного та інтелектуального синтезу за участі системних аналітиків і операторів, застосуванням CASE-засобів і експертних систем.

4. На всіх етапах проектування доцільно використовувати прийоми, що знижують трудомісткість розв'язання задач системного проектування $Task_i^2, i = \overline{1, 6}$. З цією метою можуть бути використані різного роду евристики, які враховують специфіку задач, розв'язки, отримані за допомогою «швидких» процедур, формальні або експертні оцінки.

З урахуванням виділених особливостей задач і перерахованих вимог до процедур їх розв'язання, визначеної послідовності їх розв'язання (рис. 7.6), а також аксіом системного проектування метод формування розв'язання задачі системного проектування пропонується будувати на основі ітераційної логічної схеми (рис. 7.7).

Унаслідок невирішуваності задач $Task_i^2, i = \overline{2, 5}$ за даними в послідовності (7.51) формування вхідних даних $InDat_i^2$ і обмежень Res_i^2 для них на початковій ітерації здійснюватиметься на основі прогнозних (зокрема, експертних) даних. На інших ітераціях як вхідні дані $InDat_i^2$ і обмеження Res_i^2 використовуватимуться результати розв'язання наступних завдань $j > i, i = \overline{1, 5}$ послідовної схеми (7.51).

Суть запропонованого методу (технології) системного проектування CALS-систем на основі ітераційно-послідовної схеми (рис. 7.5) може бути подана у такому вигляді.

1. Початок розв'язання. Введення вхідних даних $InDat_1^2$ і обмежень Res_1^2 задачі $Task_1^2$.

2. Формування стратегії пошуку розв'язку.

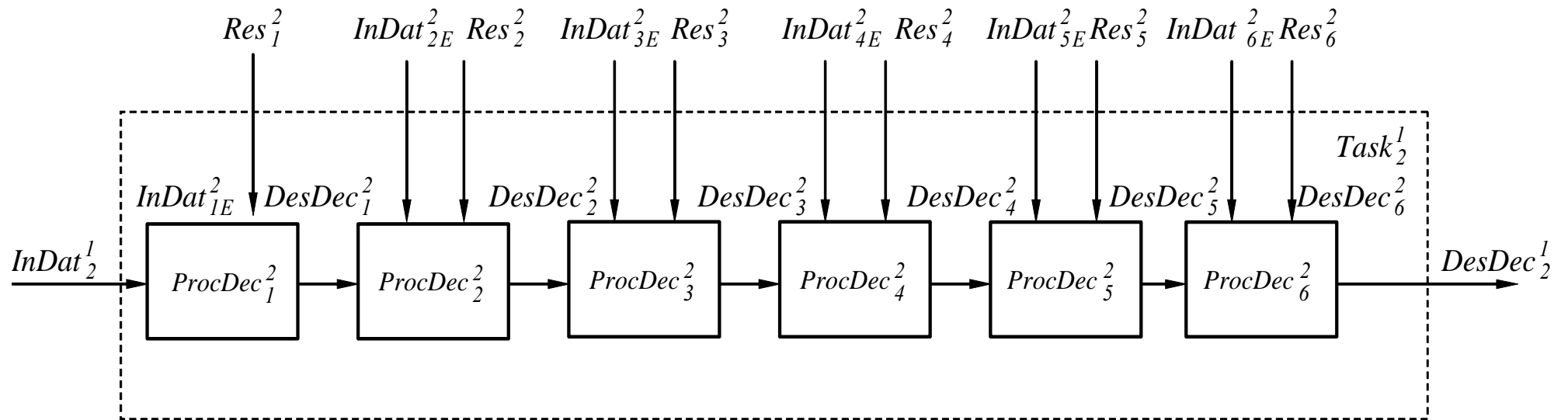
3. Вибір варіанта структури системи (задача $Task_2^2$).

4. Визначення топології елементів і зв'язків системи (задача $Task_3^2$).

5. Вибір технології функціонування системи (задача $Task_4^2$).

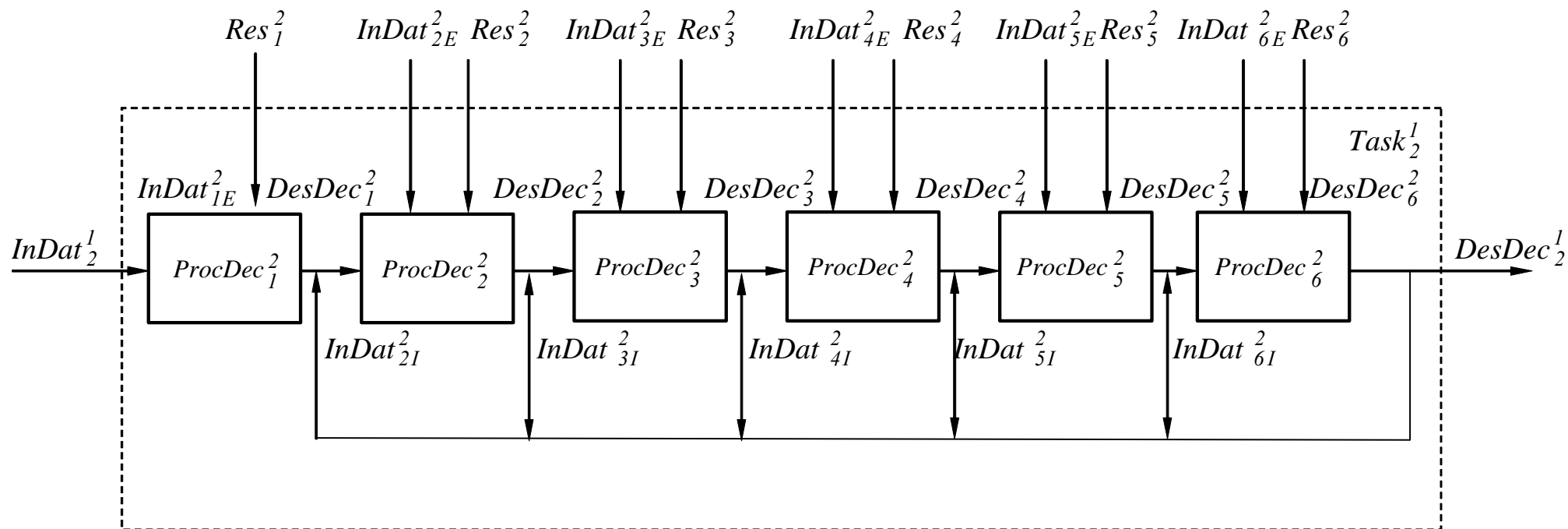
6. Визначення параметрів елементів і зв'язків системи (задача $Task_5^2$).

7. Перевірка системи обмежень задачі $Task_1^2$. Якщо оцінки властивостей отриманого варіанта побудови системи $K(s)$ не задовольняють обмеженням завдання Res_1^2 , перейти до п.3.



$Task_1^2$ – задача вибору принципів побудови системи; $Task_2^2$ – задача вибору структури; $Task_3^2$ – задача визначення топології елементів і зв'язків; $Task_4^2$ – задача вибору технології функціонування; $Task_5^2$ – задача визначення параметрів елементів і зв'язків; $Task_6^2$ – задача оцінки ефективності варіантів і вибір рішень

Рисунок 7.6 – Лінійна схема проектування CALS-систем



$Task_1^2$ – задача вибору принципів побудови системи; $Task_2^2$ – задача вибору структури; $Task_3^2$ – задача визначення топології елементів і зв'язків; $Task_4^2$ – задача вибору технології функціонування; $Task_5^2$ – задача визначення параметрів елементів і зв'язків; $Task_6^2$ – задача оцінки ефективності варіантів і вибір рішень

Рисунок 7.7 – Ітераційна схема проектування CALS-системи

8. Оцінка ефективності та вибір кращого варіанта зі сформованих.

9. Якщо стратегія пошуку розв'язку не вичерпана, перехід до п. 3.

10. Формування розв'язків оператором, оцінка їх ефективності та вибір кращого варіанта.

11. Завершення процесу розв'язання. Визначено найкращий варіант побудови CALS-системи s^o і його оцінка за множиною часткових критеріїв $K(s^o)$.

Вихідні дані $InDat_2^1$ і обмеження Res_2^1 задачі визначаються на підставі (7.28) і містять: $ObjS$ – множину характеристик користувачів системи; K – множину часткових критеріїв, що використовуються для оцінки ефективності системи; Q^* , C^* – граничні рівні показників ефекту і витрат (вартості) системи; $S' = \{s\}$ – варіанти, що визначають множину існування системи; Π – можливі принципи побудови системи.

Стратегія пошуку розв'язання, яка формується в пункті 1, визначає умови ітераційної реалізації пунктів 3 – 8, а також вибір проектних процедур $ProcDec_i^2$ для отримання розв'язків задач $Task_i^2$, $i = \overline{1, 6}$. Вибір стратегії здійснюється на основі розв'язання задачі (7.33), яка формує множини допустимих варіантів побудови CALS-системи $S^* = \{s\}$, виходячи з обраних принципів її побудови $\pi \in \Pi$. Конкретні положення стратегії багато в чому визначається необхідною точністю розв'язків $DesDec_i^2$, $i = \overline{1, 6}$ і наявними обчислювальними ресурсами.

Пункти 3 – 6 передбачають реалізацію проектних процедур $ProcDec_i^2$, $i = \overline{2, 5}$ для розв'язання задач вибору структури системи, визначення топології елементів і зв'язків, вибору технології функціонування, визначення параметрів елементів і зв'язків (7.34) – (7.37) для вхідних даних $InDat_i^2$ (7.41), (7.44) – (7.47) і обмежень Res_i^2 (7.43). Кожна з процедур $ProcDec_i^2$, $i = \overline{2, 5}$ побудована на одній з моделей задачі $ModTask_i^2 = \{ModTask_{ik}^2\}$ і використовує один з методів (включаючи евристичні) її розв'язання $MetDec_i^2 = \{MetDec_{ij}^2\}$.

Перевірки обмежень Res_i^2 здійснюються в процесі розв'язання кожної з задач $Task_i^2$, $i = \overline{1, 5}$. Пункт 5 передбачає перевірку обмежень спільної задачі $Task_2^1$.

Оцінка ефективності і вибір кращого варіанта побудови CALS-системи (пункт 8) здійснюється шляхом розв'язання задачі (7.38) з використанням

формальних або експертних процедур багатофакторного оцінювання і вибору з множини $\{ProcDec_{6p}^2\}$.

Пункт 9 передбачає перевірку умов завершення ітераційного циклу розв'язання задач комплексу $Task_i^2, i = \overline{2, 5}$ (зокрема, кількості циклів процедури «мультистарт» для пошуку глобального екстремуму цільової функції).

У пункті 10 передбачається формування розв'язків $s \in S^*$ оператором системи проектування й автоматизована оцінка їх властивостей за множиною критеріїв $K(s)$, порівняння їх з кращим, з отриманих раніше, і вибір найкращого серед них s^o .

Залежно від наявних засобів автоматизації проектування й обраної стратегії формування проектних рішень можливі різні форми участі оператора в формуванні розв'язків у пунктах 2 – 10: програміст, дослідник, координатор (системний аналітик).

Основним завданням оператора-програміста в рамках запропонованої схеми проектування є введення вхідних зовнішніх даних $InDat_{iE}^2$ і обмежень задач Res_i^2 , організація введення внутрішніх вхідних даних $InDat_{iI}^2$, а також реєстрації вихідних даних завдань $DesDec_i^2, i = \overline{1, 6}$ (пункти 1 – 10).

Оператор-дослідник бере активну участь у розробці проектних рішень $DesDec_i^2$ в кожній проектній процедурі $ProcDec_i^2, i = \overline{1, 6}$ (пункти 3 – 7). Його дії спрямовані на досягнення локальних цілей окремих процедур.

Оператор-координатор (системний аналітик) формує цілі K і обмеження $Res_2^1, Res_i^2, i = \overline{1, 6}$ (пункт 1), визначає стратегію пошуку проектних рішень $s \in S^*$ (пункт 2), формує правила переваги в ситуаціях багатокритеріального вибору, уточнює глобальне проектне рішення $DesDec_2^1$ (пункт 10).

Розв'язуваність за процесом задачі проектування CALS-системи в цілому $Task_2^1$ впливає з можливості розв'язання складових її задач $Task_i^2, i = \overline{1, 6}$ і збіжності всієї ітераційної процедури їх розв'язання. При цьому проектні рішення $DesDec_i^2$ задач $Task_i^2, i = \overline{1, 6}$ на наступних ітераціях запропонованої схеми стануть більш точними, оскільки формуватимуться виходячи з розв'язків, отриманих на попередніх ітераціях. Як наслідок підвищиться і якість розв'язання $DesDec_2^1$ вихідної задачі.

Подальша деталізація логічної схеми системного проектування (рис. 7.5) і запропонованого методу формування проектних рішень передбачає вибір, модернізацію або розробку нових математичних моделей $ModTask_i^2$ і методів вирішення $MetDec_i^2$ всіх часткових задач $Task_i^2, i = \overline{1, 6}$. Причому для розв'язання кожної з часткових задач у рамках задачі системного проектування $Task_2^1$ потрібна розробка моделей і методів розв'язання задач синтезу не тільки в традиційній постановці, але, що особливо актуально, задач реінжинірингу CALS-систем.

