

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

П.В. Леонтєв \_\_\_\_\_ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
на тему: "Моделювання процесу побудови автоматизованого інтегрованого  
інформаційного середовища промислового підприємства"

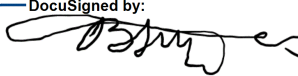
Керівник роботи

доцент, к.т.н.

Журавльов О.Ю.

Дипломник

студент гр. СУ.мз-13с

DocuSigned by:  
  
5D476F4057AB4FB...

Толбатов В.А.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

П.В. Леонтєв

\_\_\_\_\_ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту

Толбатову Володимиру Ароновичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Моделювання процесу побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства

затверджена наказом ректора СумДУ № 1079-VI від " 14 " листопада 2022 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 15 " лютого 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, тези, перелік літературних джерел з матеріалами та

технічна документація, в якій описаний процес побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):  
Актуальні аспекти процесу побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства, автоматизація бізнес-процесів промислового підприємства, розробка комплексу моделей, які описують діяльність промислового підприємства, програмна та алгоритмічна реалізація методики побудови інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства.

5. Перелік графічних матеріалів: 42 рисунка і 10 таблиць.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри та складання технічного завдання.	04.10.2022 – 07.10.2022
2	Розгляд технологічного процесу	08.10.2022 – 16.10.2022
3	Підбір та аналіз літератури	17.10.2022 – 31.10.2022
4	Розробка процесу моделювання побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства	01.11.2022 – 24.12.2022
5	Прикладні дослідження за темою КРМ	25.12.2022 – 16.01.2023
6	Розробка математичних моделей (імітаційне моделювання)	17.01.2023 – 01.02.2023

7	Технічне оформлення проекту	02.02.2023 – 14.02.2023
---	-----------------------------	----------------------------

7. Дата видачі завдання " 02 " жовтня 2022 р.

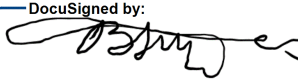
Керівник:

к.т.н., доцент

Журавльов О.Ю.

До виконання прийняв:

студент гр. СУ.мз-13с

DocuSigned by:  
  
5D476F4057AB4FB...

Толбатов В.А.

## РЕФЕРАТ

Толбатов Володимир Аронович. Моделювання процесу побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства. Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Сумський державний університет, Суми, 2023 р.

Робота присвячена моделюванню процесу побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства: розроблена і програмно реалізована аналітична математична модель технологічних процесів підприємства з урахуванням конкретної структури технологічних ліній.

Робота містить 138 сторінок основного тексту, 42 рисунка, 4 додатки; список використаних джерел з 38 найменувань.

Ключові слова: інтегроване інформаційне середовище, головний циркуляційний насос, система автоматизованого проектування, теорія масового обслуговування, числове програмне керування.

## ABSTRACT

Tolbatov Volodymyr Aronovych Modeling the process of building an automated integrated information environment of an industrial enterprise. Qualification of the master's work in specialty 151 - Automation and computer-integration technology. Sumy State University, Sumy, 2023

The work is dedicated to modeling the process of creating an automated integrated information environment of the industrial enterprise: the analytical mathematical model of the technological processes of the enterprise with the improvement of the specific structure of the technological lines has been developed and software implemented.

Work to average 138 pages of the main text, 42 drawings, 4 addendums; list of vikoristanih dzherel z 38 namenuvan.

Key words: integrated information medium, head circulation pump, automated design system, mass service theory, numerical programming.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
<b>ВСТУП.....</b>	<b>12</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНТЕГРОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....</b>	<b>17</b>
1.1. Аналіз проблемних задач створення автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства .....	18
1.2. Аналіз проблемних задач інтеграції автоматизованих систем управління промислових підприємств .....	22
1.3. Аналітичний огляд робіт з побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства.....	26
Висновки по розділу.....	30
<b>РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА .....</b>	<b>31</b>
2.1. Аналіз та розробка концепції моделювання бізнес-процесів промислового підприємства з точки зору сучасної методології аналізу та проектування складних систем.....	31
2.2. Функціональне моделювання–методологічна основа дослідження бізнес-процесів на промислових підприємствах .....	40
2.2.1. Розробка типових функціональних моделей діяльності промислового підприємства .....	43

2.2.2. Розробка організаційної моделі підприємства.....	45
2.3. Формалізація інформаційних потоків на промислових підприємствах .....	48
2.4. Теоретичні основи розробки математичної моделі технологічних процесів на промислових підприємствах .....	54
Висновки по розділу.....	73
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ МОДЕЛЕЙ, ЯКІ ОПИСУЮТЬ ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ..</b>	<b>75</b>
3.1. Визначення послідовності етапів реінжинірингу бізнес-процесів промислового підприємства .....	75
3.2. Розробка функціональної моделі бізнес-процесів промислового підприємства .....	83
3.3. Розробка організаційної моделі промислового підприємства .....	89
3.4. Структурний аналіз матеріальних потоків на промисловому підприємстві .....	92
Висновки по розділу.....	96
<b>РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА ТА АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА .....</b>	<b>97</b>
4.1. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для реалізації розробленої математичної моделі технологічних процесів промислового підприємства .....	97
4.2. Аналітичне дослідження технологічних процесів промислового підприємства .....	104

4.2.1. Технологічний процес обробки деталей крупно серійного виробництва в метисному цеху.....	104
4.3. Методика побудови інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства.....	113
Висновки по розділу.....	130
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	132
Список використаних джерел.....	134
Додатки.....	139



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CAD	Computer Aided Design (комп'ютерна підтримка конструкторського проектування).
CAE	Computer Aided Engineering (комп'ютерна підтримка інженерного аналізу).
CALS	Computer Aided Acquisition and Lifecycle Support (комп'ютерна підтримка безперервних поставок та життєвого циклу).
CAM	Computer Aided Manufacturing (комп'ютерна підтримка технологічного проектування).
ERP	Enterprise Resource Planning (планування ресурсів підприємства).
MRP	Material Requirement Planning (планування необхідних матеріалів).
MRPII	Manufacturing Resource Planning (планування ресурсів виробництва).
PDM	Product Data Management (управління даними про виріб).
АГЗС	Автоматизовані газозаправні станції.
АГНКС	Автомобільні газонаповнюючі компресорні станції.
АС	Автоматизована система.
АСУ	Автоматизована система управління.
АСУП	Автоматизована система управління підприємством.
АСТПВ	Автоматизована система технологічної підготовки виробництва.

ВГК	Відділ головного конструктора.
ВЕ	Відділ енергоносіїв.
Від	Виробництво і договори.
ВК	Відділ кадрів.
ВМН	Відділ матеріального нормування.
ВЦП	Відділ цінних паперів.
ГПА	Агрегати для перекачки газу.
ГЦН	Головний циркуляційний насос.
ДР	Дослідження ринку.
ЕЦП	Електронний цифровий підпис.
ЖЦ	Життєвий цикл.
ЗБД	Загальна база даних.
ЗБДВ	Загальна база даних виробу.
ЗБДП	Загальна база даних підприємства.
ЗЕД	Зовнішньоекономічна діяльність.
ПС	Інтегроване інформаційне середовище.
ІО	Інформаційний об'єкт.
НВ	Насосне виробництво.
НВЦЗ	Науково-виробничий Центр зварювання.
НСШ	Насос шахтний.
ОГШ	Осаджувальні, горизонтальні, шнекові (центрифуги).
ОЛ	Оціночний лист.

ПЕУ	Планово-економічне управління.
САПР	Система автоматизованого проектування.
СКБ	Спеціальне конструкторське бюро.
СМО	Система масового обслуговування.
ТКМ	Турбокомпресорні машини.
ТМО	Теорія масового обслуговування.
УГЗ	Управління головного зварювальника.
УГМет	Управління головного металурга.
УГТ	Управління головного технолога.
УМТЗ	Управління матеріально-технічного забезпечення.
УПЗ	Управління праці та заробітної платні.
УФЗ	Управління фінансів та збуту.
ФГН	Фільтруючі, Горизонтальні з Ножовим зніманням осаду.
ФГП	Фільтруючі, Горизонтальні з Пульсуючим вивантаженням центрифуги.
ФГШ	Фільтруючі, горизонтальні, шнекові (центрифуги).
ХО	Хімічне обладнання.
ЦНС	Центробіжний насос.
ЦПН	Шламові насоси (марка).
ЧПК	Числове програмне керування

## ВСТУП

Комп'ютеризація інженерних задач – один з головних напрямків підвищення продуктивності виробництва промислового підприємства. CAD/CAM/CAE системи, які використовуються для конструювання спеціального обладнання та засобів технологічного оснащення на основі об'ємного моделювання, розробки креслярської документації, підготовки управляючих програм для обладнання з ЧПК та дозволяють виконувати аналіз та оптимізацію проектних рішень, знайшли широке застосування практично у всіх галузях промисловості, і за останнє десятиріччя накопичений достатньо великий досвід їх використання.

Однак в сучасних умовах жорстких вимог ринку щодо скорочення строків проектування та підготовки виробництва необхідно виходити на новий рівень комп'ютеризації та автоматизації. Цей рівень забезпечується створенням автоматизованого ІС підприємства і реалізується впровадженням CALS технологій.

Процес впровадження CALS технологій на конкретному промисловому підприємстві (або групі підприємств) приводить до створення автоматизованого ІС, яке є розподіленим сховищем даних і поєднує ІС: системи управління маркетингом, CAD/CAM/CAE, PDM, ERP (MRP, MRPII), які автоматизують окремі етапи ЖЦ виробу в рамках комп'ютерної мережі підприємства.

Слід зазначити, що створення автоматизованого ІС промислового підприємства виходить далеко за межі установки програмного забезпечення і передбачає великий об'єм попередніх робіт, пов'язаних з детальним аналізом, реінжинірингом та удосконаленням бізнес-процесів та ІС.

Принцип спільного використання та обміну інформацією між різними етапами ЖЦ виробу, який декларується у рамках загальної методології CALS, вимагає і робить актуальним розробку єдиної методики побудови

автоматизованого ІС промислового підприємства, в рамках якої буде здійснюватися інформаційна інтеграція різноманітних CAD/CAM/CAE, PDM, ERP (MRP, MRPII) додатків.

**Актуальність теми** магістерської роботи визначається тією обставиною, що існує велика кількість підходів, методів та технологічних рішень, які безпосередньо або опосередковано відносяться до робіт по створенню автоматизованого ІС. Однак вони не інтегровані на рівні методологій і, як результат, можна спостерігати велику кількість методологій, де основний акцент зроблено на побудову автоматизованого ІС підприємства з нуля або ж розглянуті часткові задачі автоматизації окремих етапів ЖЦ, а як вже зазначалося, більшість сучасних вітчизняних підприємств вже використовують частково автоматизовані за допомогою CAD/CAM/CAE систем бізнес-процеси, які, як правило, мають розрізнені бази даних, що створює певні проблеми щодо їх інтеграції в ІС з ядром на базі систем класу PDM, ERP (MRP, MRPII).

Таким чином, в ситуації, яка склалася щодо методик та підходів побудови ІС промислових підприємств існує нагальна потреба в дослідженні та переосмисленні підходів, які вже існують, з погляду реалізації CALS технологій, що робить розробку методики побудови автоматизованого ІС підприємства актуальною науковою задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Кваліфікаційна робота магістра виконувалася на кафедрі комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету в рамках НДР "Комплексне ресурсозбереження на стадіях життєвого циклу автоматизованих технологічних об'єктів" [1-13], номер державної реєстрації 0118U001922, де автором особисто розглянуті питання щодо розробки методики побудови автоматизованого ІС промислового підприємства та особливості виконання кожного з етапів запропонованої методики.

**Метою кваліфікаційної роботи магістра** є: створення єдиної методики, яка охоплювала б всі аспекти побудови автоматизованого ІС промислового підприємства в рамках впровадження CALS технологій.

**Завданнями кваліфікаційної роботи** для досягнення мети є:

- розробка комплексу моделей промислового підприємства, які описують його функціонування з погляду бізнес-процесів, організаційної структури та потоків інформації, тобто побудова функціональної, організаційної та інформаційної моделей;
- розробка математичної моделі технологічних процесів;
- розробка алгоритму, який би поєднував розробку розглянутого комплексу моделей в єдину систему для здійснення системного аналізу підприємства;
- дослідження особливостей та сучасних методологій реінжинірингу бізнес-процесів та ІС промислових підприємств;
- розробка програмного забезпечення для реалізації математичної моделі технологічних процесів;
- дослідженні технологічних процесів та шляхів їх удосконалення за допомогою розробленої математичної моделі та програмного забезпечення .