Для практичної реалізації запропонованої технології проектування для кожної з моделей задач потрібно розробити інструментальні (програмні) засоби, а також оболонку для їх взаємодії в процесі розв'язання задач синтезу CALS-системи.

Серед найважливіших процедур у технології автоматизованого проектування, що базується на запропонованому методі синтезу CALS-систем, виділяються процедури оптимізації структури і топології, що утворюють зовнішні цикли ітераційної логічної схеми системного проектування.

7.8 Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть основні типи структур CALS-систем.
2. Наведіть схему взаємозв'язків комплексів задач проблеми синтезу CALS-системи.
3. Наведіть схему взаємозв'язків категорій «елемент», «відношення», «топологія» та «властивість» у процесі структурного синтезу CALS-систем.
4. Наведіть формальні подання задачі синтезу CALS-системи на основі комплексного критерію.
5. Назвіть задачі макрорівня, отримані в результаті декомпозиції проблеми структурного синтезу CALS-систем.
6. Назвіть задачі, отримані в результаті декомпозиції задачі системного проектування CALS-систем.
7. Наведіть схему декомпозиції проблеми структурного синтезу CALS-систем.
8. Запишіть модель задачі вибору структури CALS-системи.
9. У якому вигляді подають моделі у процесі аналізу схеми системного проектування?

10. Нарисуйте схему взаємозв'язків комплексу моделей задачі системного проектування CALS-системи.
11. Опишіть процес вибору послідовності розв'язання задач системного проектування CALS-систем.
12. Наведіть формальне подання комірки проектної процедури.
13. Нарисуйте ітераційну схему системного проектування CALS-систем.
14. Опишіть процес розв'язання задачі системного проектування CALS-систем на основі лінійної ітераційної схеми.

8 ОРГАНІЗАЦІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ CALS-ТЕХНОЛОГІЙ І СИСТЕМ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ РОЗВИТКУ

8.1 Специфіка CALS-технологій і проблеми їх впровадження

Основні складові специфіки CALS-технологій викладено в [2].

Реінжиніринг бізнес-процесів. Стратегія CALS кардинально відрізняється від інших бізнес-стратегій. З погляду управління – тим, що вимагає централізації управління, ув'язування та гармонізації методологій проектування/виробництва учасників спільних проектів, корпоративних культур, а в багатонаціональних проектах – і національних культур. З погляду ведення бізнесу – тим, що організує більшість робіт основної діяльності через «віртуальний виріб», електронний опис виробу (ЕОВ). З погляду інформаційних технологій – тим, що створює єдиний інформаційний простір і дозволить перейти від лоскуткової автоматизації та точкової інтеграції програм до автоматизованої системи управління створенням і використанням ЕОВ.

Формалізація інформаційної взаємодії. Багаторазове зростання інтенсифікації праці, складність цільових проектів, до якої тепер додалося створення виробу через його віртуальний опис, вимагає активного використання формалізованих методів подання й обробки даних управління цільовими та CALS-проектами.

Перехід на формальні методи обробки інформації, як правило, спричиняє зміну стилю ділового спілкування та культури праці. CALS, особливо у спільних проектах, потребує жорсткої формалізації інформаційних взаємин не тільки на рівні управління, але й на рівні взаємодії виконавців. Якби ми не звикли до «нормального» людського спілкування, яким би не був наш менталітет, необхідно прививати нову культуру спілкування. Зараз на підприємствах не навчилися навіть ефективно використовувати електронну пошту.

Системні мультипрограмні рішення замість «найкращої системи». Стратегія CALS свідомо виходить із того, що один програмний продукт, нехай і найкращий не зможе задовольнити основні потреби підприємства. Практика доводить, що таке важко досягти навіть у рамках окремо взятого підприємства, і тим більше недосяжно в ході інтеграції з інформаційними системами інших підприємств. Саме тому головна сила CALS – у грамотних системних рішеннях і технологіях, а не у ставках на той чи інший програмний продукт.

Оптимізуюча інтеграція прикладних систем. Інтеграція програм сьогодні стала одним з найбільш розповсюджених об'єктів спекуляцій навколо CALS.

Цьому сприяє і багаторічний культ лоскуткової автоматизації, що практикується і Замовником, і Підрядником.

Ідеологія лоскуткової побудови вскрай проста: «велике треба робити частинами». Реалізується ця ідеологія у вигляді такої технології створення інформаційних систем: обстежити, купити програмний продукт (чи на швидку руку, без серйозного проектного опрацювання, створити), навчити персонал, впровадити. Далі починається точкова інтеграція. Системи інтегруються «одна з одною», регламент обміну інформацією здійснюється на рівні примітивних планувальників або вручну. Сучасні інструменти інтеграції пропонують використання деякої «загальної шини» для прикладних комунікацій. Це, звичайно, систематизує технологію інтеграції, але не змінює суті лоскуткової автоматизації.

CALS вимагає принципово іншої, оптимізуючої технології інтеграції, що припускає не тільки інтеграцію прикладних комплексів у єдине ціле, але й оптимізацію процесів інформаційної взаємодії учасників CALS-системи та їхнє перепроектування відповідно до бізнес-технологій і власних засобів збереження й обробки даних. Прикладом такої задачі є управління конфігурацією виробів, конфігурацією технічної документації й конфігурацією технічних даних, що в процесі управління ЕОВ дуже взаємозалежні та вимагають ретельно продуманих проектних, організаційних, управлінських і технологічних рішень.

Інтеграція програм від різних постачальників, так ще й у неоднорідному технологічному середовищі, ніколи не була приємним заняттям. Постачальники інструментів інтеграції замовчують, що ці засоби є ні що інше, як засоби транспортного і сеансового рівнів, а не прикладні протоколи обміну. Розробляти прикладні протоколи Замовнику доводилося, доводиться й доводитиметься надалі самотійно чи за невеликої участі Підрядника.

Ноу-хау та безпека. В умовах спільної розробки виробу її учасникам потрібна та чи інша система правил, що регулюють аспекти інтелектуальної власності.

CALS-система має забезпечувати реалізацію цих правил у мультипрограмному середовищі, чим вона істотно відрізняється від більшості систем категорій MRP, ERP, CRM тощо. Під час спільної роботи співвласників інтелектуальної власності з безліччю об'єктів ноу-хау доводиться застосовувати оригінальні режими й протоколи доступу до цих об'єктів, що може не тільки вплинути на комплекс засобів захисту, але й істотно змінити архітектуру інформаційної системи.

Збереження та управління знаннями. Зростання темпів створення нових виробів у ході багаторазового ускладнення засобів проектування та виробництва вимагає застосування формальних способів опису знань для їхнього збереження й подальшої еволюції. Це одна з найбільш актуальних задач вітчизняних наукоємних виробництв, обумовлена не тільки складністю бізнес-технологій, але і зміною поколінь розробників нових виробів.

Щодо ролі CALS-системи, самі принципи її роботи значною мірою спираються на строго формалізовані знання про бізнес і про інформаційну систему підприємства. Тому під час правильної реалізації CALS-система в змозі вирішити значну частину задач зі збереження та управління знаннями у фоновому режимі.

Централізація управління. Переваги бізнес-стратегії CALS виявляються лише за умови управлінської, організаційної і технологічної консолідації учасників CALS-проектів. Найважливішою і найбільш критичною є управлінська консолідація. Виражається вона у створенні стратегії бізнесу, що відповідає вимогам і умовам ринку, а також відповідної системи управління бізнесом, тому що тільки вона дозволяє реалізувати всі стратегії, задуми, проекти та рішення. І саме вона стає основоположною у бізнес-новаціях.

Готовність до зміни моделі управління бізнесом – відмінна риса зарубіжного бізнесу. Виявляється ця готовність, зокрема, у тім, що велика частина суб'єктів економічно розвинутих країн уже перейшла чи переходить від функціонально-орієнтованого управління бізнесом до процесно-орієнтованого.

CALS-проекти вимагають ще більшої готовності до спільного проектування і спільного виробництва, оскільки створюють нові прецеденти та стандарти корпоративного співробітництва. І готовність ця виражається в централізації управління.

Централізація управління є необхідною умовою для здійснення будь-якого спільного проекту. Саме вона забезпечує створення стійкої до збоїв системи управління спільною діяльністю декількох колективів. Вона ж вимагає високої виконавчої дисципліни, за якої кожен учасник зобов'язаний відповідати встановленій системі правил. На жаль, популістські міфи про «демократичні» методи децентралізованого управління, модні в країнах Східної Європи і зараз, заважають ефективному управлінню не тільки на рівні спільних проектів, але навіть на рівні підприємств. У спільно здійснюваних проектах децентралізованого управління бути не може. Вірніше було б говорити про декомпозицію управління, про розподіл функцій управління. Тому перш ніж говорити про спільні проекти, вітчизняним виробникам необхідно вирішити

питання про централізоване управління, чітко визначивши, чим буде реально забезпечений його виконавчий механізм.

В Україні роботи із впровадження CALS-технологій знаходяться в початковій стадії й ведуться повільно, без належної координації, хоча і на серйозній основі, із використанням багаторічного досвіду автоматизації – насамперед в оборонному комплексі, космічній та авіаційній галузях, підтримувані могутньою нормативною базою вітчизняних систем стандартів ЄСПД, СРПВ, ЄСКД, ЄСТД та інших.

Виходячи зі специфіки CALS, можна виділити найбільш важливі з проблем в області впровадження CALS-технологій:

Невірне осмислення ідеології CALS. Вона трактується як інформаційна підтримка наявних ділових процесів, а не як бізнес-стратегія комплексного підходу до створення повноцінної сучасної системи промислового виробництва та управління. Тим часом ідеологія CALS виходить із того, що інформаційне забезпечення (інформаційна логістика), що сприяє здійсненню сучасних і перспективних проектів і технологій, які його реалізують, сьогодні важливіші інших, «матеріальних» технологій.

Невірне розуміння технологій CALS. На жаль, в Україні не існує офіційної точки зору на CALS (відсутність концепції розвитку CALS-технологій в Україні; стратегії CALS; гармонізованих стандартів CALS), що відбивали б проблематику в достатньому обсязі і сприяли освоєнню CALS вітчизняною промисловістю.

Невірне визначення цілей та задач CALS. Вони підміняються частковими цілями та задачами комп'ютерного моделювання, конструкторсько-технологічної підготовки, розробки експлуатаційної й іншої технічної документації тощо.

Фонове вирішення задач впровадження технологій CALS. Сьогодні на переважній більшості промислових підприємств немає керівників і структур, що цілеспрямовано займаються освоєнням і впровадженням CALS.

Відсутність адекватних змін у системі управління підприємством у ході впровадження сучасних промислових і комп'ютерних технологій. CALS припускає принципову зміну технологій управління підприємством із функціонально-орієнтованих на процесно-орієнтовані. Причина в наступному: раніше в ході організації бізнесу фундаментальними елементами були стабільний технологічний/виробничий процес, функціональний поділ праці, прив'язаний до стабільної організаційної структури підприємства. Сьогодні ж за основу береться інформація про виріб і його життєвий цикл в електронному вигляді, пов'язані з ними гнучкі, динамічні бізнес-процеси і відкритий ринок

функціональних виконавців, що пропонують найбільш вигідні умови виконання необхідної частини бізнес-процесу [40].

На жаль, відсутність офіційної точки зору на CALS мало сприяє розумінню сутності цієї ідеології та можливості грамотно реалізувати її. Концепція розвитку технологій CALS значною мірою має описувати зміст етапів життєвого циклу виробу й вимоги до них, комп'ютеризовані загальносистемні технології та самі технології CALS, розкривати поняття CALS-системи, моделі системи управління та задачі вищого менеджменту підприємств і консорціумів під час реалізації стратегії CALS [41]. Аналіз впровадження CALS-технологій [42] показує, наскільки небезпечно механічно переносити закордонний досвід на український ґрунт, не усвідомивши різницю між вітчизняними та закордонними технологіями управління бізнесом.

Так до базових технологій CALS належать:

- управління проектами (Project Management);
- управління даними про виріб (Product Data Management);
- управління конфігурацією виробу (Configuration Management);
- управління інтегрованим інформаційним середовищем (Information Management);
- управління якістю (Quality Management);
- управління потоками робіт (Workflow Management);
- управління змінами виробничих і організаційних структур (Change Management).

Відповідно, базовими інструментами CALS, що реалізують названі технології, вважаються:

- автоматизовані системи конструкторського і технологічного проектування (CAD/CAM/CAE);
- засоби управління даними про виріб (PDM);
- системи планування матеріалів, виробничих потужностей і ресурсів підприємства (MRP, MRP II, ERP);
- програмно-методичні засоби аналізу логістичної підтримки (Logistic Support Analysis, LSA) і ведення відповідних баз даних (LSA Record);
- засоби електронного документообігу й управління потоками робіт (EDM);
- методологія та засоби моделювання й аналізу бізнес-процесів (SADT/CASE).

Для повноти до ряду перерахованих інструментів також варто віднести:

- засоби планування та управління проектами;
- засоби підготовки інтерактивних електронних технічних керівництв (IETM).

З формальної точки зору все здається логічним – є визначений набір комп'ютеризованих технологій, що використовуються у промисловості, і інструментарій, що їх реалізує. Насправді ж майже всі (за винятком ІЕТМ) зазначені технології і пов'язані з ними інструменти є опорними, а не базовими, що з'явилися незалежно від CALS. Просте складання технологій та інструментів під час їхнього впровадження не дає того особливого, цілісного ефекту CALS, кардинально поліпшуючи всі економічні показники, які демонструють індустріально розвинуті країни в ході реалізації ідеології CALS.

У процесі реалізації стратегії CALS мають використовуватися три групи методів, названі CALS-технологіями:

- технології аналізу та реінжинірингу бізнес-процесів – набір організаційних методів реструктуризації способу функціонування підприємства з метою підвищення його ефективності. Ці технології потрібні для того, щоб коректно перейти від паперового до електронного документообігу і впровадити нові методи розробки виробу;

- технології подання даних про виріб в електронному вигляді – набір методів для подання в електронному вигляді даних про виріб, що належать до окремих процесів ЖЦ виробу. Ці технології призначені для автоматизації окремих процесів ЖЦ (перший етап створення єдиного інформаційного простору (ЄІП));

- технології інтеграції даних про виріб – набір методів для інтеграції автоматизованих процесів ЖЦ і відповідних їм даних, поданих в електронному вигляді, у рамках ЄІП. Ці технології належать до другого етапу створення ЄІП.

Під час автоматизації окремих процесів ЖЦВ використовуються існуючі прикладні програмні засоби (САПР, АСУП тощо), втім до них висуваються важлива вимога – наявність стандартного інтерфейсу до даних, що надаються ним. У ході інтеграції всіх даних про виріб у рамках ЄІП застосовуються спеціалізовані програмні засоби – системи управління даними про виріб (PDM – Product Data Management). Задачею PDM-системи є акумулювання всієї інформації про виріб, яка створюється прикладними системами, в єдину логічну модель. Процес взаємодії PDM-системи і прикладних систем будується на основі стандартних інтерфейсів. Стандартні інтерфейси взаємодії комп'ютерних систем можна розділити на чотири групи:

- функціональні стандарти. Задають організаційну процедуру взаємодії комп'ютерних систем; приклад: IDEF0;

- стандарти на програмну архітектуру. Задають архітектуру програмних систем, необхідну для організації їхньої взаємодії без участі людини; приклад: CORBA;

– інформаційні стандарти. Задають модель даних про виріб, що використовується всіма учасниками ЖЦ;

– комунікаційні стандарти. Задають спосіб фізичної передачі даних локальними і глобальними мережами; приклад: Internet-стандарти.

Оскільки споживач теж є повноправним учасником ЖЦВ, необхідно забезпечити його доступом в ЄП. Однак використання для цих цілей PDM-системи недоцільно через її велику вартість і значний термін впровадження й освоєння. До того ж, якщо споживач експлуатує вироби від різних постачальників, йому доведеться мати справи з різними ЄП і, відповідно, різними PDM-системами. З огляду на це, а також те, що споживачу необхідні тільки експлуатаційні дані про виріб, як засіб доступу до ЄП, він використовуватиме не PDM-систему, а інтерактивні електронні технічні керівництва (ІЕТК).

ІЕТК розробляється постачальником, забезпечує доступ споживача до експлуатаційної інформації про виріб в ЄП і має стандартний інтерфейс користувача (наприклад, згідно з MIL-M-87268), що дозволяє співробітникам експлуатуючої організації водночас обслуговувати вироби від різних постачальників.

Необхідно визначити і критерії, що дозволяють відносити інформаційні системи до класу CALS. Саме критерій «системна реалізація інваріантних принципів і технологій інформаційної підтримки виробу (ІПВ)» має бути головним показником, що визначає ефективне використання технології CALS на підприємстві [8].

Задача CALS, як розглянуто в [12], – забезпечити реалізацію прикладних задач і бізнес-процесів підприємства за допомогою опорних технологій і інструментів. Звернемося до прикладу з області конструювання. Припустимо, розробляється нова технологія проектування виробів на базі електронного опису виробу (ЕОВ) із застосуванням сучасного комплексу САПР. Задача CALS – описати модель ЕОВ і технологію робіт (буквально: бізнес-логіку технологічного процесу конструювання) багатьох конструкторів і технологів конкретного підприємства (чи проекту) із створення ЕОВ у необхідному бізнес-оточенні, модель їхньої ефективної інформаційної взаємодії у комп'ютерному середовищі. Крім цього, CALS має дати перелік правил, обмежень і рекомендацій з використання технології, забезпечити їхню реалізацію в комп'ютерному середовищі і як мінімум врахувати:

– організаційну структуру підприємства;

– специфіку організації конструкторських і технологічних робіт на підприємстві;

– особливості технології конструювання виробу, що обумовлюються його специфікою;

– своєрідність поєднаних етапів життєвого циклу виробу (технологічна підготовка виробництва, виробництво виробу, поствиробничі процеси), що обумовлюється його специфікою та роботою з ним на цих етапах;

– характер взаємодії з партнерами з урахуванням інфраструктури, комунікацій, ступеня синхронності робіт (наприклад, КБ і завод-виробник, що визначає дизайн виробу з погляду можливостей і обмежень технологічної підготовки виробництва, можуть знаходитися в різних часових поясах);

– модель управління процесом конструювання;

– модель управління життєвим циклом виробу;

– можливості й обмеження програмно-технічних засобів, що використовуються.

Таким чином, технології CALS є посередником між традиційними ІТ і прикладними технологіями та процесами, інтегрують усі зазначені вище фактори у термінах опорних технологій та інструментів, забезпечують безпосередню реалізацію прикладних задач Замовника (рис. 8.1) [43].

Підкреслимо, що технології, виділені на рисунку 8.1, існували й раніше, але не виділялися в самостійні виробничі сутності з послідовною постановкою задач з їх використання. Наприклад, CAD/CAM/CAE реалізують окремі частини електронного опису виробу, але не описують його цілком, не оптимізують і не забезпечують перенесення його частин між різними програмними комплексами. Так само у фоновому режимі зважувалися задачі управління цими технологіями. Таким чином, вони зазвичай розсіяні по бізнес-процесах і побічно містяться у функціях кожного підрозділу, аналогічно й самі бізнес-процеси розсіяні по функціях підрозділів. Традиційний функціонально-орієнтований підхід десятиліттями спирався на стабільність технологій проектування та виробництва, а тому й не припускав кардинальних змін ні в бізнес-процесах, ні в управлінні ними.

Проте перехід до бізнес-процесів, заснованих на технологіях комп'ютерного моделювання та виробництва, висунув на перше місце проблему створення та використання ЕОВ. Отут і криється одна з незрозумілих нашими промисловцями фундаментальних проблем. ЕОВ – не менш складний продукт, ніж сам виріб, що вимагає цілком нових технологій для свого створення й використання, а також, що особливо важливо, управління цими процесами. Це вкрай важливо зрозуміти, тому що й сьогодні, і в найближчому майбутньому реальні моделі ЕОВ можуть створювати тільки самі підприємства – власники

контенту про виріб, а не галузеві інститути й ІТ-компанії. Зміна технологій, а найчастіше паралельне використання старих і нових технологій у промисловості, вимагають якщо не повного, то глибокого перегляду організації й управлінської структури підприємства, що полягає в переході до процесної організації діяльності підприємства та управління ним. Крім того, потрібен зовсім інший підхід до створення перерахованих вище базових технологій CALS. Реалізувати їх у фоновому режимі неможливо. Звідси виникає необхідність виділення їх у самостійні задачі та надання їм більш високого статусу, ніж часткові задачі промислового виробництва. Особливо це стосується технології інформаційної взаємодії, яка є центральною ланкою, що пов'язує організаційно-управлінські, цільові (наприклад, технології конструкторсько-технологічної підготовки) і комп'ютерні технології у єдине ціле.



Рисунок 8.1 – Концептуальна модель CALS

Дійсно, основні цілі, з якими підприємства пов'язують використання технологій CALS, можна класифікувати приблизно в такий спосіб:

- створення технології комп'ютерного проектування виробів;
- поліпшення технологічної підготовки виробництва;
- створення електронних архівів;
- розробка системи підготовки ІЕТК;
- впровадження на виробництві системи MRP/ERP;
- інтеграція виробничого контуру (MRP/ERP) із конструкторським контуром і контуром технологічної підготовки;
- організація комп'ютерної підтримки системи експлуатації.

Втім для одержання економічного ефекту зазначених технологій недостатньо. По-перше, їх необхідно розробити, а для цього потрібні технологи та постановники задач, що знають крім прикладних процесів методику створення в необхідному інструментарії САПР/PDM. По-друге, на основі нових прикладних технологій слід створити новий технологічний процес для конкретного підприємства і гармонізувати його з процесами планування завантаження виробничих потужностей, календарно-об'ємним графіком, процесами закупівель сировини, заповненням складів вхідної і готової продукції, із планом платежів, можливостями системи управління тощо. Без цього підприємство навряд чи зможе ефективно використовувати нове обладнання чи технологію. Наприклад, простій устаткування (у тому числі й засобів САПР), нерідке у вітчизняній практиці явище, може звести нанівець усі переваги від його придбання.

Задача CALS у цьому випадку – дати технологам, економістам, менеджерам не просто опорні технології й інструменти, а систему для повноцінного опису й застосування старих і нових технологій, процесів їхньої інформаційної взаємодії з контуром виробництва і фінансово-економічної структури, що дозволяє з'ясувати, за якої моделі і за яких умов виробництва, управління та фінансування, нове обладнання може ефективно використовуватися. Це і є CALS-система, точніше, одна з її підсистем. Сьогодні потрібна саме система, а не разові заходи щодо опису старих технологій/бізнес-процесів, тому що задачі подібного роду виникають систематично. Отже, потрібні технології, що ставлять «на потік» інформаційне забезпечення процесу освоєння та впровадження нових цільових технологій промисловості та реалізовані у вигляді відповідної системи. Такими є технології інформаційного забезпечення бізнес-процесів і інформаційної взаємодії. Наскільки вони важливі, свідчить наступний факт: на організаційно-технологічні заходи (тобто на розробку

нових технологічних процесів і організацію їхнього впровадження) США в 90-х роках витрачали в 11 разів більше, ніж на НДДКР.

Без глибокого усвідомлення проблематики CALS будь-яке підприємство замість створення CALS-системи фактично, напевно, ризикує провести традиційну автоматизацію окремих функціональних підсистем із звичайним впровадженням опорних технологій та інструментів.

Першим має усвідомити цю проблему керівник інформаційної служби підприємства.

Від того, чи захоче він грати одну з перших скрипок у впровадженні CALS, залежить і успіх підприємства, і його власний статус. Звичайно, багато керівників інформаційних служб спокійно плывуть за течією, виконуючи сервісну роль з обслуговування мережної, комп'ютерної і програмної інфраструктури. Поки керівництво не діє, просування CALS в ініціативному порядку дає можливість їм кардинально поліпшити своє положення. Завтра ж ініціатива може змінитися жорсткою вимогою «зверху» за повної відсутності часу. Тому саме ІТ-керівник значною мірою відповідальний за своєчасну освіту і поінформованість управлінської ланки про необхідність змін у бізнесі, а також за підготовку «ескізних» проектів з CALS.

Перше, з чого варто розпочати роботу в області CALS, – усвідомити суть цієї ідеології як комплексного підходу до створення повноцінної сучасної системи промислового виробництва, експлуатації та управління ним. Помилки щодо CALS дотепер значні. Деякі взагалі думають, що проблема CALS надумана.

Друге – ретельно розібратися в опорних, цільових CALS-технологіях. Дуже багато керівників підприємств помиляються, вважаючи, що впроваджені ними САПР, ІЕТК і інші подібні засоби є втілення технологій CALS.

Третє – виконати концептуальне проектування CALS-системи. Її концепція є система поглядів на застосування технологій CALS у бізнесі підприємства з обліком усіх специфічних проблем. Концепція має містити модель CALS-системи.

Четверте – розглянути концепцію CALS-системи і прийняти рішення щодо її створення на всіх рівнях управління: вищому, рівні функціональних підрозділів і проектів, що використовують комп'ютерні технології.

П'яте – створити команду зі створення CALS-системи, що має розробити відповідний проект, а також стратегію його реалізації. Однією з найважливіших задач стратегії є визначення підходу реалізації: «зверху вниз» чи «знизу вгору». Від правильності вибору підходу принципово залежить, наскільки швидко й успішно просуватиметься підприємство в реалізації проекту.

8.2 Методи реалізації проекту створення CALS-системи

Метод «зверху вниз». Менталітет вітчизняних розробників сформувався саме у великих обчислювальних центрах (ОЦ), основною метою яких було не створення продуктів, що тиражуються, а обслуговування співробітників конкретної установи. Цей підхід багато в чому зберігся в автоматизації і сьогодні. В умовах законодавства, що постійно змінюється, правил ведення виробничої, фінансово-господарської діяльності й бухгалтерського обліку керівнику зручно мати поруч посередника між спущеною зверху новою інструкцією та комп'ютером. З іншого боку, розробників, заражених «вірусом самодіяльності», виявилось достатньо.

Створюючи свої відділи та управління автоматизації, підприємства намагаються облаштуватися самостійно. Однак періодичний перегляд інструкцій, складності, пов'язані з різними уявленнями користувачів тих самих даних, безупинна робота розробників із задоволення все нових і нових побажань окремих замовників і як наслідок – невдоволення керівників своїми розробниками дещо остудило запал як тих, так і інших. Отже, перший підхід зводиться до проектування «нагору». У цьому випадку, за наявності кваліфікованого штату фахівців, цілком достатньо автоматизуються окремі, важливі з погляду керівництва робочі місця. Загальна ж картина «автоматизованого підприємства» проглядається недостатньо добре, особливо в перспективі [28].