**Об'єкт дослідження** – інтегроване інформаційне середовище промислового підприємства.

**Предмет дослідження** – методика побудови автоматизованого ІС промислового підприємства.

В якості **методів дослідження** у кваліфікаційній роботі магістра широко застосовувалися:

- IDEF0 Function Modeling Method – метод функціонального моделювання IDEF0 використовувався для розробки функціональної моделі промислового підприємства;

- IDEF3 Process Description Capture – метод описання процесів представляє собою технологію збору даних, для проведення структурного системного аналізу промислового підприємства, яка доповнює метод IDEF0 і використовувався спеціально для описання послідовностей виконання операцій в складі технологічних процесів;

- DFD (Data Flow Diagram) –діаграма потоків даних є потужною технологією для здійснення структурного системного аналізу потоків даних, яка дозволила описати процеси обміну інформацією між елементами системи та створити базову архітектуру ІС промислового підприємства;

- математичне моделювання, в основі якого використовувався апарат теорії масового обслуговування для здійснення аналізу технологічних процесів;

- статистичний аналіз використовувався для описання характеристик обладнання технологічних ліній.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- розроблена і програмно реалізована аналітична математична модель технологічних процесів підприємства з урахуванням конкретної структури технологічних ліній;

- системно обґрунтовано та отримано послідовність побудови та взаємозв'язок між функціональними, організаційними, інформаційними та математичними моделями промислового підприємства для здійснення системного аналізу, як одного з етапів побудови автоматизованого ІС промислового підприємства;

- отримано математичне формулювання критерію ефективності структурних змін, який використовується для прийняття рішення щодо шляхів удосконалення технологічних процесів в ході реінжинірингу ІС в рамках загального проекту побудови автоматизованого ІС;

- отримано методіку побудови автоматизованого ІС промислового підприємства з детальним розглядом найбільш складних її етапів щодо побудови комплексу моделей, які описують найбільш важливі аспекти функціонування підприємства; здійснення системного аналізу технологічних

процесів з погляду їх ефективності та удосконалення; реінжинірингу ІС підприємства.

Практичне значення одержаних результатів, насамперед, полягає в розробці “методики побудови автоматизованого ІС промислового підприємства, яка може використовуватися фахівцями підприємств під час розробки та реалізації проектів впровадження ІС. Розроблений алгоритм побудови комплексу моделей підприємства, аналітична математична модель технологічних процесів та її програмна реалізація дозволяють системним аналітикам та фахівцям предметних областей здійснювати системний аналіз технологічних процесів будь-якої складності, як один з етапів побудови автоматизованого ІС підприємства. Запропонований критерій ефективності структурних змін дозволяє приймати попереднє рішення щодо шляхів удосконалення технологічних процесів під час їх аналізу” [1].

#### **Особистий внесок здобувача.**

Основні результати наукових досліджень, проведених згідно задач та мети кваліфікаційної роботи, опубліковані в [1-6, 9-18, 20, 22, 28, 32-38].

#### **Апробація результатів кваліфікаційної роботи.**

Результати наукових досліджень доповідалися на науково-технічних семінарах та науково-технічних конференціях у т.ч. індексованих БД scopus.

Результати наукових досліджень опубліковані в 3 монографіях, 12-ти статтях, 2 з яких індексовані БД scopus / wos.



## РОЗДІЛ 1

### АКТУАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНТЕГРОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

“Одним з напрямів підвищення ефективності промислового сектора є застосування сучасних інформаційних технологій для забезпечення процесів, що протікають в ході всього життєвого циклу продукції та її компонентів. Життєвий цикл (ЖЦ) продукту – це сукупність процесів, що виконуються від моменту виявлення потреб суспільства в певній продукції до задоволення цих потреб і утилізації продукту” [1–2].

Інформаційна взаємодія суб'єктів, які беруть участь в підтримці ЖЦ, повинна здійснюватися в єдиному інформаційному просторі. У основі концепції єдиного інформаційного простору лежить використання відкритої архітектури, міжнародних стандартів і апробованих комерційних продуктів обміну даними. Стандартизації підлягають формати представлення даних, методи доступу до даним і їх коректній інтерпретації.

На сьогоднішній день концепція “CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support – безперервна інформаційна підтримка життєвого циклу продукту) – це глобальна бізнес-стратегія переходу на безпаперову електронну технологію і підвищення ефективності бізнес-процесів, які виконуються в ході ЖЦ продукту за рахунок інформаційної інтеграції і сумісного використання інформації на всіх етапах ЖЦ” [2].

Предметом CALS є технології сумісного використання інформації (інформаційної інтеграції) в процесах, що виконуються в ході ЖЦ продукту. У основі CALS лежить комплекс єдиних інформаційних моделей, стандартизація способів доступу до інформації і її коректної інтерпретації, забезпечення безпеки інформації, а також наявність методів і методик опису і

представлення інформації про виріб, процеси і необхідні ресурси на всіх етапах ЖЦ.

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

“Особливо це актуально для етапів технічної підготовки виробництва та безпосередньо промислового виробництва продукції. Нажаль до сьогоднішнього дня науковими школами промислово розвинених країн не в повній мірі вирішена задача побудови єдиного інформаційного простору промислових підприємств” [3–8]. Тому, в даній кваліфікаційній роботі зроблена спроба комплексного вирішення цієї наукової задачі на прикладі підприємств найбільш складної з точки зору формалізації інформації сучасного промислового підприємства.

Перший розділ присвячений розгляду проблем створення автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства з точки зору шляхів реалізації сучасних можливостей інформаційних технологій.

### 1.1. Аналіз проблемних задач створення автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства

“Сучасні підприємства функціонують в умовах високої невизначеності і динамічності навколишнього соціально-економічного середовища. Становлення «електронно-прозорого» світового ринку, коли можна одержати практично миттєвий доступ до інформації про будь-які товари, викликає різке зростання конкуренції між виробниками. Тверда, інерційна організація не дозволяє миттєво реагувати на зміну вимог ринку” [1, 2, 9–11].

“Звичайні методи підвищення продуктивності – раціоналізація та автоматизація процесів – давно вже не приводять до серйозних поліпшень, що потрібні компаніям. Ключові концепції нового десятиліття – це інновації і швидкість, обслуговування і якість. У сучасних умовах лише реінжиніринг виробництва з використанням потужних інформаційних технологій дозволяє радикально перешикувати бізнес-процеси і досягти значного підвищення їхньої продуктивності. Особливу актуальність здобувають перетворення інформаційних потоків з використанням підходів реінжиніринга” [10, 12–14].

Для подальшого просування по шляху реформ промисловості, підвищення ефективності розподілу і використання матеріальних ресурсів ключовим стає формування інтегрованого інформаційного середовища (ІС), адекватного ринковим механізмам і ринку, що розкриває перед суб'єктами, широкі можливості для вибору найбільш правильних стратегічних і тактичних рішень в усіх напрямках діяльності (рис. 1.1).

“Під автоматизованим ІС слід розуміти сукупність інформаційної бази даних і способи її організації, необхідні для ухвалення управлінських рішень, аналізу, контролю і регулювання фінансово-господарської діяльності підприємства. Такий інформаційний простір забезпечує прискорення управлінських операцій, сприяє вдосконаленню деяких видів управління, тим самим забезпечує конкурентоспроможність підприємства, фінансовий успіх, рентабельність продукції, безпечний і стійкий розвиток підприємства” [15–16].

“Основними завданнями, які вирішуються в результаті функціонування даного інформаційного простору, є наступні” [11, 17–22]:

- “створення єдиної інформаційної бази великого числа віддалених один від одного об'єктів і підрозділів промислового підприємства;
- забезпечення високошвидкісної передачі по каналах зв'язку будь-яких видів інформаційних потоків;

- інформаційна підтримка діяльності всіх підрозділів і об'єктів промислового підприємства;
- автоматизація всіх бізнес та технологічних процесів підприємства, їх оперативний контроль та управління;
- використання технічних засобів обробки і аналізу інформації;
- забезпечення необхідного рівня безпеки і захисту інформаційних ресурсів підприємств і ін.”

“Відповідно до вищевикладеного автоматизоване ПС являє собою сховище даних, в якому зберігаються всі зведення, створювані і використовувані всіма підрозділами і службами підприємства в процесі їхньої виробничої діяльності. Це сховище має складну структуру і різноманітні зовнішні і внутрішні зв'язки. До складу автоматизованого ПС входять, як мінімум, дві бази даних (БД): загальна БД про виріб (вироби) (ЗБДВ) і загальна БД про підприємство (ЗБДП). Передбачається, що в загальній БД зберігаються інформаційні об'єкти (ІО), що адекватно відображають в інформаційний світ сутності фізичного світу: предмети, матеріали, вироби, процеси і технології обробки, різноманітні документи, матеріальні ресурси, персонал і підрозділи промислового підприємства, устаткування і т.п.” [17, 23–25].

При реалізації процесів, які охоплюють ЖЦ продукції промислового підприємства, у якості вихідних даних використовується інформація, яка зберігається в автоматизованому ПС. ІО, які створюються в ході цих процесів, повертаються в автоматизоване ПС для збереження і наступного використання в інших технологічних процесах.

“Із загальною БД про вироби (ЗБДВ) зв'язані всі процеси на всіх стадіях ЖЦ. Загальна БД про підприємство (ЗБДП) має інформаційні зв'язки з процесами технологічної й організаційно-економічної підготовки виробництва, безпосередньо виробництвом, включаючи процеси відвантаження і транспортування готової продукції” [1].

“ІО в складі ЗБДВ містять інформацію, необхідну для випуску і підтримки технічної документації на всіх стадіях ЖЦ для усіх виробів, що випускаються підприємством. Кожному ІО надається ідентифікаційний код. ЗБДВ забезпечує інформаційне обслуговування і підтримку діяльності” [22]:

- “замовників виробу;
- розробників (конструкторів), технологів, персоналу підприємства-виготовлювача;
- експлуатаційного і ремонтного персоналу замовника і спеціалізованих служб” [22, 24].

Крім ІО, які відносяться (прямо або побічно) до виробів, у автоматизованому ІС зберігається інформація про підприємство: про виробничу й управлінську структуру, про технологічне і допоміжне устаткування, про персонал, фінанси і т.п. Уся сукупність цих даних утворює ЗБДП.

При необхідності з автоматизованого ІС можуть бути витягнуті різноманітні документи, необхідні для функціонування підприємства. Документи можуть бути представлені як в електронному, так і (за необхідності) у паперовому вигляді.

Склад і зміст розділів баз даних розробляються в ході виконання проекту створення автоматизованого ІС на підприємстві.

“Різноманіття ІО в складі автоматизованого ІС, складність логічної і фізичної структури і ряд інших факторів визначають необхідність його поетапного створення. При визначенні етапів розробки і виборі раціонального складу програмно-технічних засобів варто брати до уваги наступні вимоги” [22-24, 26-28]:

1. “Автоматизоване ІС створюється на базі програмно-методичного ядра, що допускає подальший розвиток системи, формування і приєднання нових даних.

2. Автоматизоване ПС повинне забезпечувати цілісність даних, що утримуються в ній, при будь-яких перетвореннях цих даних на різних стадіях ЖЦ.

3. Автоматизоване ПС повинне забезпечувати і підтримувати чітке й однозначне розмежування прав доступу до даних, що утримуються в ній.

4. Автоматизоване ПС повинне забезпечувати дружній користувальницький інтерфейс і мати засоби інтерактивного обміну даними з різними додатками.

5. Автоматизоване ПС повинне забезпечувати можливість інтеграції з автоматизованими системами, уже наявними на підприємстві (АСУП, САПР і т.п.).

6. Автоматизоване ПС повинне забезпечувати взаємодію з засобами електронного цифрового підпису (ЕЦП)” [28].

“На теперішній час стало зрозумілим, що програмно-методичним ядром автоматизованого ПС і, отже, основою застосування CALS-технологій на сучасних промислових виробництвах повинні бути системи класу PDM (Product Data Management)” [28, 29].

1.2. Аналіз проблемних задач інтеграції автоматизованих систем управління промислових підприємств

“Сучасне промислове підприємство є однією з найбільш складних галузей промисловості за трудомісткістю проектування і виготовлення виробів і їх насиченості науково-технічними розробками. Успішна інтеграція усіх автоматизованих систем підприємства багато у чому залежить від правильності організації і ефективності функціонування створюваного автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища, на базі якого забезпечуватиметься інформаційна підтримка життєвого циклу виробів. Сучасні інформаційні технології припускають на кожному з етапів життєвого циклу інтеграцію безлічі програмних продуктів (системи CAD/CAM/CAE,

системи управління БД, офісні та різні інші бізнес-додатки). Багато з вже існуючих на підприємстві перерахованих програмних продуктів успішно функціонували до впровадження інтегрованого інформаційного середовища. У них накопичена велика інформаційна база (проекти в різних САД-системах, різноманітні бази даних і т.ін.)” [28, 31].

Аналіз широкого кола наукових робіт [12, 13, 22, 29, 31-34] показав, що разом з швидкими темпами і широкими масштабами впровадження засобів автоматизації на даний момент наявна низка чинників, які негативно впливають на інформаційну інтеграцію автоматизованих систем (АС) на підприємстві:

1. Поява безлічі реалізацій АС від різних виробників.
2. Часткове впровадження і використання АС для приватних завдань управління ("клаптева автоматизація").
3. Розподіл АС, що виявилось в створенні самостійних підрозділів АСУ підприємства (АСУП) і АСУ технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) у складі однієї або різних служб.
4. Впровадження низькоінтелектуальних АС, що пояснюється прагненням виробників АС до швидкої окупності розробок” [12, 13, 22, 29].