Метод «знизу вверху». З усього спектра проблем розробники виділяють найбільш помітні: передпроектний аналіз, конструкторсько-технологічне проектування, автоматизацію ведення бухгалтерського аналітичного обліку й технологічних процесів тощо. Системи проектуються «зверху», тобто в припущенні, що одна програма має задовольняти потреби всіх користувачів.

Сама ідея використання «однієї програми для всіх» різко обмежує можливості розробників у структурі інформаційних множин бази даних, використанні варіантів екранних форм, алгоритмів розрахунку і, отже, позбавляє можливості принципово розширити коло розв'язуваних задач – автоматизувати повсякденну діяльність кожного працівника. Закладені «зверху» тверді рамки («загальні для всіх») обмежують можливості таких систем із ведення глибокого, часто специфічного аналітичного і виробничо-технологічного обліку. Стало очевидно, що для успішної реалізації задачі повної автоматизації підприємства варто змінити ідеологію побудови автоматизованих інформаційних систем – застосовувати ідеологію CALS [28].

8.3 Методологія впровадження CALS

Ми бачимо три етапи впровадження CALS:

- використання інформаційних стандартів CALS для обміну даними між конкретними програмними продуктами, для цього необхідно забезпечити сумісність програмних продуктів із стандартами, гармонізованими в Україні;
- створення Централізованих структурованих Сховищ Даних (інтеграція даних);
- створення й впровадження комплексних систем автоматизації та управління підприємством, побудованих відповідно із стандартами CALS [28].

Для того щоб інтеграція даних стала давати відчутну віддачу, необхідно розробити продуману стратегію її впровадження та чітко слідувати їй:

Формування робочої групи

Робоча група має включати як співробітників виробничих відділів підприємства (конструкторів, технологів тощо), так і фахівців відділу автоматизації (програмістів і системних аналітиків). Усі співробітники робочої групи мають пройти навчання з відповідних CALS-технологій і програмних продуктів. Для збереження наступності рішень необхідно мати робочу групу з постійним складом протягом усього процесу впровадження CALS-технологій.

Аналіз існуючих бізнес-процесів та інформаційного забезпечення на підприємстві

Мета аналізу – виявити існуючу взаємодію між бізнес-процесами й оцінити їхню раціональність та ефективність. З цією метою з використанням CALS-технологій розробляються функціональні моделі, які містять детальний опис процесів, що виконуються, у їхньому взаємозв'язку. Формат опису має бути регламентований стандартом IDEF0. Отримана функціональна модель дозволить вирішити цілий ряд задач, пов'язаних з оптимізацією, оцінкою величини та розподілу витрат, оцінкою продуктивності, завантаження й збалансованості складових частин.

Формування концепції інформаційної інтеграції та впровадження базових інструментів CALS на підприємстві

Формування концепції включає вибір показників оцінки ефективності процесів, формування цілей впровадження CALS-технологій і стратегії їхнього досягнення. Основними показниками є: конкурентоздатність (або якість) продукції, витрати й тривалість процесів розробки та освоєння виробництва виробу.

Реінжиніринг бізнес-процесів

Реінжиніринг бізнес-процесів виробничого підприємства має бути спрямований на впровадження таких організаційних методів розробки виробу:

- паралельне проектування;
- єдиний інформаційний простір;
- міждисциплінарні групи;

Вибір і придбання базових інструментів CALS (систем) і технічних засобів

Перед кожним підприємством стоятиме задача, яку систему обрати, і як її застосовувати для вирішення конкретних задач. У будь-якому випадку підприємство має усвідомлювати, що воно одержує не просто комп'ютерну програму, але цілий пакет послуг, тому необхідно враховувати не тільки якості систем, але й здатність їхнього виробника (чи дилера) забезпечити їхній супровід, модернізацію та адаптацію до потреб підприємства. Задача вибору й придбання технічних засобів (комп'ютерів і мережного устаткування) тісно пов'язана із задачею вибору систем. Конкретні програмні продукти відрізняються набором реалізованих ними функцій.

Розробка стандартів підприємства

Розробка комплексу нормативної документації, що регламентує порядок введення й зміни інформації про виріб у системі на основі міжнародних, державних і галузевих стандартів, необхідна для організаційного забезпечення впровадження систем. Інтеграція систем з існуючими і тими, що впроваджуються, системами та їхньою адаптацією до умов підприємства. Для створення на підприємстві ЄІП необхідно інтегрувати базові системи CALS з уже існуючими комп'ютерними системами. Крім того, при впровадженні необхідно врахувати специфічні умови функціонування підприємства. Засобами інтеграції й адаптації є:

- прикладні модулі (АСУП, САПР та ін.), що оперують даними про виріб;
- прикладні модулі (розширення функцій);
- конвертори між базовими інструментами CALS і АСНД, АСУП, САПР тощо.

Наповнення систем інформацією про раніше розроблені вироби

Для ефективного використання накопиченого підприємством виробничого досвіду потрібні значні витрати на переведення існуючої документації про розроблені вироби в стандартне подання й занесення його в сховище даних інтегрованої інформаційної системи, із використанням засобів адаптації.

Можна констатувати, що для переходу на підприємствах космічної галузі до безупинної інформаційної підтримки життєвого циклу виробів необхідно вирішити ряд проблем. Серед них можна виділити:

- проведення модернізації чи заміни устаткування для створення виробництва, система супроводу якого орієнтована на роботу в єдиному інформаційному просторі підприємства;

- придбання й розробка програмного забезпечення (ПЗ) для обслуговування всіх етапів ЖЦВ;

- підготовку чи перепідготовку персоналу, здатного працювати в інформаційній системі виробництва, що орієнтується на CALS-технології;

- вирішення організаційно-адміністративних питань для ведення виробництва, орієнтованого на CALS-технології.

Створення виробництва, система супроводу якого орієнтована на роботу в єдиному інформаційному просторі підприємства

Вирішення цієї задачі не зводиться до установки комп'ютерів на робочих місцях інженерних та інших служб. Необхідно усунути розриви інформаційних потоків, для чого потрібно забезпечити передачу інформації з мережі на всі робочі місця персоналу, що задіяний у процесі виробництва, включаючи виробничі дільниці, робочі місця верстатників, складальників. Відсутність інтеграції виробничих робочих місць у єдину мережу підприємства породжує проблему розриву інформаційних потоків, що знижує ефективність застосування інформаційних технологій. На практиці реалізується принцип фіксації інформації в електронному вигляді в місці і в момент її зародження.

Важливість дотримання цього принципу можна оцінити під час аналізу навіть спрощеної схеми інформаційних потоків підприємства. На рисунку 8.2, а наведена схема інформаційних потоків, характерна для багатьох підприємств 1980-х років. Інформація на робочі місця в цех та з цеху знаходить у паперовому вигляді. За такої організації інформаційних потоків усі підрозділи можна розділити на групи:

- підрозділи, що породжують інформацію;

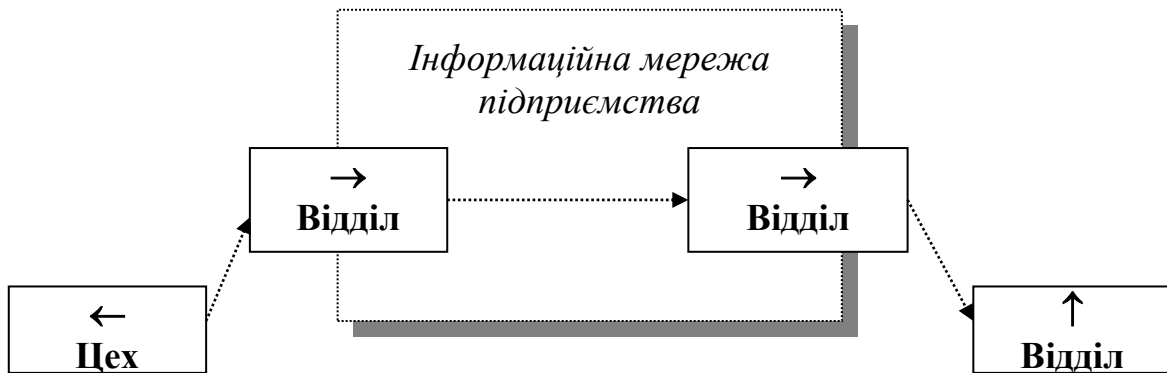
- підрозділи, що споживають інформацію;

- підрозділи, які обслуговують інформаційні потоки, що займаються перетворенням інформації.

Використання у виробничих цехах паперової форми подачі інформації визначає необхідність наявності підрозділів третьої групи, які забезпечують переведення інформації з паперового вигляду в електронний та навпаки. В 1980-х для цього створювались цілі відділи в декілька сотень чоловік.

З переходом у другій половині 1990-х років до мереж на базі персональних комп'ютерів, поле діяльності значно розширилось, проте функції підрозділів третьої групи збереглись.

Інформаційні потоки на підприємстві 80-х років



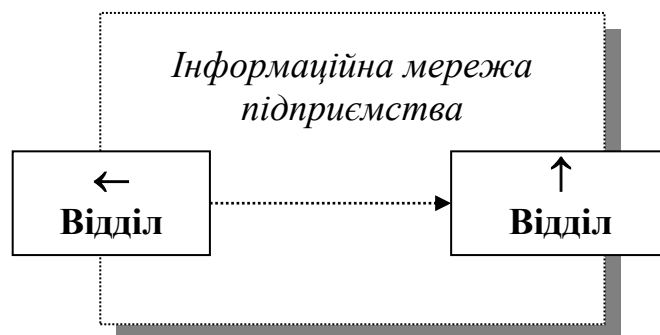
← – породження інформації

↑ – споживання інформації

→ – перетворення, передача інформації

a)

Інформаційні потоки за повної інтеграції виробничих робочих місць в інформаційну мережу підприємства



← – породження інформації

↑ – споживання інформації

б)

Рисунок 8.2 – Інформаційні потоки на підприємстві

Перехід до CALS-технологій настійно рекомендує створити робочі місця у виробничих підрозділах, де забезпечується перетворення інформації за допомогою ПЗ у джерелах її виникнення чи споживання. Це дозволить перейти до схеми організації інформаційних потоків, у якій функціонують тільки підрозділи, що створюють і споживають інформацію (рисунок 8.2, б)). Аналогічні проблеми виникають не тільки на стадії виробництва, але й в ході проведення випробувань та експлуатації.

У цих областях також необхідно прагнути до опрацювання чи заміни контрольно-вимірювальних, випробувальних і перевірних комплексів з урахуванням необхідності їхньої інтеграції в єдиний інформаційний простір підприємств. Пропонований нами підхід до проведення модернізації чи заміни устаткування дозволяє створити систему супроводу виробництва, орієнтовану на роботу в єдиному інформаційному просторі підприємства.

В області застосування комп'ютерних систем фахівці підприємств часто орієнтуються на досвід однорідних західних фірм. На цій підставі робиться висновок про необхідність застосування тих чи інших систем. Але важливо не просто вивчати цей досвід, а оцінювати тенденції розвитку програмних продуктів і методів їхнього використання.

Основною тенденцією побудови інформаційних систем є перехід від концепції універсалізації ПЗ до концепції універсалізації обміну даними та підвищення спеціалізації ПЗ. Ця тенденція сформувалася в результаті розуміння неможливості опису всього життєвого циклу виробу в рамках одного програмного пакета. Насправді система, призначена для проектування, не буде ефективною в процесі розв'язання задач експлуатації.

У ході застосування готових рішень у вигляді CAD/CAM критичним може виявитися можливість інтеграції у них своїх власних алгоритмів, методик проектування й розрахунку. Відсутність можливості використання свого власного досвіду приведе підприємство до повної втрати наявного інтелектуального потенціалу і, як наслідок, до втрати позицій на ринку.

Для об'єднання різних специфічних сфер діяльності підприємств у єдине інформаційне середовище необхідно створювати свої програми. Як програмне середовище розробки програм заслуговує на увагу такий засіб, як CAS.CADE.

Підготовка персоналу, здатного працювати в інформаційній системі виробництва, орієнтованої на CALS-технології, є не менш складною й проблемною задачею. Висока вартість програмного забезпечення і складне фінансове становище навчальних закладів привели до ситуації повної відсутності необхідної матеріальної бази для освоєння сучасних промислових інформаційних систем.

На підприємствах, куди приходять молоді фахівці, основна частина персоналу не володіє комп'ютерними інформаційними технологіями. У США широко поширена практика створення науково-навчальних центрів на базі університетів за фінансової та організаційної підтримки великих фірм. Задачею таких центрів є вирішення наукових і виробничих задач реального виробництва. Стимулом для організації таких центрів є значні податкові пільги, надані фірмам, що організують наукоємні виробництва у вузах. Для ефективного впровадження ідеології CALS на підприємствах насамперед необхідно провести роботу з підготовки та перепідготовки кадрів у даній області.

До проблеми вирішення організаційно-адміністративних питань можна віднести наступне:

- надання юридичного статусу електронним документам;
- розробка процедур затвердження електронних документів;
- зміна функцій відділів і структури підприємства;
- вирішення соціальних і матеріальних питань висококваліфікованих фахівців.

Без вирішення перших двох питань електронні документи не мають юридичного статусу, що зводить нанівець переваги інформаційних технологій.

Комплексне впровадження інформаційних технологій призведе до зміни чи скорочення функцій окремих підрозділів підприємства. Визнання цієї обставини диктує необхідність супроводу зміни інформаційної системи змінами в структурі підприємств і їхніх підрозділів.

Для ефективного втілення ідеології CALS необхідна координація всіх робіт у цьому напрямку.

Перший досвід практичного застосування CALS-технологій у промисловості свідчить, що вітчизняні підприємства можуть використовувати ці технології для підвищення якості й конкурентоздатності виробленої наукоємної продукції. За нашою оцінкою, обсяг виконаних наукових досліджень не перевищує 3–5% від потрібного обсягу робіт, необхідних для створення повноцінної нормативно-правової, науково-методичної і програмно-технічної бази.

З огляду на міжвідомчий характер проблеми CALS-технологій, впровадження яких є важливою складовою сучасної державної промислової політики, необхідно створити структуру в Україні, до функцій якої увійде організація та координація робіт в області CALS, урядовим органам розробити й затвердити комплекс першочергових заходів щодо розробки й апробації нормативно-правової, науково-методичної та програмно-технічної бази, що забезпечує впровадження CALS-технологій у різних галузях промисловості.

Комплекс заходів щодо впровадження CALS-технологій має здійснюватися шляхом виконання ряду узгоджених проектів, у рамках яких мають створюватися й апробуватися і нормативна база, і нові технічні рішення [44]. Оцінюючи обсяги фінансування робіт, виконаних передовими західними фірмами в області CALS, можна зробити висновок, що переведення підприємств вітчизняної промисловості на CALS-технології являє собою надзвичайно важливу національну проблему. Для її вирішення потрібна розробка й реалізація відповідних розділів у національних цільових програмах:

1. Створення нормативно-правової бази;

2. Створення організаційної й інформаційної інфраструктури, яка передбачає [44]:

– створення національного центру у розвитку ІПВ (CALS)-технологій;

– створення галузевих центрів розвитку ІПВ (CALS)-технологій;

– створення міжвідомчої координаційної науково-технічної ради з ІПВ-технологій;

– створення й забезпечення функціонування Інтернет-порталу з поширення інформації в області ІПВ й електронного бізнесу;

3. Розробка методів аналізу й технологій реінжинірингу бізнес-процесів, базових технологій і моделей організації конструкторсько-технологічної, виробничої й комерційної діяльності, методів і засобів моделювання та оптимізації бізнес-процесів промислових підприємств науково-методичних основ логістичного аналізу виробів під час роботи в єдиному інтегрованому інформаційному середовищі.

4. Підготовка та перепідготовка фахівців.

Правильно поставлені цілі автоматизації є одним з основних факторів (поряд з підтримкою вищого керівництва) у справі успішного впровадження CALS-системи:

Фіксація основних бізнес-процесів у моделі підприємства:

– розробка чи відновлення комплексу регламентуючих документів (положення, інструкції, регламенти тощо);

– створення чи проведення ревізії стандартів (у т.ч., серії ISO-9000 та ін.);

– побудова бізнес-моделі підприємства (відповідно до стандартів IDEF).

Моделювання і документування бізнес-процесів дозволить добре підготуватися до впровадження ERP-системи та значно спростить складання ТЗ для компанії-розробника.

Добре формалізована бізнес-модель забезпечить:

– чітке й передбачуване управління підприємством;

– можливість швидкої реакції на зміну зовнішнього/конкурентного середовища;

– конкурентну перевагу і партнерську привабливість.

Побудова системи взаємозалежних показників.

Методологія BSC (Balanced Scorecard), виходить з того, що одні лише фінансові оцінки недостатні для ефективного управління підприємством.

Будь-які цілі та показники варто розглядати відразу в чотирьох аспектах:

– фінанси – стратегія зростання прибутку з погляду акціонерів;

– клієнти – стратегія створення вартості з погляду замовників;

– внутрішні процеси – бізнес-процеси – пріоритети вдосконалення внутрішніх бізнес-процесів;

– навчання і зростання – пріоритети для інновацій, навчання й організаційних змін.

Практична користь нової методології BSC допоможе:

– пов'язати стратегію і цілі автоматизації з критеріями та способами їхньої оцінки;

– оцінити реальну віддачу інвестицій у IT наприкінці проекту;

– забезпечити контроль ефективності впровадження системи в процесі реалізації проекту.

Впровадження базових інструментів CALS (систем) – це саме той випадок, коли час, витрачений на підготовку, працює на підприємство.

Під час підготовки до впровадження необхідно:

– розібратися в структурі ціни володіння системою;

– вивчити досвід однорідних підприємств;

– провести переговори з декількома постачальниками;

– вибрати систему з «росту».

Загальна ціна володіння системою включає витрати на:

– ліцензії (за кожне робоче місце),

– консалтинг (як мінімум, стільки ж, чи в 2–3 рази дорожче вартості ліцензій);

– навчання (як правило, входить у вартість консалтингу);

– устаткування;

– внутрішні витрати;

– обслуговування/супровід системи.

В ході аналізу досвіду інших підприємств важливо не упустити:

– уже готові рішення (ви зможете одержати за ті самі гроші вже налагоджену систему);

– «підводні камені» – про їх краще довідатися до початку впровадження і намітити шляхи їхнього подолання;

– аналіз впровадження систем – допоможе реально глянути на такі речі як: висока вартість, непристосованість до національного законодавства, великий обсяг доробок і тощо.

Під час проведення переговорів з постачальниками слід звернути увагу на:

– солідність фірми (час роботи в Україні, кількість консультантів, успішні впровадження);

– наявність типових рішень для галузі;

– можливість інтеграції з іншими системами;

– наявність сертифікованої системи міжнародної якості з консалтингу, впровадження і супроводу системи;

– поширеність/глобалізація пропонованих рішень.

Під час вибору необхідно враховувати:

– масштаб системи має відповідати масштабу підприємства;

– функціональність системи має підтримувати основні процеси – бізнес-процеси;

– апаратне і загальносистемне ПЗ мають відповідати загальному технічному рівню підприємства.

У процесі впровадження необхідно заздалегідь запланувати, на чому можна заощадити:

– здобуваючи ліцензії;

– проводячи навчання;

– залучаючи зовнішніх консультантів.

Усі керівники зазвичай стикаються приблизно з тими самими питаннями в ході впровадження CALS-технологій:

– яку систему обрати: вітчизняну чи західну?

– хто зможе здійснити постачання і впровадження системи?

– на чому можна заощадити і на чому цього краще не робити?

– як впроваджувати: відразу всі, частинами чи поступово?

– що робити з наявними на підприємстві автоматизованими системами?

– як навчити своїх співробітників, щоб вони реально змогли працювати з новою системою?

Ще більше питань виникає, коли вже витрачені чималі кошти і постачальник установив програмні модулі на комп'ютерах. Виявляється, що потрібно:

– наповнити нову систему нормативно-довідковою інформацією;

– передати дані зі старих систем у впроваджувану систему;

- налаштувати систему під специфіку роботи даного підприємства;
- виконати розробку додаткових програмних засобів для налаштування на функції підприємства.

Для збереження конкурентоздатності вимагаються постійні інвестиції для розвитку й удосконалення управління усього взаємозалежного комплексу виробничих процесів, умов створення виробу у вигляді системи «процеси-персонал-технології-закони». Розглядаючи цю складну систему з безліччю прямих і зворотних зв'язків, не можна не відзначити, що порушення кожної з них неминуче виводить систему з продуктивної рівноваги. Економічно розвинуті країни обережно і дбайливо підійшли до зміни технологій управління, попередньо створивши моделі й опис бізнес-процесів, а потім підготували людей і скоригували закони в інтересах виробника. Сьогодні велика частина економічних суб'єктів розвинутих країн орієнтовані у своїй діяльності на розвиток процесно-орієнтованого управління всього циклу створення та експлуатації своєї продукції. Електронна підтримка процесів розробки виробу, його виробництва, збуту, експлуатації, сервісного обслуговування, модернізації, і, в остаточному підсумку, утилізації має здійснюватися на основі системного підходу. Такий підхід передбачається концепцією використання CALS-технологій, що активно розвивається.

Реалізація CALS підприємцями і промисловцями дозволить:

- збільшити продуктивність праці своїх співробітників;
- скоротити тимчасові і загальні матеріальні витрати та забезпечити загальне підвищення якості.

Це досягається шляхом:

- спрощення доступу до інформації;
- реорганізації діяльності (без зміни поставлених задач);
- комп'ютеризації робочого оточення;
- зміни взаємозв'язків між підприємствами-партнерами.

CALS-орієнтована реорганізація діяльності дозволить збільшити продуктивність праці співробітників, що беруть участь у ній; скоротити часові витрати; скоротити загальні матеріальні витрати за рахунок підвищення показників якості виконання таких операцій:

- обробки інформації;
- використання інформації;
- здійснення консультацій і аналітичного огляду результатів роботи;
- перегляду інформації;
- додавання нової інформації;
- опрацювання інформації;

- перегляду/затвердження інформації;
- поширення інформації;
- роботи над помилками, аналізу причин їхнього виникнення.

Тому будь-яке підприємство – дрібне, середнє чи велике – плануючи освоїти виробництво нового виробу, а також здійснити його ефективну техніко-економічну підтримку, зможе використовувати такі переваги CALS-технологій, як одноразове створення і багаторазове використання загальних даних і планування ЖЦ.

Ці підприємства будуть здатні:

- швидше реагувати на зміну ринкової ситуації (оптимальна реакція на запити споживачів, скорочення часу на поповнення матеріальних запасів і зниження їхнього обсягу);
- зменшити свої витрати (усунення трудомістких операцій з дублювання даних, значне скорочення обсягів паперу, що використовується);
- підвищити якість, особливо надійність своєї продукції (зменшення браку на етапах розробки і виробництва виробів, поліпшення погодженості даних) [45].

8.4 Комплексний супровід процесів

Наскрізне інформаційне забезпечення процесів ЖЦВ можливо здійснювати через інтегровану модель виріб-процес-середовище на основі об'єднання у віртуальну корпорацію всіх учасників бізнес-процесів ЖЦВ. За одним з визначень, корпорація – це територіально розподілені юридично самостійні різні види діяльності, об'єднані будь-якою загальною стратегією. У контексті CALS це означає, що в ЖЦВ на різних етапах можуть бути задіяні різні виконавці: замовники, проектувальники, виробники, субпідрядники, постачальники, експлуатаційники, ті, що проводять утилізацію виробу, та ін. Зрозуміло, підтримка ЖЦВ здійснюється і там, де немає комп'ютерної віртуальної корпорації. Вона здійснюється іншими методами і засобами.

Наприклад, може існувати система так званих організацій – «поштових скриньок», у рамках якої заснований інститут представництва замовника. Численні висококваліфіковані його представники, що спеціалізуються на конкретних технічних напрямках, контролюють проходження технічної документації, здійснюють нагляд за виробництвом (представники замовника). Вони мають великі повноваження, у тому числі право припиняти ділові процеси організації. Ця величезна інфраструктура контролює всі етапи ЖЦВ, включаючи субпідрядників.

Така велика (і дорога) армія контролерів може істотно скоротитися в процесі використання безпаперової технології виготовлення складних виробів. Справді, САД надасть креслення в електронній формі; система Workflow простежить, щоб вони не пройшли на наступні етапи без необхідного узгодження; електронний документообіг визначить винуватця у зриві термінів робіт; система PDM відразу виявить, хто, коли і на якій підставі здійснив зміни в документації і виробничому процесі; ERP проінформує про всі нюанси виробництва; TQM докладно повідомить про якість виробів, матеріалів і комплектуючих. При цьому не важливо, де знаходиться хто-небудь із суб'єктів ЖЦВ, – у якому місті, у якій країні, – усі працюють у єдиній віртуальній організації.

Принциповим моментом у віртуальній корпорації є те, що всі підприємства-учасники ЖЦВ входять у нього на контрактній основі і не мають об'єднаної організаційної структури юридичної особи. Віртуальна корпорація утворюється на термін дії контракту для реалізації конкретного спільного проекту. Те саме підприємство може бути учасником багатьох віртуальних корпорацій (проектів). Така віртуальна організація для підтримки ЖЦВ може бути реалізована в комп'ютерному середовищі за допомогою CALS-технологій.

8.5 Економічні аспекти застосування CALS

На ефективність діяльності підприємств, що застосовують CALS, безпосередньо впливають такі фактори:

- скорочення витрат і трудомісткості процесів технічної підготовки й освоєння виробництва нових виробів;
- скорочення календарних термінів виводу нових конкурентоздатних виробів на ринок;
- скорочення частки браку і витрат, пов'язаних із внесенням змін у конструкцію;
- збільшення обсягів продажу виробів, що поставляються з електронною технічною документацією (зокрема, експлуатаційною), відповідно до вимог міжнародних стандартів;
- скорочення витрат на експлуатацію, обслуговування і ремонти виробів («витрат на володіння») [45].