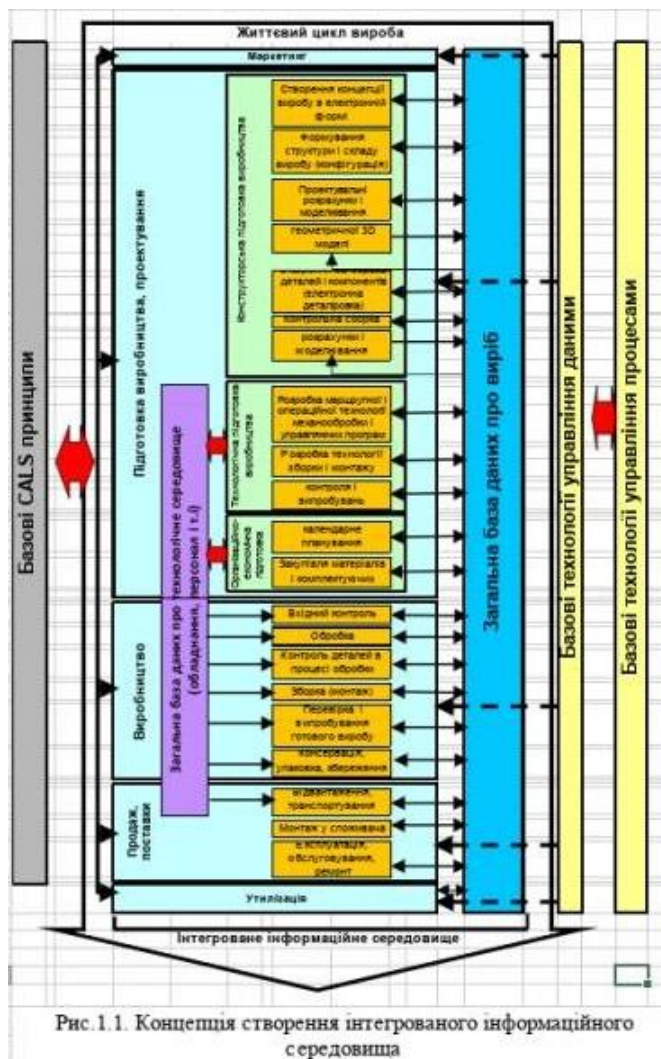
“Проте, позитивний досвід впровадження різного роду АС, усвідомлення зростання ролі сучасних інформаційних технологій в життєдіяльності промислових підприємств, а також розвиток технологій побудови обчислювальних мереж, розподіленого зберігання і обробки даних природним чином привели до інтенсифікації впровадження засобів автоматизації, і, як наслідок, до актуалізації проблематики інтеграції АС підприємства” [19, 29, 35-37]. Проблема інтеграції всіх АС промислового підприємства переходить в розряд першорядних, без рішення якої вже складно собі уявити сучасне виробництво .

“Прагнення до інтеграції АС є наслідком протиріччя, коріння якого лежить в області історії їх розвитку: протиріччя між єдністю виробничо-адміністративної діяльності підприємства і роз'єднаністю окремих рівнів і

контурів управління, і, як наслідок, роз'єднаності (цільової, функціональної, інформаційної, технічної) всієї системи автоматизованого управління виробничим циклом підприємства. Усунення цього протиріччя (або, хоча би, ослаблення) є одним з дієвих внутрішніх резервів підвищення ефективності промислового виробництва” [3].

Слід зазначити, що поняття "Інтеграція автоматизованих систем" застосовне до будь-якої сукупності двох або більш взаємозв'язаних автоматизованих систем, в якій функціонування однієї з них залежить від результатів функціонування іншої (інших) так, що цю сукупність можна розглядати як автоматизоване інтегроване інформаційне середовище.

“Створення автоматизованого ІС вимагає рішення цілого ряду задач, розв'язання яких забезпечить інтеграцію АС табл. 1.1” [3].





Таблиця 1.1

№ п/п	Задача	Характеристика задачі
1	2	3
1.	Комплексне вдосконалення системи управління	Забезпечення умов для взаємозв'язаного і узгодженого управління організаційно-економічними техпроцесами. Оптимізація ухвалення рішень по системі в цілому
2.	Декомпозиція об'єкту	Розділення об'єкту автоматизації на частини, що дозволяють здійснити ефективну автоматизацію кожної з них і системи в цілому
3.	Декомпозиція цілей	Побудова дерева цілей і встановлення для групи взаємозв'язаних цілей критеріїв інтеграції, що визначають ступінь узгодженості функціонування окремих частин ІС
4.	Міжрівнева і внутрішньорівнева інтеграція	Встановлення раціональних способів організації взаємозв'язку і взаємодії частин одного ієрархічного рівня і різних рівнів
5.	Сумісність	Забезпечення сумісності засобів технічного, програмного, інформаційного забезпечення ІС
6.	Підвищення ефективності системи	Збільшення ефективності ІС в порівнянні з сумарною ефективністю автономних АС
7.	Повна реалізація завдань автоматизованого управління	Розширення меж постановки завдань управління в порівнянні із завданнями обробки даних
8.	Адаптивність	Здатність до ефективного функціонування в умовах змінних цілей і ресурсів
9.	Вибір засобів реалізації	Забезпечення створення в прийнятні терміни компонентів ІС і їх сумісності
10.	Узгодження компонентів ІС	Узгодження параметрів точності і достовірності інформації, продуктивності і надійності взаємодіючих компонентів ІС
11.	Координація і управління частинами ІС	Організація управління обміном і розподілом ресурсів. Узгодження цілей і критеріїв функціонування локальних компонентів
12.	Методичне забезпечення ІС	Формування загальних вимог до ІС, до розробки норм і правил класифікації, технології розробки, впровадження і експлуатації систем, до складу і змісту

1	2	3
		документації

“Виразом найвищого ступеня інтеграції АС виступає розширене (віртуальне) підприємство, в якому інтегрована АСУ охоплює весь виробничий цикл і відповідає трьом основним вимогам” [4–10]:

1. “Повне охоплення системами АСУ всього технологічного устаткування основного і допоміжного виробництва.

2. Всеосяжний контроль якості сировини, напівфабрикатів і кінцевої продукції.

3. Повне забезпечення автоматизованої інформаційної взаємодії функцій внутрішньорівневих і міжрівневих контурів управління” [10].

При виконанні перерахованих вимог подальший змістовний розвиток автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища здійснюється у напрямі зростання функціональних можливостей його компонентів, тобто підвищення ступеня автоматизації за рахунок впровадження та використання сучасних комп’ютерно-інтегрованих технологій.

1.3. Аналітичний огляд робіт з побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства

Аналіз робіт за тематикою кваліфікаційної роботи [19, 21, 23-27, 29-31] показує, що існує велика кількість підходів, методів та технологічних рішень, які безпосередньо або опосередковано відносяться до робіт по створенню автоматизованого ІС промислового підприємства. Однак вони не інтегровані на рівні методологій і, як результат, можна спостерігати велику кількість методологій, де основний акцент зроблено на побудову ІС підприємства з нуля.

“Освітлення методів та підходів побудови автоматизованого ІС промислових підприємств обмежено рядом робіт з розробки методів

інтеграції окремих додатків, в яких розглядалися загальні принципи і підходи побудови інформаційного середовища підприємства на основі інтеграції CAD/CAM/CAE та PDM систем” [7, 32, 33], або “PDM та ERP систем” [7, 23], “методології реінжинірингу бізнес-процесів” [7], як одного з етапів побудови автоматизованого ПС. “Ряд робіт присвячено дослідженню процесів виробництва, що є одним з етапів реінжинірингу бізнес-процесів в рамках загальної концепції побудови автоматизованого ПС” [7, 24].

Проте досвід розробки загальних підходів до створення автоматизованого ПС підприємства існує, що дає змогу шляхом його аналізу дослідити та систематизувати найбільш складні етапи побудови ПС та розробити метод, який був би максимально повним.

Так у роботі [22] “автором розглядається життєвий цикл промислової продукції та автоматизація окремих його етапів: конструювання в машинобудуванні, технологічної підготовки виробництва, проектування, виробничих та логістичних процесів. Описана інформаційна підтримка етапів ЖЦ виробу в рамках огляду CALS стандартів та основні функції PDM систем різних виробників, тобто розглянуті деякі аспекти побудови ПС підприємства з погляду автоматизації окремих етапів ЖЦ виробу та інтеграції PDM системи.”

Робота [34] “описує впровадження CALS технологій на промислових підприємствах з погляду створення єдиного інформаційного середовища на базі PDM систем. Розглянута методика побудови єдиного інформаційного середовища підприємства, яка складається з двох фаз, обумовлених попереднім та відповідно детальним дослідженнями, що суттєво збільшує обсяги робіт щодо аналізу бізнес-процесів підприємства. Як і в роботі [25] не розглядається питання впровадження ERP системи для планування ресурсів підприємства та інтеграції АС всіх етапів ЖЦ.”

У роботі [20] “автором запропонована методика побудови розширених виробництв, яка передбачає створення ПС підприємства, ядром якого

виступають PDM та ERP системи. Запропонована методика є доволі актуальною з погляду її практичного використання, але слід зазначити, що робота орієнтована на автоматизацію технологічної підготовки розширених виробництв і тому є дещо спеціалізованою з погляду її використання як загальної методики побудови ІС підприємства. В роботі не розглядається етап реінжинірингу АС підприємства, який є дуже відповідальним в загальній концепції інформаційної інтеграції різних АС” [20].

Робота [3] присвячена висвітленню одного з питань “побудови віртуальних виробництв – реінжинірингу організацій та використання інформаційних технологій для його здійснення. Термін “віртуальне виробництво” є досить новим і передбачає не що інше, як побудову ІС групи розподілених виробництв, в зв’язку з цим робота викликає практичний інтерес, але концепція “віртуалізації” виробництва дещо відрізняється від побудови ІС підприємства з погляду використання технологій INTERNET/INTRANET на що і робиться акцент в роботі” [3].

Робота [15] “розглядає питання удосконалення АСУП, що передбачає створення ІС підприємства, але питання висвітлюється більше з технічної точки зору інтеграції різноманітних АСУ ніж з погляду побудови методу цієї інтеграції” [15].

В роботі [16] автором здійснено “аналіз функціональних підсистем підприємств в умовах існування АСУ з точки зору створення єдиного інформаційного простору підприємства. Слід відмітити, що акцент в роботі зроблено на розробку методів та засобів інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування в рамках в рамках АСУ всього підприємства на базі комплексу математичних моделей, оцінки технічного стану та оцінки технічної готовності складних технічних систем і їх елементів, що не передбачає інтеграцію існуючих систем з новими класу PDM та ERP” [34].

Роботи [13-17] присвячені відповідно питанням: “розробки методів управління та принципів побудови АСУ устаткуванням ТП для підвищення ефективності технологічних процесів шляхом автоматизації процесів виробництва; підвищення ефективності ТП шляхом впровадження програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень в загальному інформаційному середовищі підприємства; автоматизації технічного обслуговування технологічних комплексів підприємства. Слід відмітити, що хоча дослідження і вирішення задач, визначених в даних роботах, здійснюється в рамках єдиного інформаційного простору підприємства, вони розглядають лише часткові задачі створення ІС підприємства і є вузько направлені” [13-17].

Автором роботи [7] розроблено та теоретично обґрунтовано “нову комп’ютерну методологію проектування оснастки, яка базується на моделі процесу проектування технологічної оснастки як інформаційного процесу ітеративного (непоточного) типу, що враховує функціональні особливості та технологічні умови використання різних видів оснастки. Методика передбачає використання моделей технологічних процесів та виробів, реалізованих в ІС підприємства на основі інтеграції різноманітних додатків для розробки, проектування та управління виробом. Однак питання створення ІС не розглядається” [7].

В роботі [35] автором, як приклад, “розроблена методологія створення бази знань життєвого циклу інформаційного об’єкту (автономної електростанції) для підвищення його ефективності” [35].

Таким чином, в результаті аналізу робіт, які безпосередньо, або опосередковано присвячені питанню розробки автоматизованого ІС підприємства, можна виділити наступне:

- “більшість робіт присвячена висвітленню концепції побудови ІС підприємства шляхом інформаційної інтеграції різноманітних додатків, що є досить актуальною науковою задачею;

- частина робіт присвячена суто технічним аспектам інформаційної інтеграції CAD/CAM/CAE, PDM та ERP систем;

- суттєві дослідження зроблені в галузі побудови віртуальних виробництв, що передбачає розробку ІС підприємства, але акцент в таких роботах робиться на побудову глобального ІС шляхом використання INTERNET/INTRANET технологій” [3];

- роботи, в яких безпосередньо висвітлюються питання розроблення методів побудови ІС, обмежені розглядом загальних підходів, які не дозволяють чітко визначитися з послідовністю етапів тих чи інших робіт по впровадженню ІС.