Аналізуючи досвід вітчизняних і зарубіжних проектів, можна відзначити :

- саме по собі впровадження технологій ефекту не дасть. Потрібно створювати на підприємстві єдину взаємозалежну CALS-систему;
- реалізація ефективної схеми взаємодії співробітників надзвичайно важлива. Без такої схеми CALS-система не запрацює;

- створення CALS-системи вимагає істотної (можливо, і кардинальної) реорганізації процесів конструювання виробів і підготовки їхнього виробництва;
- необхідна рішучість, воля й особиста участь вищого керівництва, щоб провести в життя зміни, необхідні для створення CALS-системи і її запуску в роботу;
- якщо розробка виробу вимагає активної участі суміжників (наприклад, постачальників важливих вузлів), то бажано, щоб між партнерами була налагоджена координація в області створення і розвитку CALS-систем. У цьому випадку розумно робити об'єктом управління єдину розподілену CALS-систему «віртуального підприємства» (промислового консорціуму, яке спільно працює над створенням і виробництвом високотехнологічного виробу), що включають CALS-системи окремих підприємств як свої компоненти.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити такі висновки:

1. Необхідно здійснювати модернізацію чи заміну виробничого устаткування для забезпечення інтеграції виробничих робочих місць в інформаційну мережу підприємства, що дозволить створити виробництво, система супроводу якого орієнтована на роботу в єдиному інформаційному просторі.

2. Наявне сьогодні на ринку ПЗ не забезпечить його ефективного застосування на всіх етапах життєвого циклу. На додаток до систем, що впроваджуються, необхідно створювати програми, що акумулюють досвід підприємств. У ході організації таких програм доцільно використовувати інструментальні засоби.

3. Для вирішення задачі підготовки кадрів необхідне створення науково-навчальних центрів за підтримкою фірм, що є лідерами в інформаційних технологіях. У рамках цих центрів передбачити рішення наукових та інженерних задач з впровадження CALS-технологій.

4. Володіння необхідним устаткуванням, програмним забезпеченням і навченим персоналом не гарантує одержання бажаних результатів від впровадження CALS-технологій без вирішення організаційно-адміністративних питань.

8.6 Задачі і напрямки впровадження CALS-технологій

Оскільки США були ініціатором створення та розвитку ідеології й методології CALS, то природно, що саме в цій країні сьогодні накопичений найбільший досвід практичного використання CALS-технологій. Короткі відомості про деякі проекти приведені в таблиці 8.1 [9].

Приклади проектів Східної Європи [9] наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.1 – Проекти CALS-технологій

Організації, що застосовують CALS	Область застосування	Потреби	Процеси	Результати	Рік
1	2	3	4	5	6
Airbus	Розробка аеробуса A380	Паралельна обробка даних	Проектування і технологічна підготовка виробництва	Конкурентоздатна продукція	1990–теп. час
American Airlines	Експлуатація літаків	Управління конфігурацією Інформаційна підтримка процесів експлуатації у світовому масштабі	Застосування стратегії CALS до процесів і операцій експлуатації літаків	Скорочення кількості паперових документів. Зниження витрат на експлуатацію	1990–теп. час
Bell Helicopter Textron	Створення інформаційного середовища для підтримки обслуговування нової продукції у споживачів (CITIS – Contractor Integrated Technical Services)	Застосування принципів CALS на всьому життєвому циклі продукції	Паралельний інжиніринг	Зведення не публікуються	1992–теп. час
General Motors	Розширене (віртуальне) підприємство. вартість програми \$3 млрд.	Стратегія інтеграції	Інтеграція процесів розробки і виготовлення виробів	Стандартні засоби та стандарти обміну даними між учасниками підприємства GM та постачальниками	1990–1995

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4	5	6
Hughes Aircraft	Управління даними про виріб у рамках віртуального підприємства	CALS-стратегія	Інтеграція процесів розробки та виготовлення виробів	Підвищення ефективності процесів	1992- -теп. Час
Lockheed Aeronautical	Раціоналізація і прискорення закупівель	Процес і система постачань. Вимоги до підрозділу постачання	Методи і системи управління постачаннями. Управління конфігурацією і даними про виріб	Різке поліпшення характеристик. Упорядкування грошових потоків. Зниження витрат	1993–1995
Lockheed Aeronautical	Раціоналізація і прискорення закупівель	Процес і система постачань. Вимоги до підрозділу постачання	Методи і системи управління постачаннями. Управління конфігурацією і даними про виріб	Різке поліпшення характеристик. Упорядкування грошових потоків. Зниження витрат	1993–1995
Lockheed Martin	Системи розробки інтерактивних електронних технічних посібників (ІЕТР)	Еталонні ІЕТР	Технології розробки та супроводу електронної експлуатаційної документації	Прибуток від виконання контракту	1993–теп. час
McDonnell Douglas	Програма С-17	Інтеграція підприємства	CITIS – Інтегроване техніко-інформаційне обслуговування замовника	Скорочення витрат	1990–1995

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4	5	6
Northrop Grumman	Бомбардувальник B2	CITIS	Документація та навчання Новий порядок замовлення запчастин. IETP	Прибуток від виконання контракту	1992–теп. час
Pratt & Whitney	644 поста-чальника, 130.000 заявок на закупівлі, 450.000 рахунків у рік. Обмін технічними даними по турбінах із фірмою Motoren-und Turbine-Union	Впровадження електронного обміну даними на основі CALS. Інтеграція підприємства	Процес закупівель. Пілотний проект паралель-них розробок із використанням STEP.	83% постачальників, що забезпечують 92% постачань, використовують електронний обмін даними. Зниження витрат	1992–теп. час
Raytheon	Програма «Patriot»	Впровадження CALS	Застосування CALS для створення всієї технічної документації	Стандартні робочі процедури	1990–теп. час
Rockwell International	Бомбардувальник B1	Стратегія інформаційної інтеграції	Методика проектування систем на основі стратегії CALS	Програмні рішення CALS, що забезпечують обслуговування ВЗ у ВВС США	1988–теп. час
Rolls Royce	Двигуни	Паралельні розробки	Інтеграція процесів розробки та виготовлення виробу	Зниження витрат і підвищення якості	1990–теп. час

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4	5	6
John Deere	Інтеграція підприємства	Застосування CALS до створення автоматизованого середовища підприємства	Об'єднання «об'єктів автоматизації»	Розширення ринків збуту. Паралельна робота з фірмою Caterpillar	1988–теп. час
Тоkyo Electric Power	Середовище застосування CITIS	Інтеграція підприємств. Прискорення реакцій на позаштатні ситуації. Закупівлі	Збільшення кількості кваліфікованих постачальників.	Демонстрація можливостей CALS	1993–2000
НАСА	Космічний телескоп Hubble	95000 креслень і 5 млн технічних документів	Ремонт і аварійне відновлення	Успішний приклад використання CALS-стандартів і стратегії стосовно наукоємної продукції	1993–1997

Таблиця 8.2 – Проекти в Східній Європі

Організації, що застосовують CALS	Проект	Причини, що обумовили виконання проекту
1	2	3
ВАТ Балтійський завод	Формування електронної інформаційної моделі корабля з використанням CALS-технологій на ВАТ «Балтійський завод»	Підвищення конкурентоздатності продукції
ВАТ «Раменський приладобудівний завод»	Впровадження системи управління даними про виріб	Зниження термінів освоєння нових виробів і створення основи для подальшого впровадження PDM-системи на підприємстві
КіААПО	Створення комплексу логістичної підтримки	Підвищення конкурентоздатності продукції
ФГУП КБП (Тула)	Інформаційний супровід виробу на етапі експлуатації	Підвищення конкурентоздатності продукції, навчання персоналу Замовника
ВАТ АВИАМОТОР (Перм)	Інформаційний супровід виробу на етапі експлуатації	Підвищення конкурентоздатності продукції
НВП «АЕРОСИЛА» (Ступіно)	Створення електронного архіву технологічної-конструкторсько-технологічної документації і його інтеграція із системою планування виробництва	Скорочення витрат на запуск нових виробів у виробництво
ВАТ ТУПОЛЕВ	Інформаційний супровід виробу на етапі експлуатації	Вимоги контракту з іноземним замовником на комплексний інформаційний супровід етапу експлуатації

Продовження таблиці 8.2

1	2	3
ГРПЗ	Розробка системи збереження ліцензійної технічної документації (ЛТД) протягом життєвого циклу виробів	Організація системи збереження ЛТД протягом життєвого циклу виробів. Забезпечення замовників у частині організації логістичної підтримки виробів
ОКБ «СПЕКТР»	Створення системи управління якістю продукції	Підготовка до сертифікації по ІСО 9002
ВАТ «Станкоагрегат»	Створення електронного архіву конструкторської документації	Удосконалювання процесу конструювання автоматичних ліній
УМПО	Розробка системи упорядкованого збереження та управління КТД в електронному виді	Удосконалювання процесів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва
ММПІ Салют	Інформаційний супровід виробу на етапі експлуатації	Підвищення конкурентоздатності продукції, вимоги Замовника
КВЗ	Ведення конструкторсько-технологічних специфікацій, довідкової – нормативно-довідкової інформації для контролю процесу формування і виконання контрактів на ВАТ «Казанський вертолітний завод»	Удосконалювання системи формування контрактів і контролю їхнього виконання

Ці таблиці досить точно відображають тенденції та напрямки впровадження CALS-технологій у різних галузях промисловості. З таблиці видно, що найбільше число проектів реалізоване в аерокосмічній промисловості. Хоча зараз є відомості про зростання кількості проектів і в інших галузях, однак лідируюче положення аерокосмічної промисловості зберігається. Таблиці дозволяють також виявити основні напрямки розробок, до числа яких належать:

- інформаційна інтеграція процесів проектування й виготовлення виробів у рамках як традиційних, так і віртуальних підприємств;
- електронний обмін даними й паралельне проектування;
- створення технічної документації у безпаперовій формі;
- управління даними про виріб;
- управління закупівлями та постачаннями з використанням електронного обміну даними між постачальником і споживачем;
- інформаційна підтримка процесів експлуатації й обслуговування техніки (включаючи навчання персоналу, нові форми замовлення запчастин) на основі використання ІЕТР;
- створення безпаперових систем і процесів управління якістю;
- інтегроване інформаційно-технічне обслуговування замовника (переважно держзамовника);
- забезпечення інформаційної безпеки в процесах обміну даними.

Один із напрямків робіт із впровадження CALS-технологій є створення засобів логістичної підтримки поствиробничих стадій ЖЦ виробу. Одна з найважливіших задач цього напрямку – автоматизована розробка інтерактивних електронних технічних посібників (ІЕТР) по експлуатації та ремонту виробів.

Основна задача, яка розв'язується шляхом застосування CALS-технологій, – економія часу та засобів при одночасному підвищенні якості. Застосування CALS-технологій супроводжується наступними типовими показниками:

- у процесах проектування й інженерних розрахунків: скорочення часу проектування на 50%; зниження витрат на вивчення виконуваності проектів на 15–40%;
- у процесах організації постачань: зменшення кількості помилок з передачею даних на 98%; скорочення часу пошуку та вибору даних на 40%; скорочення часу планування на 70%; скорочення вартості інформації на 15–60%;
- у виробничих процесах: скорочення виробничих витрат на 15–60%; підвищення показників якості на 80%;

– у процесах експлуатаційної підтримки виробів: скорочення часу на зміни технічної документації на 30%; скорочення часу планування підтримки на 70%; зниження вартості технічної документації на 10–50%.

Перспективність впровадження технології CALS не викликає сумнівів. Інша справа, що на шляху її впровадження доводиться долати різні труднощі. І якщо в країнах «розвинутого капіталізму» дані проблеми часто обмежуються невірним сприйняттям обивателями самої технології (живучим виявився стереотип про приналежність CALS військовому відомству), то перешкоди до просування цієї перспективної технології на українських просторах значно більш серйозні. Тим більше, що теоретичні положення з опису життєвого циклу виробів у вітчизняній науці розроблені досить давно.

В Україні концепція CALS і стандарти по CALS-технологіях поки не знайшли широкого застосування. Основними причинами цього є:

– загальне відставання в процесах комп'ютеризації господарської, виробничої і комерційної діяльності;

– відсутність вітчизняної нормативної бази, що дозволяє перейти від традиційних методів організації процесів проектування, виробництва, випробувань, експлуатації тощо, заснованих на паперовому документообігу, до нових, заснованих на електронній взаємодії й обміні даними. Існуючий комплекс стандартів (ЄСКД, ЄСТД, ЄСПД, та ін.), галузевих стандартів та інших нормативних документів не дозволяє відмовитися від традиційного паперового документообігу. Застосування комп'ютерних технологій для обміну інформацією тільки дублює паперовий документопотік. Це суперечить самій сутності концепції CALS, що припускає рівноправне використання інформації у будь-якій формі, у тому числі юридичну еквівалентність паперових і електронних документів, позначених цифровим підписом;

– мало інформації про суть концепції CALS, досвід застосування CALS в інших країнах, а звідси недостатнє розуміння переваг і потенційного ефекту, що досягається за рахунок застосування CALS;

– відсутність ринку пропозицій і послуг в області CALS. Ринок пропозицій знаходиться в початковому, зародковому стані;

– мало підготовлених, кваліфікованих фахівців, а також системи їхньої підготовки й атестації.

У такій ситуації потрібні кардинальні й оперативні заходи для ліквідації відставання вітчизняної промисловості в області розробки та реалізації CALS-технологій, що відповідають вимогам міжнародних стандартів. Подальше відставання української промисловості в області CALS-технологій

може привести до непоправного відставання України в цій області. Від цього залежить не тільки рівень національної технологічної бази, але й економічна та оборонна безпека країни.

Деякі кроки в цьому напрямку вже робляться. 15 лютого 2002 року Верховною Радою був прийнятий новий законопроект «Про електронний цифровий підпис» з урахуванням Директиви 1999/93/ЄС «Про систему електронних підписів, що застосовуються в межах Співтовариства» [13], [22].

Інформаційні технології в авіабудуванні та конкурентоздатність промисловості «прописались» сьогодні в авіакосмічній галузі. CALS-технології вже найближчим часом можуть різко поліпшити бізнес-процеси всього машинобудівного комплексу України.

Виробництво авіаційної техніки сьогодні нерозривно пов'язано із широким використанням комп'ютерних технологій при проведенні маркетингу, проектуванні, розрахунку, сертифікації, підготовці виробництва, виробництві, управлінні якістю, технічному обслуговуванні при експлуатації й утилізації. Як інструмент використовуються CAD/CAM/CAE/PDM-системи, що дозволяють створювати тривимірний комп'ютерний об'єкт виробництва і працювати з ним. Для цього необхідно розробити та ввести в дію державні стандарти, які визначають інформаційний опис продукції та процесів на базі стандартів серії ISO. Підприємства авіаційної промисловості України й Росії використовують як базові «важкі» системи: Unigraphics, CATIA, Pro/Engineer, Euclid і викликає сумнів необхідність їхньої сумісності з ЄСКД і ЄСТД. Мабуть, необхідно знайти інший шлях оформлення конструкторської та технологічної документації.

В авіабудуванні лідирують у впровадженні CALS-технологій відомі українські («Антонов», «Мотор Січ», «Прогрес» і ін.) і російські («Туполев», «Сухой», «Миг», «Молния» тощо) фірми авіабудівельної галузі, об'єднані проблемами комп'ютерного забезпечення індустріального бізнесу.

За впровадженням САПР найбільш показові проекти, виконані NS Labs, з організації систем автоматизованого проектування в різних високотехнологічних і наукоємних галузях промисловості. Тут потрібно відзначити й українських авіабудівників. Уже цілком освоєна система комп'ютерного проектування, заснована на CALS-технологіях, ВАТ «Мотор-Січ» має зібрати перший ліцензійний вертоліт Ка-226 (програма створення багатоцільового вертолітного комплексу в Україні існувала ще з 1993 р., але жодне авіапідприємство не зважувалося взятися за її реалізацію).

ВАТ «Український НДІ Авіаційної Технології» веде дослідження й розробку прогресивних технологічних процесів виробництва та ремонту

авіаційної техніки, інших виробів машинобудування; здійснює технологічне проектування підприємств авіаційної промисловості; займається розробкою й виробництвом ручного механізованого інструмента; веде розробку документації системи забезпечення якості продукції; займається організацією міжнародних виставок, семінарів, презентацій.

8.7 Проблеми впровадження CALS-технології на етапах створення та застосування ЕРВ у радіоелектронній апаратурі

Характерною рисою розробки та виробництва сучасних і перспективних електрорадіовиробів (ЕРВ) є процес збільшення їхньої функціональної інтеграції, точнісних характеристик, швидкодії, надійності й ін. Незважаючи на наявні в країнах СНД об'єктивні труднощі, дана обставина обумовлює проблеми різкого зростання трудомісткості проектування ЕРВ, збільшення обсягу програмних засобів для їхніх випробувань, а також затрат на розробку конструкторської та технологічної документації (КД і ТД). Тому істотною задачею є створення та впровадження системи розробки та реалізація електронної документації, що охоплює всі етапи життєвого циклу виробів і забезпечує обмін інформацією між підприємствами-розробниками та підприємствами-споживачами ЕРВ [23].

У цілому CALS-технологія створює базові умови для реалізації наскрізної системи інформаційної підтримки апаратури, приладів і пристроїв на всіх етапах життєвого циклу від розробки до утилізації.

У країнах Східної Європи стандартизація в області інформаційних технологій, у тому числі і CALS, знаходиться на початковій стадії розвитку. Ситуація виглядає так: з одного боку, існує думка, що можливий простий перехід від діючих на всій території колишнього СРСР інформаційних банків даних і систем електронного документування до CALS-технології інформаційної підтримки створення продукції, з іншої – НДІ і підприємства промисловості розробляють і впроваджують власні інформаційні системи управління окремими етапами виробничого процесу, які не відповідають вимогам прийнятих міжнародних CALS-стандартів і є серйозною перешкодою для оперативного обміну необхідною інформацією, а також виходу продукції на зовнішній ринок.

Уже сьогодні в країнах Східної Європи провідні підприємства-експортери, насамперед військової техніки й озброєння, зіштовхнулися із ситуацією, коли обов'язковою умовою укладення будь-якого контракту

стає вимога замовника надати йому технічну документацію на продукцію в електронному виді, що відповідає міжнародним CALS-стандартам [24].

У загальному випадку, упровадження якісно нових інформаційних технологій наскрізного супроводу виробів пов'язано насамперед із реалізацією системи формалізованого комп'ютерного опису для усього життєвого циклу, що включає:

- стандартну мову узагальнення документів, що розмножуються, (SGML);
- підсистему (мегафайл) комп'ютерної графіки (CGM);
- структуровану мову запитів (SQL);
- стандарт обміну даними про модель продукту (EPB і апаратури на їхній основі) (STEP);
- мову високого рівня моделі EPB і апаратури на їхній основі (VHDL).

Процес створення системи подібного типу дозволяє виділити ряд практично автономних підзадач (інформаційних напрямків розвитку CALS-технології).

Базовим напрямком є поетапне впровадження електронних версій документів. Так, у США на початковому етапі впровадження CALS-технології документи розроблялися в 2-х варіантах: на паперових носіях і в «електронній» копії. При цьому найбільш ефективним для документації в електронному вигляді виявився формат PDF, розроблений фірмою Acrobat. Цей формат за результатами використання в Лос-Аламоській лабораторії і на підприємствах атомної галузі США був визнаний Пентагоном як уніфікований.

До стандартного комунікативного формату обміну інформацією про виріб на будь-якому етапі його життєвого циклу, то для впровадження може розглядатися формат EDIF, що успішно використовується провідними закордонними електронними фірмами, у тому числі, IBM, Intel, Texas Instruments, Motorola та іншими.

У цілому для реалізації даного напрямку доцільно взяти за основу комплекс стандартів ISO-10303 і ISO-13584, що використовуються у міжнародній практиці і визначають єдиний порядок механізму електронного опису продукції. Застосування принципів системи CALS, викладених у перерахованих документах, забезпечує формування об'єднаної бази даних інформаційної системи будь-якої галузі промисловості, що містить інформацію окремих підприємств (підрядників).

Інший напрямок пов'язаний зі створенням системи формалізованого комп'ютерного опису EPB для всього життєвого циклу їхнього існування. Подібна система може бути розроблена у вигляді комплексу програмних

засобів уніфікованих наскрізних САПР, що забезпечують інформаційно-логічний зв'язок процесів проектування і виготовлення ЕРВ й апаратури на їхній основі. Упровадження таких уніфікованих САПР передбачене програмними документами розвитку виробів мікроелектроніки, у тому числі й спеціального призначення [20]. Першочерговою задачею реалізації даної системи є впровадження уніфікованих мов опису топологічної структури функціональних модулів і ЕРВ, а також електронних модулів радіоелектронної апаратури (РЕА) у цілому.

Проведені дослідження показали, що, як мову опису функціональних моделей можливо використати мову високого рівня VHDL, стандартизовану в США для радіоелектронних засобів озброєння. Стандарт з описом даної мови зараз упроваджений в країнах Східної Європи [25].

Для опису топологічних структур ЕРВ можуть бути ефективно застосовані елементи мови GDS, оскільки усі провідні зарубіжні фірми-постачальники засобів програмного забезпечення САПР включають у них конвертори інформації у формат цієї мови. Мова GDS дозволяє описувати топологію з будь-якою точністю та розмірністю (включаючи метричну й дюймову системи), що особливо важливо, якщо враховувати перспективу постійного зменшення топологічних норм проектування (з 2,0 мкм до 0,81,2 і далі до 0,30,6) сучасних і перспективних виробів мікроелектроніки.

Поряд із функціональним моделюванням, у CALS-системі проектування ЕРВ необхідно передбачити їхнє технологічне моделювання з метою створення стійкого та стабільного технологічного процесу (тобто визначення оптимальних умов і режимів проведення операцій, норм, допусків і так далі), що забезпечує вимоги замовника до надійності з урахуванням запасу за параметрами.

Крім етапів проектування ЕРВ, апаратури на їхній основі та створення електронних версій КД і ТД, CALS-система має охоплювати і такі інформаційні області, як управління Державним замовленням на розробку матеріалів, ЕРВ і РЕА, управління номенклатурою та якістю виробів.

Як одну з основних сфер застосування сучасної інформаційної технології CALS варто розглядати систему управління номенклатурою, що дозволяє ефективно реалізувати єдину технічну політику Генерального замовника в процесі комплектування перспективних апаратних комплексів виробами електроніки й електротехніки, що випускаються підприємствами України та країн ближнього зарубіжжя. При цьому мають зважуватися, враховуватися основні технічні задачі:

– оптимальне розміщення Державного замовлення на підприємствах промисловості;

- розробка та впровадження сучасних принципів забезпечення й контролю якості та надійності продукції;

- підвищення точності й оперативності пошуку несправностей у РЕА за рахунок доступу до технічної документації у діалоговому режимі і розвинутих автоматизованих засобів діагностики відмов тощо.

Зокрема, в Росії створена система сертифікації ЕРВ, РЕА і матеріалів військового (подвійного) призначення, а також розробляється автоматизована система каталогізації та стандартизації (АСКС) матеріалів, ЕРВ і РЕА.

Під час автоматизації деяких процесів цієї системи використовуються методи CALS-технології, що забезпечать оперативність одержання інформації і її вірогідність в ході рішення основних задач, таких як:

- сертифікація систем якості й виробництва РЕА, ЕРВ і матеріалів;
- ведення переліку (реєстру) сертифікованих виробів;
- ведення переліку (реєстру) сертифікованих підприємств оборонної промисловості;

- узагальнення й аналіз даних про якість виробів на етапі їхньої розробки, виробництва, постачання;

- формування та використання комп'ютерного банку даних стандартів на оборонну продукцію;

- формування та ведення єдиного каталогу предметів постачання.

Цю розробку можна розглядати як підсистему інтегральної системи міждержавної каталогізації продукції країн Східної Європи, а також як основу єдиного інформаційного простору, що сприяє розвитку технічного співробітництва й оборонної промисловості цих держав [26] .

8.8 Проекти розвитку та впровадження стандарту ISO 10303 (STEP)

PLCS – Product Life-cycle Support. У рамках даного проекту розробляється модель даних (на основі стандарту STEP), що дозволяє забезпечити інформаційну підтримку процесів у ході всього життєвого циклу продукту.

Учасниками проекту є:

- Airbus Industrie, The Boeing Company, The Baan Company, BAE SYSTEMS, The Finnish Defence Forces (FDF), Lockheed Martin Government Electronic Systems;

- LSC Group Ltd, Norwegian Defence & DNV, PTC, Rolls-Royce (PLC), Saab Aerospace, U.K. Ministry of Defence (Mo), United States Department of Defense (Do), POSC/CAESAR.

Проект із розробки моделі даних про нафтогазове устаткування для інформаційної підтримки етапів введення в експлуатацію, експлуатації та ремонту устаткування. У рамках даного проекту розроблений проект стандарту ISO 15926 OIL&GAS. Особливістю стандарту є те, що він орієнтований не на обмін даними, а на їх використання в режимі розподіленого доступу.

Наведена у стандарті концептуальна модель даних може бути використана як основа для побудови розподілених баз даних чи DWH (Data Warehouse). Стандарт ISO 15926 OIL & GAZ зараз – останній з чотирьох інформаційних CALS-стандартів сімейства STEP. Стандарт ISO 15926 використовує як інформаційні об'єкти узагальнені й інтегровані ресурси, і також для опису моделі даних мову EXPRESS, що є складовою частиною стандарту ISO 10303 (STEP).

Учасниками проекту є: BNFL, BP Amoco, Conoco, Foster Wheeler Energy, Shell, Det Norske Veritas, MC Kongsberg Subsea, Intergraph, Norsk Hydro, Oracle, Statoil, ABB, Akzo Nobel.

STEP – NC:

Проект із розробки моделі даних для передачі геометричної інформації для обробки на верстатах із ЧПУ. На основі даної моделі розроблений стандарт ISO 14649 «Data model for Computerized Numerical Controllers».

Учасниками проекту є:

– CECIMO, Європейський комітет із співробітництва верстатобудівних галузей промисловості. Його членами є національні асоціації 14 європейських держав: Австрія, Бельгія, Швейцарія, Чеська Республіка, Данія, Іспанія, Фінляндія, Франція, Великобританія, Італія, Нідерланди, Португалія та Швеція. Це централізує дії, проекти та цілі виробників верстатів;

– CMS S.p.A., яку називають виробником засобів спеціальних машин, який проектує та виробляє спеціальні та стандартні CNC центри механічної обробки деревообробної промисловості. Більш ніж 2000 NC машин встановлених у всьому світі;

– група Крайслер містить такі розділи: легковий автомобіль, комерційний транспортний засіб, космічний, сервісний розділ та безпосередньо керовані бізнес-процеси типу мікроелектроніки та MTU/DIESEL двигунів;

– Dassault Systems S.A. є всесвітньо-визнаним лідером CAD/CAM/CAE та PDM ринку. Це дає клієнтам можливість створити цифрове підприємство для моделювання, оптимізації управління та виробництва конкурентоздатної продукції, виробничих процесів та операцій;

– the Automation and Drives Group (A&D) підприємства Siemens Ltd, які займаються індустріальною автоматизацією. Siemens був залучений у станкобудівну промисловість протягом 30 років – сьогодні один з головних продавців CNC-технології в Європі;

– АВ VOLVO компанія, яка спеціалізується на транспортній технології. Діапазон виробів – автомобілі, вантажівки, автобуси, обладнання, конструкції та дослідні зразки цих видів транспорту. Це включає моделювання моделей та компонентів, а також виготовлення деталей і запчастин в одному пакеті для масового виробництва.