#### Висновки по розділу

1. Проведено аналіз проблемних питань щодо створення автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища сучасних промислових підприємств.

2. Розглянуто проблемні задачі інтеграції автоматизованих систем управління промислових підприємств.

3. На основі проведеного аналізу широкого кола джерел за тематикою кваліфікаційної роботи обґрунтовано задачі подальших досліджень з метою розроблення методу побудови автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства.

## РОЗДІЛ 2

### АВТОМАТИЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Аналіз та розробка концепції моделювання бізнес-процесів промислового підприємства з точки зору сучасної методології аналізу та проектування складних систем

“Розробка та впровадження в практику методів дослідження динаміки функціонування складних систем, до яких відносяться промислові підприємства, є однією з найбільш складних проблем сучасної науки. Слід зазначити, що всі відомі підходи до моделювання ЖЦ виробу в автоматизованому ІС підприємства належать до методів моделювання складних АС, де одним з фундаментальних понять є – модель” [32, 33].

Хоча модель є дещо спрощеним образом реальної системи в рамках накладених на систему обмежень та припущень, практична реалізація процесу моделювання функціонування підприємства передбачає вирішення двох доволі складних задач. Перша задача пов'язана з вибором концепції моделювання, тобто визначенням типу моделі (або, можливо моделей), яка б була адекватною щодо предметної області дослідження в рамках накладених на систему обмежень. Друга задача пов'язана безпосередньо з розробкою моделі підприємства в рамках обраної концепції за допомогою існуючих або розроблених самостійно методологій аналізу та проектування складних систем. Проблема ускладнюється тим, що концепція представлення систем, процесів та явищ у вигляді моделей, як зазначалося раніше, є настільки загальною, що практично неможливо заснувати класифікаційну схему, яка охопила б всі можливі підходи в методології моделювання. Моделі можуть бути класифіковані як: статичні та динамічні, детерміновані та стохастичні,

дискретні та безперервні, аналогові або символні та ін. Ця класифікація не є вичерпною, наприклад, модель може складатися з дискретної та безперервної складових. Таким чином, при використанні наведеної класифікації, модель може належати як найменш до однієї з 24 різноманітних категорій.

“Інший підхід в класифікації моделей це використання їх фізичних властивостей, наприклад, фізичні, масштабовані та аналогові моделі, інтерактивні ігри (моделі управління), автоматизовані симулятори та символні моделі” [7].

Таким чином проблема вибору коректного типу моделі (або моделей) промислового підприємства, яка адекватно описувала б виробничі процеси, є доволі складною і комплексною. Вирішення цієї проблеми полягає в дослідженні та аналізі структури управління даного підприємства що дозволить окреслити предметну область та визначитися з концепцією моделювання.

“Теорія проектування сучасних інформаційних систем управління представлена двома підходами – структурним та процесним. Структурний підхід базується на використанні організаційної структури підприємства як основи для моделювання виробничих процесів та процесів управління. В даний час практично більша частина вітчизняних підприємств мають функціональну структуру управління. Така організація управління базується на тейлоровському принципі послідовного виконання трудових операцій. Головним недоліком цього підходу є прив’язка до організаційної структури підприємства, яка для підтримання конкурентноздатності в сучасних економічних умовах повинна постійно змінюватися, орієнтуючись на задоволення вимог клієнтів. В такій ситуації функціонально-орієнтована система управління починає працювати не ефективно, що пов’язано з такими причинами” [7]:

1. “Працівники структурних підрозділів не орієнтовані на цільові задачі підприємства, а їх бачення процесів, як правило, не виходить за межі



їх підрозділу.

2. Більша частина реальних виробничих процесів на підприємстві включає велику кількість функцій, тобто виходить за рамки окремих підрозділів. У зв'язку з вертикальною ієрархією обміну інформацією в функціонально орієнтованих підприємствах строки розробки управлінських рішень є занадто тривалими, що призводить до втрати позицій на ринках” [7].

За підрахунками аналітиків час взаємодії між підрозділами розподіляється наступним чином: 20%—виконання роботи та 80%—на передачу її результатів наступному виконавцю (підрозділу).

Другий, процесно-орієнтований підхід до управління підприємством дозволяє забезпечити максимальну гнучкість управління виробництвом та швидкість перебудови бізнес-процесів, які є основою даного підходу.

Відповідно до принципу процесного підходу виробництво товарів, послуг й управління підприємством розглядаються як сукупність взаємопов'язаних процесів, а кожний процес — як сукупність ціле направлених операцій, що перетворюють "входи" процесу в "виходи" і мають своїх “постачальників” і “споживачів”. Реалізація цього принципу кардинально змінює підхід, що склався, до управління, основою якого, як зазначалося раніше, є ієрархічна організаційна структура. Процесний підхід передбачає [7]:

- “виявлення й ідентифікацію існуючих процесів;
- аналіз і, при необхідності, проектування нових або перепроєктування існуючих процесів;
- встановлення чіткої відповідальності за процеси (а не за функції і елементи);
- організацію ресурсного забезпечення процесів, визначення зовнішніх і внутрішніх постачальників і споживачів;
- визначення критеріїв ефективності виконання процесів, побудова системи вимірювання і аналізу параметрів процесів” [7].

Наведені вище задачі вирішуються шляхом моделювання бізнес-

процесів з використанням процесної (функціональної) моделі підприємства. В різноманітній літературі по моделюванню процесів та систем [29,30] “можна зустріти розбіжності в трактуванні та назвах функціональних моделей. Інколи їх називають процесними, інколи процедурними або моделями поведінки системи. Для уникнення непорозумінь з цього питання в подальшому викладенні в дисертації використовується поняття функціональної моделі”.

“Функціональна модель системи є сукупністю функціональних підсистем та зв’язків, які описують порядок взаємодії цих підсистем в рамках представленої системи під час її функціонування” [7].

Визначившись з концепцією моделювання, необхідно здійснити дослідження сучасної методології аналізу та проектування складних систем, яка і дозволить розробити визначені моделі підприємства.

“Однією з найбільш потужних методологій аналізу і проектування систем є методологія SADT - Structured Analysis and Design Technique - Технологія структурного аналізу і проектування, запропонована в 60-тих роках. Основу підходу SADT складає графічна мова опису (моделювання) систем, яка характеризується наступними властивостями” [7]:

- “графічна мова – повний і виразний засіб, здатний наочно представляти широкий спектр ділових, виробничих і інших процесів і операцій підприємства на будь-якому рівні деталізації;
- мова забезпечує точний і лаконічний опис об’єктів, зручність використання і інтерпретації цього опису;
- мова полегшує взаємодію і взаєморозуміння системних аналітиків, розробників і персоналу об’єкту (фірми, підприємства), що вивчається, тобто служить засобом «інформаційного спілкування» великого числа фахівців і робочих груп, зайнятих в одному проекті, в процесі обговорення, рецензування, критики і затверджень результатів;
- мова може генеруватися рядом програмних засобів” [7].

• Загальна методологія IDEF складається з приватних методів, заснованих на графічному представленні систем.

IDEF методи дозволяють надійно та ефективно завершити вирішення задач інжинірингу на підприємстві в процесі його розвитку.

Перше покоління IDEF з'явилося як результат програми Інтегрованої Комп'ютерної Підтримки Виробництва (ICAM). В рамках програми ICAM було розроблено метод функціонального моделювання IDEF $\emptyset$ , метод розробки інформаційних моделей IDEF1 та метод симуляційного моделювання IDEF2, короткий аналіз яких (табл.2.1) підтверджує їх адекватність щодо предметної галузі.

Таблиця 2.1.

*Перше покоління методів методології IDEF*

Назва методу	Призначення	Особливості використання
<i>IDEF<math>\emptyset</math> Function Modeling Method</i> – метод функціонального моделювання IDEF $\emptyset$	“Моделювання процесів прийняття рішень, дій та діяльності підприємств або систем” [7, 9]	
<i>IDEF1 Information Modeling Method</i> – метод розробки інформаційних моделей IDEF1	“Розглядається одночасно як метод аналізу, так і метод комунікації для виконання вимог CIM (Corporate Information Managenent). Призначений для підтримки задач щодо формування вимог до інформації, яка вже існує в системі або повинна бути створена для ефективного функціонування підприємства” [13].	1) ідентифікації структури та змісту інформації, яка вже існує в організації з точки зору управління; 2) ідентифікації проблем, виявлених під час аналізу системи, які викликані обмеженою кількістю необхідної управлінської інформації;

Назва методу	Призначення	Особливості використання
		3) визначення необхідної інформації яка буде використовуватися в СІМ рішеннях.
<i>IDEF2 Simulation Modeling Method</i> – метод симуляційного моделювання IDEF2	“Моделювання динамічних систем, моделі яких можуть використовуватися для прогнозування поведінки системи за певних умов” [2].	Забезпечує основу для симуляції моделей, заснованих на математичному описі бізнес-процесів

Друге покоління методів методології IDEF (табл.2.2.) було розроблене в рамках другого проекту ICAM та представлене IDEF1X методом розробки моделей даних про систему.

Таблиця 2.2.

*Друге покоління методів методології IDEF*

Назва методу	Призначення	Особливості використання
<i>IDEF1X Data Modeling</i> – метод моделювання даних	“Створення логічних баз даних після того, як визначені вимоги до інформаційного забезпечення системи та прийняте рішення щодо створення релятивної бази даних” [5-8].	Є подальшим логічним розвитком IDEF1

Третє покоління методів методології IDEF (табл.2.3.) було розроблене у зв'язку з нагальною потребою в методології для розробки автоматизованих інформаційно-інтегрованих систем, підтримуючих паралельний інжиніринг з технологічної точки зору. Ця розробка була здійснена в рамках програми Інформаційної інтеграції для паралельного інжинірингу (Information Integration for Concurrent Engineering–IICE).

Таблиця 2.3.

## Третє покоління методів методології IDEF

Назва методу	Призначення	Особливості використання
<i>IDEF3 Process Description Capture</i> – метод описання процесів	“Опис послідовностей діяльностей системи” [28]	Основною метою IDEF3 є забезпечення експерта предметної області структурованим методом для описання системи знань про діяльність конкретної організації або системи
<i>IDEF4 Object-oriented Design</i> – метод об’єктно-орієнтованого конструювання	“Використання в якості інструменту впровадження автоматизованих систем” [22]	Передбачає використання об’єктно-орієнтованої технології на відміну від технології зв’язків, яка використовується в методі IDEF1X
<i>C++ Object-Oriented Design (IDEF4/C++)</i> – об’єктно-орієнтоване конструювання з використанням мови програмування високого рівня C++	Подальший розвиток методу <i>IDEF4</i>	
<i>IDEF5 Ontology Description Method</i> – метод описання онтологій	“Створення, модифікування та підтримка онтологій” [28]	Онтологічний аналіз виконується шляхом перевірки словника, який використовується для описання характеристик об’єктів та процесів, які формують предметну область, розвиваючи чіткі визначення базових термінів в цьому словнику, та характеризуючи логічні зв’язки між цими термінами.

Подальша робота в рамках програми Інформаційної інтеграції для

паралельного інжинірингу (ПІСЕ) дозволила створити ряд додаткових методів (табл.2.4.).

Таблиця 2.4.

*Додаткові методи методології IDEF*

Назва методу	Призначення	Особливості використання
<i>IDEF6 Design Rationale Capture</i> – метод раціонального обґрунтування конструкторського рішення	“Концепція та мова програмування для представлення інформації про ситуації, відносини, об’єкти, стани справ або перебіг подій, які визначають розумне обґрунтування складу системи” [7]	Проведення паралелей між зазначеними обґрунтуваннями та конструкторськими рішеннями, моделями та документацією для системи
<i>IDEF7 Information System Auditing</i> – Аудит інформаційних систем	Аудит інформаційних систем	Виявлення проблемних областей щодо передачі інформації
<i>IDEF8 Human-System Interaction Design</i> – метод моделювання взаємодії людина-система	“Взаємодія людина-система представлена в вигляді технічних вимог трьох рівнів в рамках методу” [9, 11]	“Перший рівень визначає напрям роботи системи та визначає набір моделей та текстової документації (описань) всіх процесів в системі. Другий рівень акцентує увагу на головному сценарію, за яким працює система. Третій рівень безпосередньо визначає детальну інформацію щодо взаємодії людина-система” [7].
<i>IDEF9 Business Constraint Discovery Method</i> – метод визначення	“Виявлення та аналіз всіх типів зв’язків на підприємствах” [2]	В рамках цього методу, система розглядається як набір об’єктів, які існують в рамках певних відношень та

Назва методу	Призначення	Особливості використання
відношень в системі		описується поведінкою, яка визначається системою цих відношень
IDEF12 Organization Design Конструювання організаційних систем	Моделювання організаційних структур будь-якої складності	
<i>IDEF14 Network Design</i> – метод проектування комп'ютерних мереж	“Моделювання існуючих або перспективних комп'ютерних мереж” [2]	Здійснення евристичного аналізу типу "що якщо?" шляхом моделювання роботи комп'ютерних мереж та опису підходів та раціонального обґрунтування обраних підходів їх створення

Таким чином, детальний “аналіз сучасних методів проектування складних систем в рамках методології IDEF показав, що методи розробки функціональних, інформаційних та організаційних моделей підприємств для подальшого їх використання під час здійснення реінжинірингу бізнес-процесів достатньо добре представлені методологією IDEF, яка дозволяє створювати зазначені моделі будь-якого рівня деталізації та є основою для подальшої розробки математичних моделей, які широко використовуються для кількісного аналізу технологічних процесів” [1] (рис.2.1).

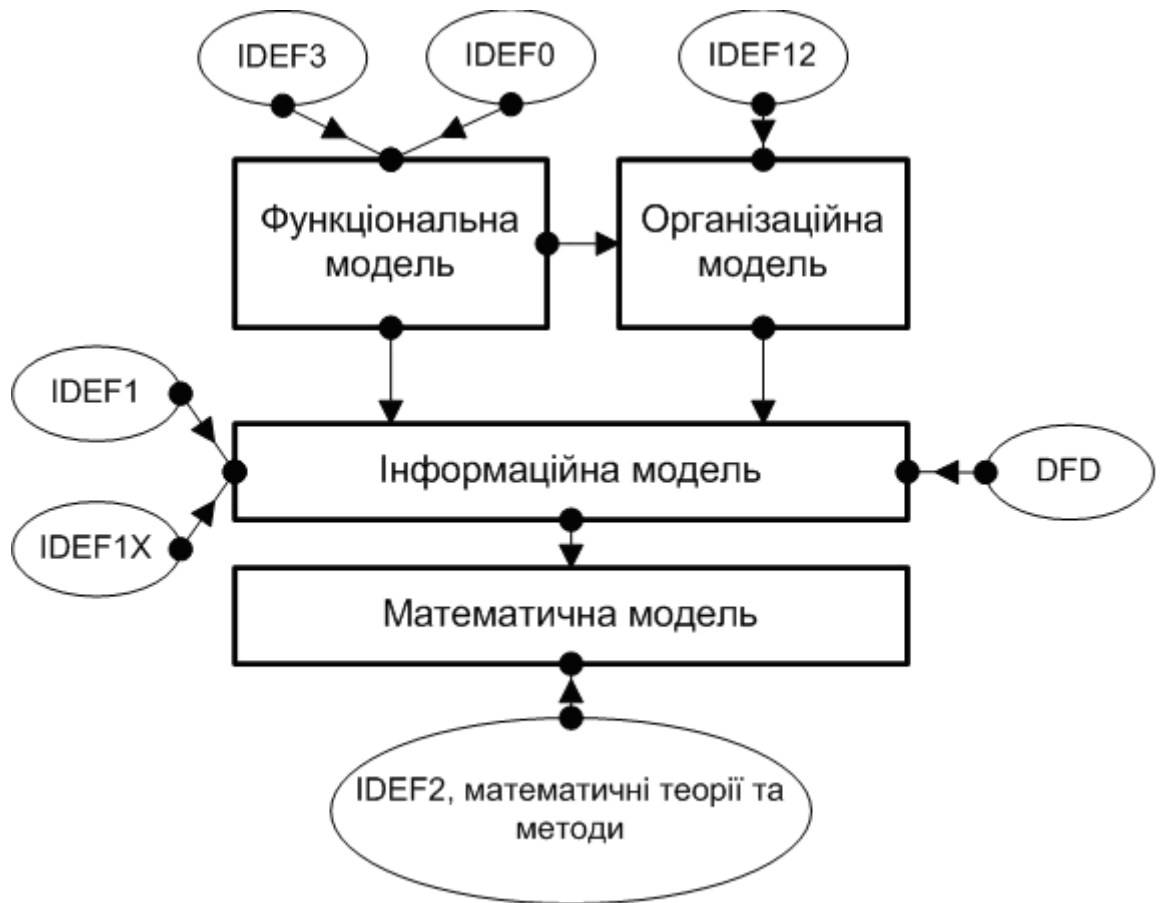


Рис.2.1. Моделі промислового підприємства та методи методології IDEF

Слід зазначити, що розглянуті методи доповнюються методом DFD (Data Flow Diagram)–діаграма потоків даних, який є потужною технологією для здійснення структурного системного аналізу потоків даних, з погляду опису процесів обміну інформацією між елементами системи, а також математичними теоріями та методами, які дозволяють формалізувати бізнес-процеси.

Так як функціональна модель підприємства є базовою для розробки інших моделей та здійснення системного аналізу, розглянемо методологію IDEF0 більш детально.

2.2. Функціональне моделювання–методологічна основа дослідження бізнес-процесів на промислових підприємствах.



Як показав попередній “аналіз сучасних методологій проектування складних систем, найбільш потужним та ефективним методом дослідження існуючих та побудови нових бізнес-процесів з сімейства методології IDEF є метод IDEFØ. IDEFØ (Integration DEFinition language Ø) в основі якого лежить технологія структурного аналізу та проектування SADT™, представляє собою одночасно як графічну мову програмування (синтаксис та семантику), так і описання вичерпної методології для розробки функціональних моделей. Модель IDEFØ відображує як функції системи виконуються та взаємодіють між собою. При використанні методу IDEFØ для здійснення системного аналізу, він забезпечує інженерними підходами для” [3]:

1. “Здійснення системного аналізу та проектування на всіх рівнях, для систем, які складаються з людських ресурсів, обладнання, матеріалів, комп’ютерів та інформаційних потоків для великих виробництв, систем або предметних областей.
2. Розробки відповідної документації одночасно з розробкою системи як основи для інтеграції нових систем або вдосконалення існуючих.
3. Зв’язку між аналітиками, конструкторами та користувачами.
4. Досягнення консенсусу між командами-розробниками систем, надаючи їм єдину інформаційну базу для розуміння процесів.
5. Розробки відповідних архітектур для промислового аналізу, інформаційного проектування та управління ресурсами.

“Функціональна модель” є базовим поняттям в методології IDEFØ, яке в свою чергу базується на понятті “функція”. Саме функції є змістом тих елементів (блоків), з яких будується модель системи, яка вивчається або проектується” [3].

В методології IDEFØ функція інтерпретується як перетворення входу у вихід під впливом управління і за допомогою механізму (рис.2.2).

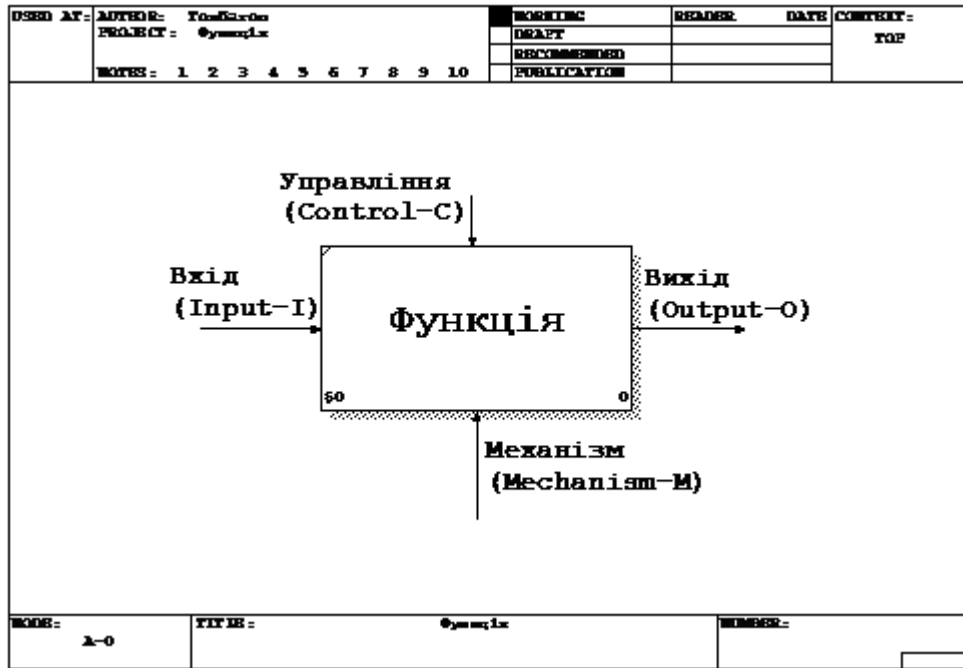


Рис.2.2. Графічна інтерпретація функції, як перетворення

в методології IDEF0

“Модель і оригінал зв'язані між собою деякими умовами відповідності, тобто мова йдеться про адекватність моделі оригіналу. Можна стверджувати, що модель і оригінал знаходяться між собою у відношенні гомоморфізму” [3]. Це значить, що все, що є в моделі, обов'язково є і в оригіналі. Зворотне твердження невірне. Таким чином, функціональна модель є образ реальної системи (оригіналу), описаний графічною мовою та такий, що відображає функції, які виконує система, і відносини (зв'язки) між ними.

Метод IDEF0 призначений для функціонального моделювання, тобто моделювання виконання функцій об'єкту, шляхом створення описової графічної моделі, яка показує що, як і ким робиться в рамках функціонування системи. Функціональна модель є структурованим зображенням функцій виробничої системи або середовища, інформації і об'єктів, що зв'язують ці функції.

“Модель будується методом декомпозиції: від крупних складових структур до більш дрібних, простих. Елементи кожного рівня декомпозиції є процесами (операціями, діями) по переробці інформаційних або матеріальних ресурсів за певних умов з використанням заданих механізмів. Кожна операція розкладається на більш дрібні складові – дії по переробці певної частини інформаційних або матеріальних ресурсів за певних умов з використанням частини заданих механізмів. Ступінь деталізації моделі повинна задовольняти вимогам, заданим на початку процесу її створіння” [22].

Отже, функціональне моделювання за методологією IDEF0 полягає в побудові серії взаємозв'язаних, ієрархічно організованих діаграм, що відображають функції підприємства і відношення між ними. Діаграми будуються на основі графічної мови, яка включає як словник обмежений і чітко визначений набір елементів: блоків, стрілок, міток:

2.2.1. Розробка типових функціональних моделей діяльності промислового підприємства.

“Для створення типових функціональних моделей промислового підприємства автором запропоновано 4-х рівневу класифікацію функцій, які моделюються блоками IDEF0” [3, 7], орієнтовану на достатньо широке коло організаційно-економічних і виробничо-технічних систем. Класифікація ділить всі функції таких систем на чотири основних і два додаткових види.

Рівні декомпозиції, які деталізують дії, природно вважати такими, що складаються з елементарних або простих функцій. З рівнями декомпозиції тісно пов'язана ієрархія функціональних моделей (рис. 2.3).

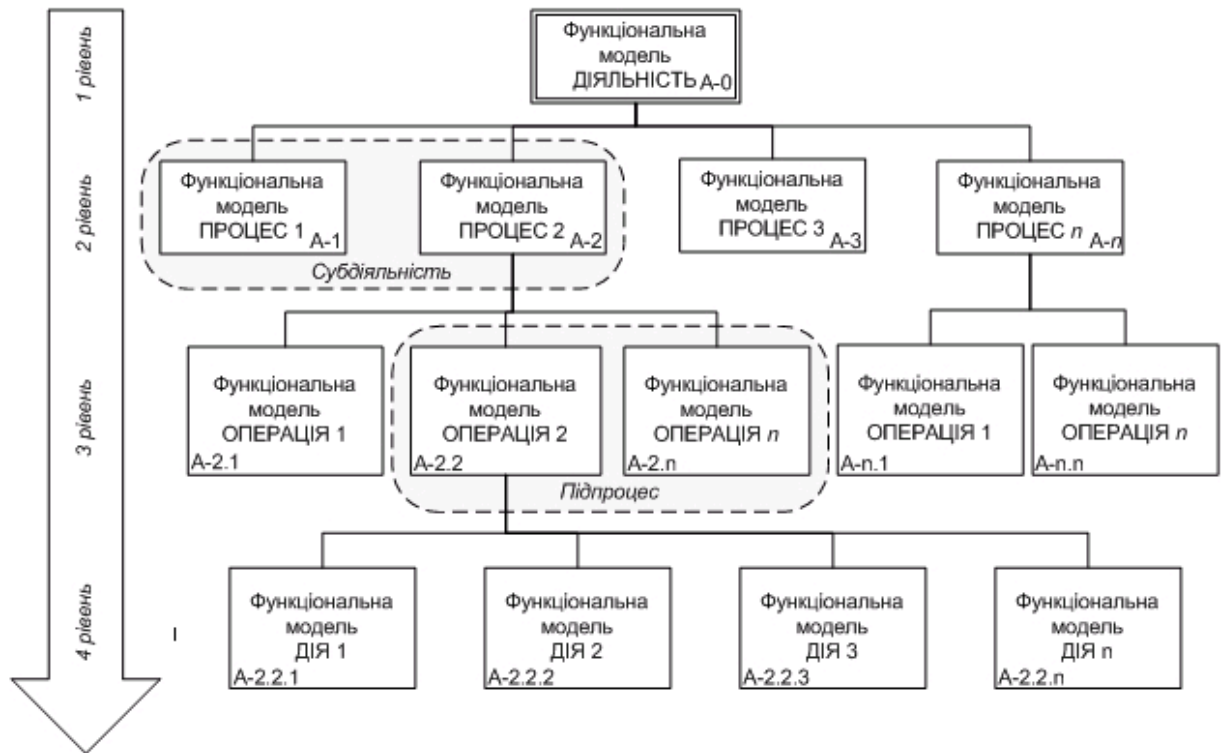


Рис.2.3. Ієрархія функціональних моделей.