8.9 Проекти в області інформаційної підтримки етапів експлуатації та логістичної підтримки

RENAULT KERAX (Важка вантажівка).

Підготовка електронної документації, що поставляється з продуктом Міністерству оборони. Проект закінчений наприкінці 2000 р.

PANDUR (Новий транспортний засіб для підтримки мирних операцій).

Проект із підготовки програмно-апаратного комплексу для підтримки етапу експлуатації та супроводу, що реалізує такі функції: пошук несправностей, автоматичне встановлення необхідних запасних частин для усунення несправностей, відображення послідовності дій з усуненням несправностей.

UAV (Непілотований повітряний транспортний засіб).

Цей CALS-проект є пробним. Мета проекту – відпрацювання супроводу військової техніки, реалізувавши всі аспекти інтегрованої та логістичної підтримки.

RECSE 2001.

Програма супроводу 139 легких броньованих транспортних засобів із використанням інтегрованої інформаційної моделі. Мета проекту – тестування CALS-технологій, що використовуються Міністерством оборони Бельгії. Серед яких: електронна документація, управління конфігурацією, аналіз управління й ціни життєвого циклу, оптимізація витрат на логістичну підтримку й ремонт, ремонтпридатність і надійність.

BAMS (COBRA).

Розробка бази даних на основі CALS-стандартів для управління конфігурацією BAMS radios. Друга фаза даного проекту завершена.

Результат даного етапу – перенесення бази даних із ALCATEL у Логістичний центр Міністерства оборони.

8.10 Контрольні запитання та завдання

1. Перерахуйте основні складові специфіки CALS-технологій і проблеми їх впровадження.
2. Назвіть найбільш важливі з проблем впровадження CALS-технологій.
3. Перелічіть базові технології CALS.
4. Які цілі переслідують підприємства з використанням CALS-технологій?
5. Чим відрізняються CALS-технології від традиційної автоматизації підприємств?
6. Назвіть методи реалізації проекту створення CALS-систем.
8. Перерахуйте основні роботи, необхідні для підготовки підприємства до впровадження CALS.
9. В чому полягає ефективність діяльності підприємств, що застосовують CALS?
10. Назвіть задачі і напрямки впровадження CALS-технологій.
11. Назвіть основні причини, що не сприяють застосуванню CALS-технологій на підприємствах України.
12. Які знаєте проекти розвитку та впровадження стандарту ISO 10303 (STEP)?
13. Які знаєте проекти в області інформаційної підтримки етапів експлуатації і логістичної підтримки?

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. CALS-технології в управління проектами і розвитку виробництва: Навчальний посібник / Л.І. Нефьодов, З.В. Плотнікова. – Харків: ХНАДУ, 2005. – 196 с.
2. Балабуев П. Глобальная информатизация – прорыв информационных (компьютерных) технологий / Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – Киев, «Техника», 2001.– С. 64–83.
3. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. – Ульяновск: Зебра, 2016. – 243 с.
4. Братухин А. CALS-стратегическое развитие наукоемкого машиностроения / Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – Киев, «Техника», 2001.–С.24–63.
5. Сайт Интернет http://www.solidworks.ru/250203_1.html
6. Шевченко А. ИПИ (CALS) технологии. Стандарты 3-го тысячелетия. Сайт Интернет <http://calscenter.com>
7. Агеев В.Н. Автоматизация управления жизненным циклом продукции: Учебное пособие. М.: МГУП, 2015. – 101 с.
8. Кабанов А., Давыдов А., Баранов В., Судов Е. «CALS-технологии для военной продукции», Стандарты и качество, 2000, №3.
9. Материалы «НИЦ CLAS-технологий «Прикладная логистика». 2003, Сайт Интернет <http://www.cals.ru>
10. Черепашков А. А. Учебное виртуальное предприятие на платформе комплекса решений АСКОН (разработка и внедрение) / А.А. Черепашков, А.В. Букатин. – Сп-б.: ЗАО АСКОН, 2013. – 144 с.
11. Сайт Интернет http://niurr.gov.ua/ru/econom/inprog/export_begma/analit/ukraine_space.htm Сайт niurr.gov.ua Украина в международных космических проектах.
12. Курочкин С. Возможные пути внедрения CALS-технологий. САПР и Графика, 2001, №8.
13. Закон України «Про електронний цифровий підпис» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2003, N 36, ст.276).
14. Васютович В., Самотохин С., Никифоров Г. Стандарты CALS-технологий. – Директор ИС, 2001, №4.
15. Применение Web- и CALS-технологий на предприятии: учеб. пособие/ П.Ф. Юрчик, В.Б. Голубкова. – М.: МАДИ, 2018. – 112 с.

16. Сайт Интернет із питань якості і сертифікації <http://www.iso9000.by.ru>
17. Овсянников М., Шильников П. Стандарт STEP. – Сервер НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика».
18. Машина Е., Шильников П. CALS-стандарты: Библиотека изделий ISO 13584 P_LIB, Сайт Интернет <http://osp.admin.tomsk.ru/cw/cio/2001/04/013.htm>
19. Дмитров В., Макаренков Ю. CALS-стандарты, Автоматизация проектирования, 1997, №4.
20. Матеріали конференції по CALS-технологіях. Сайт Интернет http://www.cals.ru/conferences/archive/CALS/cals_2000/gosst_report.pdf
21. Информационная система «ТЕХНОРМАТИВ». Сайт Интернет <http://www.tnorma.ru/lists/cals.html>
22. Сайт Интернет http://gipi.internews.ua/ukr/base/e_signature/
23. Международные стандарты в области электронной эксплуатационной документации. Сайт Интернет <http://www.tgb.cals.ru>
24. Гамкрелидзе С. Современные требования к САПР функционально-сложных изделий микроэлектроники: Научная сессия «МИФИ 99». Сборник научных трудов. Том 6. М.: МИФИ. 1999. С. 184–185.
25. ГОСТ Р 5075495. Язык описания аппаратуры цифровых систем VHDL. Описание языка. М.: Госстандарт России. 1995. 243 с.
26. Гамкрелидзе С., Орлов В., Иванов Г. Проблемы внедрения CALS-технологии на этапах создания и применения электрорадиоизделий в радиоэлектронной аппаратуре.
27. Информационная поддержка жизненного цикла продукта. Сайт Интернет <http://www.russianenterprisesolutions.com>
28. Краткое практическое руководство разработчика информационных систем на базе СУБД Oracle: Библиотечка журнала «Информационные технологии» – М.: изд-во Машиностроение, 2000. – 120 с.
29. Быченков В. Эволюция моделей жизненного цикла автоматизированных информационных систем и их стандартизация // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления: Сб. науч. тр. / Под ред. В.И.Махнач, Е.В.Владимирова. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. С. 135–142.
30. Быченков В. Иерархическая модель жизненного цикла автоматизированных информационных систем // Информатизация образования. 2003. № 1. С. 41–48.
31. Ефимов Г. Жизненный цикл информационных систем. Журнал «Сетевой». Сайт Интернет <http://www.abn.ru/inf/setevoi/cycle.shtml>

32. Овсянников М., Шильников П. Концепция CALS – создание единой интегрированной модели изделия Сайт Интернет <http://www.rk9.bmst.ru>
33. Информационные системы, Базы данных и Модели. Методология создания информационных систем. Сайт Интернет <http://www.rational.com>
34. Ланит-Терком. Публикации. Иванов Н., Кознов Д., Лебедев А., Мурашова Т., Мухин А., Парфенов В. Мобильные телекоммуникационные системы (GSM). Обзор задач. Современные методологии для анализа и реализации программного обеспечения. Анализ состояния проблемы. // Технический отчет. 1996. Сайт Интернет <http://real.tercom.ru/publications.asp>
35. Александров Д.В. Быстрая разработка проектов баз данных с помощью CASE. Сайт Интернет <http://ivt.h1.ru>
36. Концепция интегрированной логистической поддержки наукоемких изделий, НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002 г. Сайт Интернет <http://www.cals.ru>
37. Сайт Интернет з питань якості та сертифікації. <http://www.iso9000.by.ru>
38. Сундуков, Е.Ю. Автоматизация управления жизненным циклом продукции [Электронный ресурс] : учебное пособие : самостоятельное учебное электронное издание / Е.Ю. Сундуков, Т.А. Николаева; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2018. –57 с. Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>
39. Марцинковский А., Данилин В., Доценко С. Использование CALS-технологий в менеджменте качества. Сайт Интернет <http://www.kubstu.ru/fh/juk/cals.htm>
40. Головкин М. CALS: последний шанс российской промышленности. Сайт Интернет <http://www.rpm-novation.com>
41. Судов Е. В., Левин А. И., Давыдов А. Н., Барабанов В. В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002.
42. Дмитриев В.И. Опыт внедрения CALS за рубежом, Автоматизация проектирования 1997, №1.
43. Концепция CALS <http://www.rpm-novation.com>
44. Давыдов А., Баранов В., Судов Е. CALS-технологии: Основные направления развития Сайт Интернет Государственного унитарного предприятия редакционно-информационного агентства (РИА) «Стандарты и качество» <http://www.stq.ru>
45. Ключевые области CALS. Сайт Интернет <http://www.tgm.spb.ru/cals.htm>

46. Коломієць В. Ф. Міжнародні інформаційні системи, Сайт INTERNET <http://chychkan.kiev.ua/BoorKolomiec/>
47. Відомості Верховної Ради (ВВР), 1994, №31, ст. 286 .
48. Відомості Верховної Ради (ВВР), 1997, № 69.
49. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група ВНУ. – 2005. – 52 с.
50. Моделювання та оптимізація систем: підручник / [Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О. І., Усов А.В.]. – Вінниця: ПП «ТД«Едельвейс», 2017. – 804 с.
51. Гамаюн І. П. Моделювання систем : навч. посібник / І. П. Гамаюн, О. Ю. Чередніченко; НТУ «ХП». – Харків: Факт, 2015. – 228 с.
52. Gamaun I. P., Cherednichenko O. Yu. Modeling of systems: handboock for students of directions 6.050103 «Software engineering», 6.050101 «Computer Science». – Kharkiv: Fact Publ., 2015. – 224 p.
53. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
54. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання систем» для студентів спеціальності 122 – Комп'ютерні науки / Упоряд. В.В. Безкорвайний. – Харків: ХНУРЕ. 2019. – 174 с.
55. Ляшенко М.Я. Чисельні методи / М.Я. Ляшенко, М.С. Головань. – К.: Либідь, 1996. – 288 с.
56. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
57. Советов Б.Я, Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
58. Основы системного анализа и проектирования АСУ / А.А. Павлов, С.Н. Гриша, В.Н. Томашевский [и др.]; Под общ. ред. А.А. Павлова. – К.: Выща школа, 1991. – 367 с.
59. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности / Э. Г. Петров, Н. А. Брынза, Л. В. Колесник, О. А. Писклакова. – Херсон: Гринь Д. С. 2014. – 192 с.
60. Бескорвайный В. В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. Вып. 120. – С. 29–37.
61. Бескорвайный В. В. Выбор и формализация критериев эффективности в задачах структурного синтеза территориально

распределенных систем // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 121. – С. 16–21.

62. Бескорвайный В.В. Системологический анализ проблемы автоматизированного проектирования распределенных баз данных / В.В. Бескорвайный, В.В. Евсеев, О.С. Ульянова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – №2 (38). – С. 120–125.

63. Бескорвайный В. В. Формирование и выбор решений задачи системного проектирования территориально распределенных систем обработки информации // Системи обробки інформації. 2002. Вип. 6 (22). С. 243–247.

64. Бескорвайный В. В. Синтез логической схемы системного проектирования территориально распределенных объектов // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №. 3. – С. 94–96.

65. Бескорвайный В.В. Синтез логической схемы системного проектирования систем контроля крупномасштабных объектов / В.В. Бескорвайный, З.А. Имангулова, С.В. Петров, А.В. Кошель, А.С. Москаленко // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2016. – №4 (49). – С 70–74.

66. Бескорвайный В.В. Формирование и выбор решений задачи системного проектирования территориально распределенных систем обработки информации // Системи обробки інформації. – 2002. – Вип. 6 (22). – С. 243–247.

Навчальне видання

НЕФЬОДОВ Леонід Іванович,
НЕВЛЮДОВ Ігор Шакірович,
БЕЗКОРОВАЙНИЙ Володимир Валентинович

CALS-ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ

Навчальний посібник

Відповідальний випусковий І.Ш. Невлюдов
Редактор О.Г. Троценко
Комп'ютерна верстка Л.Ю. Светайло
Г.М. Голоднікова

План 2021 (друге півріччя), поз. 17.

Підп. до друку 05.07.21.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 16,1.	Облік. вид. арк. 14,4.	Тираж 50 прим.
Ціна договірна	Зам № 1-17.	

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Науки, 14

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Науки, 14