Модель першого рівня описує діяльність підприємства в рамках набору основних і допоміжних (підтримуючих) процесів (субдіяльностей) з точки зору управління, організації і взаємодії між ними і, як самостійна модель даного рівня – модель функціонування системи управління якістю.

Моделі другого рівня описують структуру всіх основних і допоміжних процесів (процеси випуску всіх видів продукції і технологічної підготовки виробництва) в рамках набору операцій або підпроцесів. Для побудови функціональних моделей цього рівня необхідно виявляти процеси, власників процесів і межі відповідальності власників процесів. Ця задача є принципово новою для підприємств з вертикальною системою управління. Особливістю моделей цього рівня є обов'язкова побудова моделі на основі ЖЦ конкретної продукції.

Моделі третього рівня описують операції (групи операцій–підпроцеси) елементів ЖЦ виробу в рамках конкретного набору дій (або набору операцій у випадку підпроцесу). Це, в першу чергу, операції (підпроцеси) маркетингу,

аналізу і підписання контрактів, конструкторської і технологічної підготовки виробництва, закупівель і управління запасами, всіх видів контролю і випробувань продукції (у тому числі вхідного контролю), виконання конкретних технологічних операцій, упаковки і зберігання готової продукції, транспортування, управління допоміжним устаткуванням (у тому числі метрологічним), збору, зберігання, обробки і аналізу інформації і т.д. Повний перелік операцій (процесів) формується для кожного підприємства індивідуально. Дані групи операцій (підпроцесів) детально описані в методичних і робочих інструкціях, техпроцесах.

Точку зору формують головні фахівці: головні технолог (конструктор), керівники виробництв, керівники мінімальних технологічних одиниць виробництва–начальники цехів, лабораторій, бюро і т.д.).

Модель четвертого рівня описує елементарні дії в рамках конкретних операцій (підпроцесів), які виконуються за допомогою обладнання та спеціалістів підприємства. Моделі цього рівня, як правило складаються з одного блоку (це мінімальний рівень декомпозиції) та описуються кількісними характеристиками.

“Слід зазначити, що моделі другого, третього та четвертого рівнів дозволяють формалізувати процеси, операції та дії з математичної точки зору, що дає змогу перейти до їх кількісних оцінок. Практична побудова функціональної моделі підприємства АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об’єднання – Інжиніринг», з використанням досліджень” [28, 33], розглянута в третьому розділі.

### 2.2.2. Розробка організаційної моделі підприємства.

“Всі функції, що входять в приведену вище класифікацію, знаходяться між собою у відносинах ієрархічної підлеглості за принципом зверху «вниз»: діяльність–субдіяльність–процес–підпроцес–операція–дія. Згідно методології IDEF0 кожна функція виконується за допомогою механізму. В більшості

систем, аналізованих за допомогою функціональних моделей, такими механізмами служать організаційно-технічні структури” [13]. Аналіз таких систем показує, що між ієрархією функцій (перетворень) і ієрархією механізмів існує чітка відповідність (рис.2.4).

“Використовуючи приведену вище ієрархію функціональних блоків, визначимо елементи ієрархії механізмів” [11, 12].

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

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

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

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



Рис.2.4. Відносини між функціями і механізмами

Коректна побудова моделі, без апріорної прив'язки до “організації”, забезпечує можливість зв'язати її функції на різних рівнях декомпозиції з об'єктами організаційно-технічної структури, які виступають як механізми. В цьому випадку організаційно-технічна структура стає результатом функціонального моделювання. В достатньо деталізованих функціональних моделях, які розробляються в рамках процесного підходу щодо побудови бізнес-процесів на підприємстві, повинна бути передбачена можливість перебудови механізмів в ході діяльності підприємства, тобто можливість

здійснення реінжинірингу виробництва і/або бізнес-процесів.

Слід зазначити, що між ієрархією механізмів (блоки організаційно-технічної структури) та структурними підрозділами підприємства існує зв'язок, що дозволяє розробити організаційну модель підприємства (рис.2.5).

Наведена схема є спрощеною (досить загальною) і потребує уточнення для її практичного використання в залежності від конкретних умов функціонування підприємства. Запропонований підхід до побудови організаційної структури (моделі) підприємства є ні чим іншим, як практичною реалізацією процесно-орієнтованого підходу до побудови систем управління, гнучких з точки зору ефективної та швидкої перебудови бізнес-процесів відповідно до динамічних змін на ринках збуту.

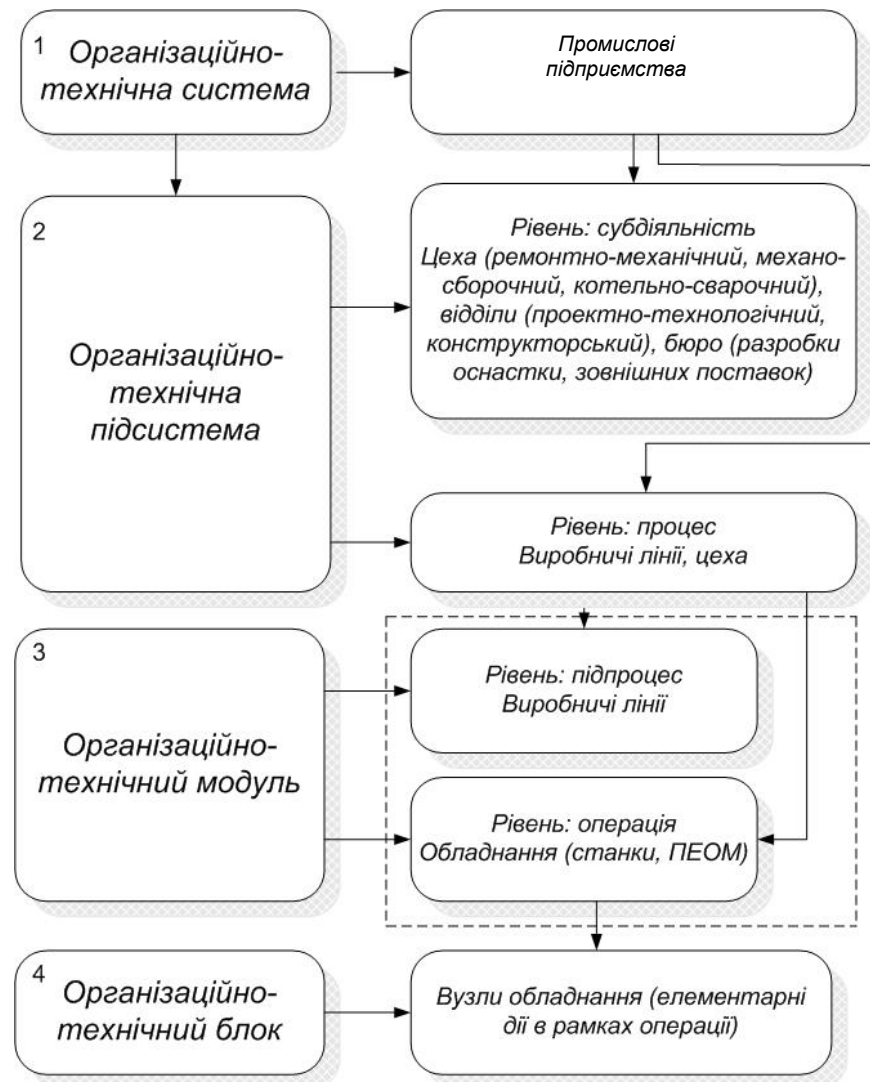


Рис.2.5. Організаційно-технічна структура як основа для розробки організаційної моделі підприємства

В даному випадку організаційна модель (організаційна структура) підприємства розробляється для забезпечення ефективного виконання бізнес-процесів, направлених на досягнення стратегічних цілей підприємства.

Іншими словами, процесно-орієнтований підхід дозволяє об'єднати окремі, розрізнені зусилля підрозділів підприємства для виконання конкретних функцій в рамках його стратегічних цілей. Практична реалізація описаного підходу розглянута в четвертому розділі.

### 2.3. Формалізація інформаційних потоків на промислових підприємствах

“Розглянемо більш детально задачу математичної формалізації інформаційних потоків на промислових підприємствах, як основу для побудови інформаційної моделі підприємства за допомогою методів DFD та IDEF3, які дозволяють описати як потоки інформації так і їх послідовність. Спочатку розглянемо загальний підхід до формалізації інформаційних потоків, які забезпечують функціонування промислового підприємства, а потім розглянемо математичний апарат, який дозволить здійснювати детальний аналіз бізнес-процесів (БП) з метою їх удосконалення з точки зору ефективності управління” [3].

“Для формалізації інформаційних потоків, тобто створення інформаційних моделей введемо деякі припущення, які дозволять формалізувати БП підприємства з точки зору потоків інформації” [9].

Припущення 1. Предметна область  $O$  являє собою неструктуровану множину об'єктів в сукупності із значеннями їх властивостей та заданих на цій множині відношень.

Формальний запис цього визначення має вигляд:



$$O \Rightarrow \{N, R, S_n\}, \quad (2.1)$$

де  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{m1}\}$  – множина об'єктів (документи, креслення і т.ін.);

$R = \{r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nm1}\}$  – множина векторів властивостей об'єктів (об'єми інформації, статус документів і т.ін.);

$S_i = S_n(N)$  – множина відношень між об'єктами множини  $N$  (послідовність виконання, підлеглість, залежність один від одного і т.ін.). Ці відношення можуть бути як бінарними, тобто встановлюватись між двома довільними об'єктами, так і більш складними (типу “один до багатьох”, “багато до одного”, “багато до багатьох” й т.ін.).

Припущення 2. Інформаційна модель ( $IM$ ) являє собою множину понять (сутностей) в сукупності із значеннями їх властивостей (атрибутів) та заданих на цій множині відношень.

Аналогічно попередньому, формальний запис цього визначення:

$$IM \Rightarrow \{P, A, S_p\}, \quad (2.2)$$

де  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_q\}$  – множина понять (сутностей);

$A = \{a_{p1}, a_{p2}, \dots, a_{pq}\}$  – множина векторів властивостей (атрибутів) понять;

$S_p = S_p(P)$  – множина відношень між поняттями, яка має такі ж властивості, що й множина відношень  $S_p(N)$ .

Інформаційна модель являється відображенням предметної області з реального світу у світ інформації. Таке відображення буде коректним (адекватним), якщо при розробці моделі виконуються такі умови:

– для будь-якого поняття  $p \in P$  існує відповідний йому об'єкт предметної області  $n \in N$ . Протилежне ствердження несправедливе, так як потужність множини  $N$  свідомо більше потужності множини  $P$ ;

- будь-якому вектору атрибутів понять  $a \in A$  відповідає вектор властивостей об'єкту  $r \in R$ , протилежне ствердження несправедливе;
- будь-якому відношенню  $s_p \in S_p$  між поняттями, які входять до складу моделі  $IM$ , відповідає відношення  $s_n \in S_n$  між об'єктами предметної області  $O$ , причому властивості цих відношень еквівалентні.

Побудова автоматизованого ПС промислового підприємства передбачає створення часткової інформаційної моделі предметної області, для чого:

- “формують множину понять, які відображають об'єкти предметної області, необхідні для рішення поставленої задачі;
- формують множину атрибутів понять, які відображають властивості об'єктів предметної області, необхідної для рішення поставленої задачі;
- встановлюють відношення між поняттями, які відповідають відношенням між об'єктами предметної області” [32].

Множини понять і властивих їм атрибутів утворюють базу даних окремої задачі, а множина відношень між поняттями – логічну основу процедур та алгоритмів обробки даних.

Особливість побудови “автоматизованого ПС полягає в тому, що інформаційні моделі окремих задач створюються за різними правилами і на різних обчислювальних платформах та ніяк не враховують ту обставину, що множина об'єктів предметної області, яка відноситься до різноманітних операцій та відповідна їм множина понять можуть бути такими, що перетинаються (так як і множина атрибутів). Все це призводить до того, що одна і та ж інформація вимагає перекодування й багато в чому дублюється” [22].

“В теперішній час можна навести багато прикладів використання інформаційної інтеграції. Перш за все, як показав аналіз цих процесів, на деяких машинобудівних підприємствах до цього часу більшість чи значна частина етапів проектування та підготовки виробництва використовує тільки

окремі моделі проблемної області” [9-12]. Цей варіант передбачає послідовне перетворення інформації від однієї автоматизованої системи до іншої.

При необхідності інтегрування в ітераційному циклі автоматизованих систем належить піти шляхом автоматизованого перетворення інформації з однієї задачі в іншу безпосередньо, тобто за допомогою програмних засобів, що називаються конверторними.

“Основною концепцією побудови автоматизованого ПС є концепція, яка пропонує набір CALS-технологій інформаційної інтеграції виробничих процесів. Основою цієї технології є: створення деякого єдиного сховища даних. Це сховище має інтегровану інформаційну модель та всі дані, які створюються при рішенні окремих певних задач. Такі задачі утворюють нову інформацію, що перетворюється в єдине поняття. Потім для кожної задачі існує два варіанти: працювати безпосередньо з цим поняттям чи зробити конвертор і перетворювати його в свої поняття” [28].

“Очевидно, що для побудови автоматизованого ПС, необхідно розробити інформаційні моделі окремих предметних областей на єдиній, стандартизованій методичній та логічній основі, що забезпечується використанням CALS-технологій. Розробка інформаційних моделей окремих задач і наступний перехід до інтегрованої моделі передбачає виконання певної послідовності етапів” [9-15].

Схему побудови інтегрованої інформаційної моделі промислового підприємства з урахуванням (2.1, 2.2), графічно представлено на рис.2.6.

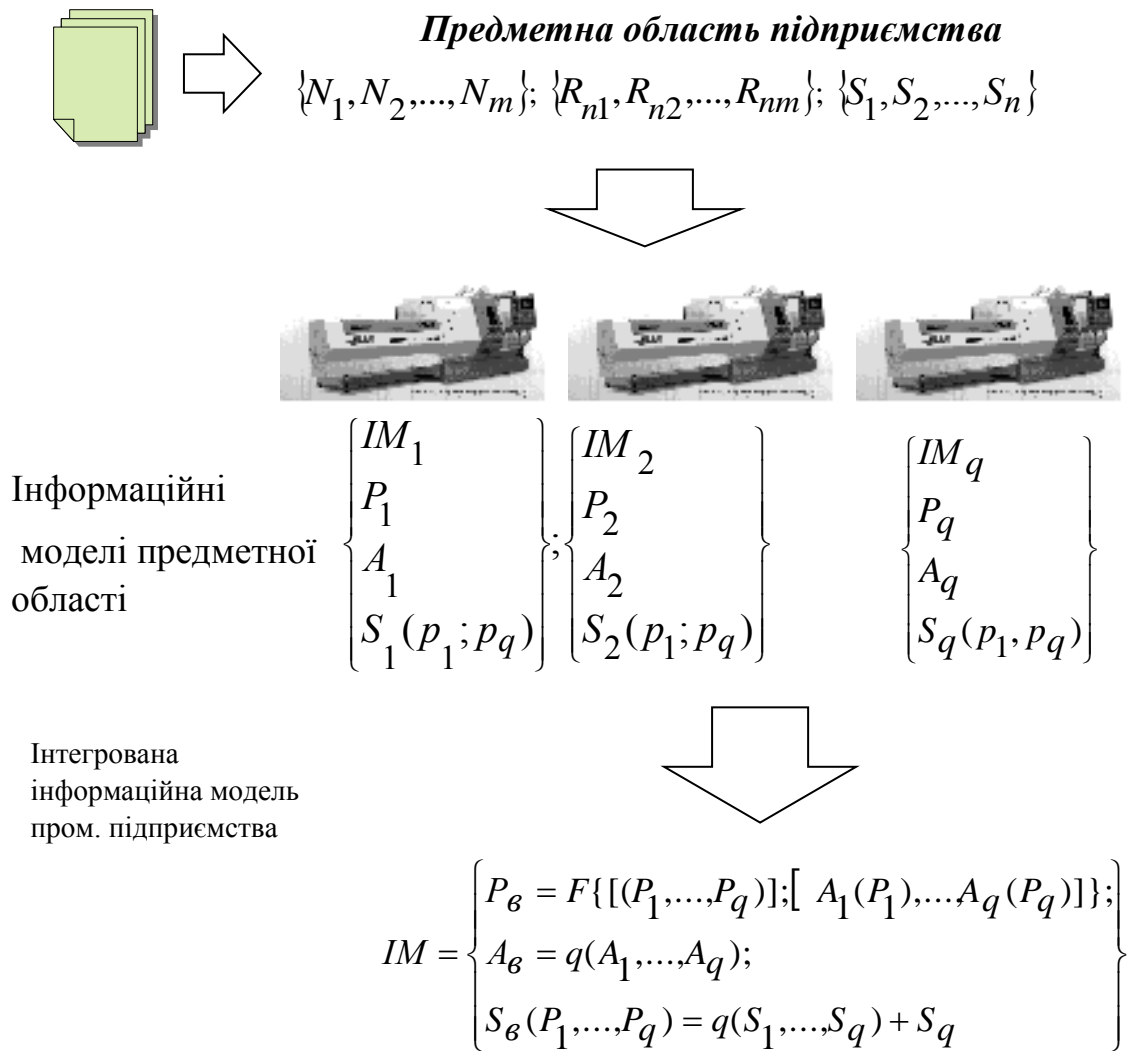


Рис.2.6. Схема створення інтегрованої інформаційної моделі підприємства

Інтегрована модель промислового підприємства повинна включати всі необхідні дані інформаційних моделей предметних областей та інформацію про їх взаємозв'язки.

Таким чином, для формалізації основних етапів побудови інтегрованої інформаційної моделі потрібно виконати наступне:

1. Об'єднання інформаційних моделей предметних областей в інтегровану інформаційну модель. У зв'язку з визначенням (2.2), відповідне перетворення можна формально описати наступним чином:

$$P_{IM} = \bigcup_{i=1}^n P_i,$$

$$A_{IM} = \bigcup_{i=1}^n A_i,$$

$$S_{IM} = \bigcup_{i=1}^n S_i(P_i) \cup S\left(\bigcup_{i=1}^n P_i\right)$$

де  $P_{IM}$  - множина понять єдиної інформаційної моделі;

$P_i$  - множина понять  $i$ -тої окремої моделі ( $i=1, 2, \dots, n$ );

$A_{IM}$  - множина векторів атрибутів єдиної інформаційної моделі;

$A_i$  - множина векторів атрибутів окремої моделі;

$S_{IM}$  - множина відношень понять єдиної інформаційної моделі;

$S(i)$  - множина відношень між множинами понять окремих моделей. Цей етап інтеграції полягає у створенні структури, яка об'єднує окремі моделі, об'єднує множини понять, атрибутів та відношень, а також визначає відношення між множинами понять окремих моделей.

2. Перетворення інформації із моделей окремих предметних областей в атрибути та відношення інтегрованої моделі.

Основними методами представлення інтегрованої інформаційної моделі є:

- реляційна модель (об'єкти описуються кортежами атрибутів);
- об'єктно-орієнтована модель (об'єкти описуються поняттями, зв'язаними відношеннями наслідування), створена за допомогою URL методології та методів DFD та IDEF3;
- семантична мережа уявлень (онтологічна модель).

Не дивлячись на те, що онтологічна модель має максимальну гнучкість та здатність до адаптації, з деяких причин, зв'язаних з використанням сучасних технологій програмування, перевага надається об'єктно-орієнтованим моделям даних, створеним за допомогою URL методології та DFD та IDEF3 моделям.

Це обумовлено також тим, що основні ідеї об'єктно-орієнтованого підходу реалізуються в базовій серії стандартів CALS – ISO 10303 (STEP). Одна із таких ідей – використання типових блоків для побудови інформаційних моделей. Типові блоки (типові інформаційні об'єкти) включають властивості (атрибути), спільні для об'єктів, які використовуються в різноманітних окремих предметних областях:

$$A_{IM} = \cap A_i.$$

Для конкретизації використання цих ресурсів, в моделі окремої задачі введено поняття протоколу застосування, в склад якого входить інтерпретація моделей окремих задач, які відносяться до області дії протоколу.

Для інтеграції інформації між протоколами застосування, в стандарті STEP передбачений метод складових екземплярів, об'єднуючих структуру декількох протоколів застосування:

$$A_{IM} = \cup A_i \setminus \cup [A_i \cap (\cup A_i)];$$

$$P_{IM} = \cup P_i \setminus \cup [P_i \cap (\cup P_i)].$$

Методи дослідження формалізованої вище інформаційної моделі підприємства з використанням DFD та IDEF3 моделей розглянуті в третьому та четвертому розділах роботи.

#### 2.4. Теоретичні основи розробки математичної моделі бізнес-процесів на промислових підприємствах

“Сукупність розроблених функціональних моделей (метод IDEF0 з методом описання процесів IDEF3, який його доповнює), організаційних та інформаційних (діаграми потоків даних–DFD) моделей дозволяють зробити детальний аналіз підприємства, яке вивчається, з точки зору його бізнес-

процесів, зв'язків між ними та навколишнім середовищем. Ці моделі відповідають на питання як протікають процеси на підприємстві в часі та просторі, але відкритим залишається питання кількісної характеристики потоків даних та матеріалів, яке виникає коли в процесі моделювання досягнуто нижні рівні декомпозиції” [2].

“Саме кількісні характеристики бізнес-процесів дозволяють здійснити їх реінжиніринг на підприємстві з метою створення автоматизованого ІС. В такому випадку необхідно розробляти математичні моделі (рис.2.1), які описуються функції, відношення між ними, інформаційні та матеріальні потоки на підприємстві чіткими математичними рівняннями або співвідношеннями, які можуть бути розв’язані відомими аналітичними або чисельними методами” [17, 18].

“Розглянемо характеристики математичної моделі технологічного процесу, як одного з бізнес-процесів підприємства, який безпосередньо приймає участь у створенні доданої якості підприємства, проаналізувавши класифікацію математичних моделей за різними ознаками (рис.2.7)” [4].

“За ієрархічним рівнем математична модель технологічного процесу відноситься до моделей макrorівня (моделі мікро рівня описують фізичні процеси на рівні проходу, а метарівня—діяльність цеха, підприємства) та призначена для відображення інформаційних та фізичних процесів, які протікають в обладнанні в ході технологічного процесу в часі, тобто є функціональною” [4].

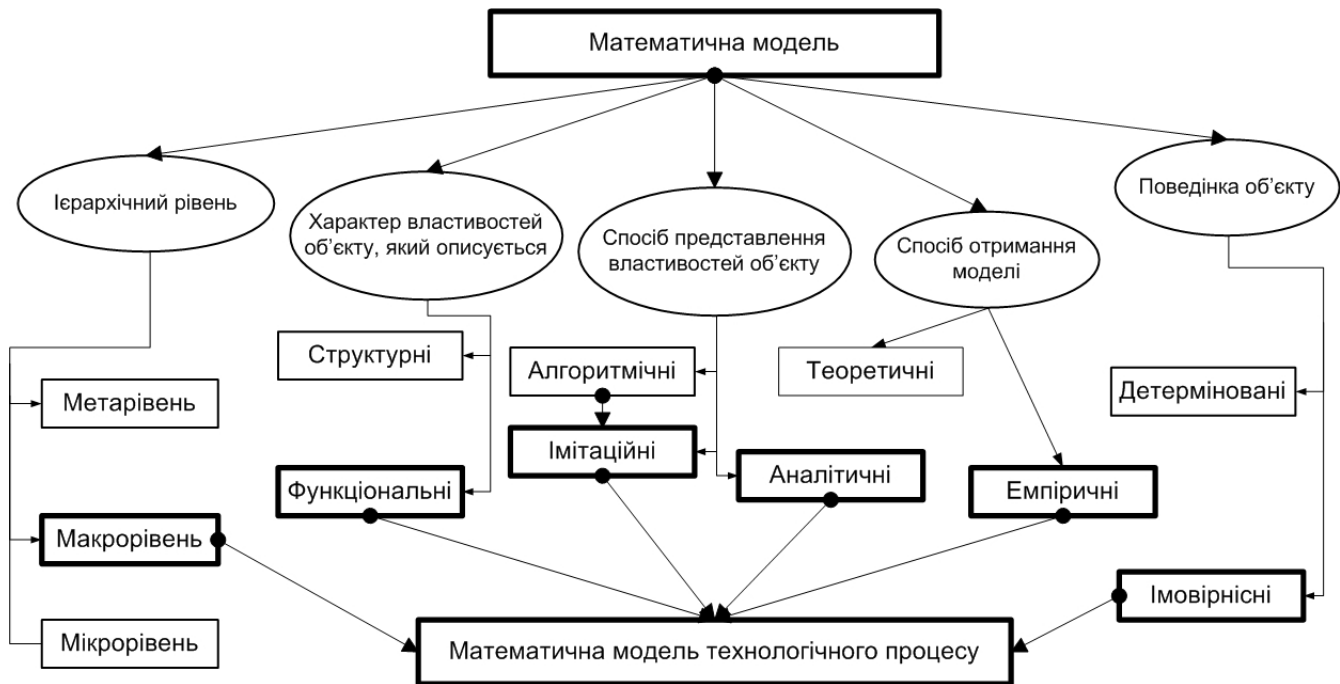


Рис.2.7. Класифікація математичних моделей

З точки зору отримання математичної моделі технологічного процесу вона є емпіричною, оскільки створюється в результаті здійснення експериментів для вивчення властивостей обладнання та обробки результатів методами математичної статистики.

Так як математична модель технологічного процесу “враховує вплив імовірних факторів на поведінку об’єкту, тобто оцінює стан обладнання з позиції імовірності тих чи інших подій (імовірність того, що обладнання вільне в певний момент часу і т. ін.) та створюється з використанням теорії масового обслуговування (ТМО), модель технологічного процесу характеризується як імовірнісна” [4, 32].

Найбільш важливим питанням для розробника математичної моделі є питання способу представлення властивостей операцій в рамках технологічних процесів, які моделюються. Згідно класифікації (рис.2.7) модель може бути аналітичною, алгоритмічною та імітаційною. В дисертаційній роботі розглядається розробка аналітичної математичної моделі та відповідного програмного забезпечення для її реалізації.



“Аналітичне моделювання засновано на описанні технологічного процесу набором математичних формул. Мова аналітичного опису включає наступні групи семантичних елементів: дані, невідомі, математичні операції та обмеження. Найбільш суттєвою особливістю аналітичної моделі є те, що модель не відображує структуру технологічного процесу. Аналітична модель завжди може бути проаналізована математичними засобами і є ефективним інструментом для вирішення задач оптимізації процесів, які відбуваються в технологічних системах, а також оптимізації та розрахунку характеристик самих систем. Важливим моментом є правильне визначення розмірності конкретної аналітичної моделі, яка може бути критичною з точки зору як можливості вирішення, так і обчислювальних можливостей сучасного апаратного забезпечення” [4, 32].

Можливість побудови аналітичних “математичних моделей, які описують технологічні процеси, використовуючи наявний математичний апарат, а також простота реалізації цих моделей з використанням сучасних комп’ютерів створюють умови для широкого застосування методу моделювання під час рішення різноманітних практичних задач в процесі здійснення реінжинірингу виробництва” [4, 32].

Інформація про виробничий процес та його характеристики, отримана в результаті моделювання, дає змогу спеціалісту предметної області здійснювати детальний аналіз основних властивостей процесу. В результаті такого аналізу можуть бути розроблені конкретні рекомендації щодо удосконалення виробничого обладнання, його ефективного використання, підвищення якості продукції та рентабельності виробництва. Тому метод моделювання є потужним інструментом дослідження операцій в області виробничих процесів.

Дослідження операцій завжди починається з вивчення процесу та постановки задач дослідження. Перший крок – чітка постановка задачі та вивчення процесу за допомогою комплексу функціональних, організаційних

та інформаційних моделей – дають результати, які мають практичну цінність з точки зору більш глибокого осмислення процесу та закономірностей функціонування системи.

“Для кількісної оцінки властивостей виробничого процесу як правило вводяться відповідні числові характеристики – показники ефективності. З цієї точки зору показник ефективності – це кількісна міра такої властивості виробничого процесу, яка найбільш повно визначає його призначення. В загальному випадку, любий показник ефективності залежить від параметрів обладнання та самого процесу, а також від величин зовнішніх факторів. Тому значення цього показника для різних реалізацій процесу може носити випадковий характер. Таким чином, при виборі показника ефективності необхідно враховувати цю обставину та вживати заходи щодо забезпечення їх статистичної стійкості. В якості типового показника ефективності виробничого процесу використовують продуктивність даного комплексу (станка, цеха, заводу і т. ін.), яка вимірюється середньою кількістю готових виробів, які випускаються за фіксований інтервал часу” [32].

Однак, для більшої частини сучасних, особливо багато профільних виробництв, продуктивність є загальним показником, який не дозволяє наглядно представити закономірності, властиві даному процесу. Тому, наряду з продуктивністю використовують інші показники ефективності, які можуть бути отримані за допомогою “математичного моделювання, серед яких:

- середня доля відбракованих виробів для кожного станка;
- середня кількість виробів, оброблених кожним станком;
- середня тривалість операції на кожному станку (середній час обробки, або час зайнятості каналу);
- середня кількість заготовок, які знаходяться в черзі на обробку;
- середня кількість заготовок, які одночасно знаходяться в системі;
- середній час перебування заготовки в черзі і в системі;

- середній час простою станції, і т.ін.” [32].

При дослідженні складних технічних систем, якими є промислові підприємства, важливими задачами є задачі аналізу, пов’язані з вивченням поведінки системи в залежності від її структури і значень параметрів, та задачі синтезу, які дозволяють визначитися зі структурою та значенням параметрів, виходячи з заданих властивостей виробництва.

“Ідея аналізу полягає в математичному моделюванні процесу при різноманітних варіантах його структури та параметрів. Порівняння показників ефективності для розглянутих варіантів, а також вивчення тенденцій для цих варіантів дозволяє отримати матеріал для побудови оптимальних з точки зору показників ефективності структур процесів, тобто вирішення задач синтезу” [32].

“Для формалізації процесу, для побудови математичної моделі, а також для того, щоб добитися відповідного рівня адекватності моделі здійснюється експериментальне вивчення процесу з метою збору статистичних даних. Для того, щоб експериментальне вивчення було практично доцільним, необхідно дотримуватися таких вимог:

1. Існуючий процес допускає такі зміни режимів функціонування, які забезпечують вирішення поставлених перед експериментом задач.

2. Є можливість фіксувати всю необхідну інформацію без занадто великих витрат на спеціальне обладнання та накопичувачі інформації.

3. Фіксація і статистична обробка даних в реальному масштабі часу дозволяє в практично прийнятні строки накопити достатню кількість інформації для здійснення моделювання.

4. Зміна режимів роботи обладнання, пов’язана з виконанням експерименту, не приводить до значних втрат в випуску продукції та небажаних наслідкам” [4, 32].

Перераховані умови виконуються як правило частково, тому для вивчення існуючих процесів слід комбінувати експериментальні методи та методи моделювання.

Розглянемо деякі поняття ТМО, детально описані в [15], “необхідні для подальшого викладення матеріалу. Потік одиниць (заготовки, готові вироби і т. ін.), що обслуговується, незалежно від його конкретної природи будемо називати потоком заявок. Для описання методів ТМО вводиться поняття потоку однорідних подій”.

“Потік однорідних подій – це певна послідовність подій, однорідних за фактом здійснення або нездійснення події в той чи інший момент часу. Моменти здійснення цієї події можуть бути чітко визначеними, тоді як інтервали між моментами здійснення подій є випадковими величинами. Значно частіше трапляються випадки, коли інтервали між моментами здійснення подій і самі моменти не визначені та є випадковими величинами. У цьому випадку потік буде визначеним, коли відомо закон розподілу моментів здійснення даної події, тобто для будь-яких значень  $t_1, t_2, \dots, t_k$  і будь-якого  $k$  відома функція” [15]

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

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

Потік заявок в ТМО як раз і є деяким потоком однорідних подій. Поняття системи масового обслуговування (СМО), яке розглядається у роботі, поєднує сукупність обладнання та спеціалістів для організації самого процесу обслуговування за певними законами функціонування системи, яка розглядається.

“У процесі обслуговування заявка займає на деякий час певний канал. Цей час називається часом зайнятості каналу. За кількістю каналів СМО може бути одноканальною чи багатоканальною. В залежності від організації обслуговування СМО класифікується за трьома типами” [16].

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

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

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

Розглянемо на прикладі одноканальної СМО можливі аналітичні методи вирішення задач дослідження технологічних процесів з урахуванням певних припущень.

Як відомо кожна СМО може бути описана часом зайнятості каналу  $t_3$  і час очікування  $\tau_{оч}$ , які, в загальному випадку є випадковими величинами з функціями розподілення  $F_3(t)$ ,  $F_{оч}(t)$  і математичними очікуваннями  $M(t_3) = \frac{1}{\mu}$  та  $M(\tau_{оч}) = \frac{1}{\nu}$  відповідно, де  $\mu$  – інтенсивність обробки,  $\nu$  – інтенсивність покидання каналу. Нами розглянуто змішану систему, яка представляє найбільш загальний випадок СМО. Інші СМО розглядаються як похідні від змішаної системи при певних умовах, так для системи з відмовами  $\frac{1}{\nu} \rightarrow 0$ , а при  $\frac{1}{\nu} \rightarrow \infty$  отримуємо систему з очікуванням.

Основним показником роботи змішаної системи є імовірність відмови  $p_{від}(t)$ , тобто імовірність отримати відмову для заявки в деякий момент часу  $t$ . Якщо розглядати достатньо відділений момент часу  $t$ , коли встановлюється стаціонарний режим ( $t \rightarrow \infty$ ), то величина вірогідності відмови практично не буде залежати від  $t$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_{від}(t) = p_{від} \cdot \quad (2.3)$$

Таким чином  $p_{від}$  розглядається як відношення кількості заявок, які отримали відмову, до загальної кількості заявок, які надійшли в систему та може бути розрахована аналітично при певних припущеннях. Розглянемо два випадки.

1. “Час зайнятості каналу  $t_3$  і час очікування  $\tau_{оч}$  розподілені за показниковими законами з щільністю розподілення  $\mu e^{-\mu t}$  та  $\nu e^{-\nu t}$  відповідно. Потік заявок на вході системи вважається найпростішим з інтенсивністю  $\lambda$ . Для вірогідності відмови при даних припущеннях для одноканальної СМО справедливий наступний вираз” [16]

$$p_{від} = \frac{\beta \sum_{s=1}^{\infty} \frac{sa^s}{(1+\beta)(1+2\beta)\dots(1+s\beta)}}{(1+a) + a \sum_{s=1}^{\infty} \frac{a^s}{(1+\beta)(1+2\beta)\dots(1+s\beta)}}, \quad (2.5)$$

де  $a = \frac{\lambda}{\mu}$ ,  $\beta = \frac{\nu}{\mu}$   $s$  – кількість заявок, які знаходяться в черзі.

Для СМО з відмовами ( $\frac{1}{\nu} \rightarrow 0$ ), з (2.2) отримуємо

$$p_{від} = \frac{a}{1+a}. \quad (2.6)$$

2. “У випадку, коли час зайнятості каналу  $t_3$  і час очікування  $\tau_{оч}$  – постійні величини:  $t_3 = \frac{1}{\mu}$  та  $\tau_{оч} = \frac{1}{\nu}$ ; обслуговування упорядковане, тобто в момент звільнення каналу заявки в черзі надходять на обслуговування в тому ж порядку, в якому вони надійшли в систему, а їх потік найпростіший. В цьому випадку для вірогідності відмови отримано наступний вираз” [16]

$$p_{від} = \frac{a + e^{-\frac{a}{\beta}} - 1}{a + e^{-\frac{a}{\beta}}}. \quad (2.7)$$

Слід зазначити, що для СМО з відмовами ( $\frac{1}{\nu} \rightarrow 0$ ) формула (2.7) приймає вигляд (2.5), що свідчить про незалежність вірогідності відмови для одноканальної системи з відмовами від закона розподілення часу обслуговування.

“Розглянуті математичні моделі одноканальних СМО дозволяють моделювати роботу станків та інших одиниць обладнання, що вимагає деталізацію функціональних моделей до рівня операція та дія, тобто до третього та четвертого рівнів і, як результат, призводить до суттєвого зростання обсягів розрахунків, а інколи робить їх навіть неможливими у випадку, коли вхідний потік не є найпростішим” [15].

“З практичної точки зору цікавим є побудова математичної моделі багатоканальної СМО з обмеженим очікуванням як найбільш складний і типовий для сучасних виробництв випадок. При цьому вважаємо, що всі  $n$  каналів системи однаково досяжні для всіх заявок” [16].

Основним показником роботи системи з обмеженим очікуванням є імовірність відмови  $p_{від}(t)$  та асимптотична поведінка цієї величини при  $t \rightarrow \infty$ . Для багатоканальної системи доведено, що існує  $\lim_{t \rightarrow \infty} p_{від}(t) = p_{від}$ , де суть величини  $p_{від}$  така ж, як і у випадку одноканальної системи.

Аналітичне дослідження багатоканальної СМО є більш важким, ніж у випадку одноканальної системи. Розглянемо можливі стани системи під час її функціонування (табл.2.5).

Таблиця 2.5.

Можливі стани багатоканальної системи масового обслуговування

Стан системи	Кількість вільних каналів	Кількість зайнятих каналів	Кількість заявок в черзі
0	$n$	0	0

1	$n-1$	1	0
2	$n-2$	2	0
...	...	...	...
...	...	...	...
$k$	$n-k$	$k$	0
...	...	...	...
...	...	...	...
$n$	0	$n$	0
$n+1$	0	$n$	1
...	...	...	...
...	...	...	...
$n+s$	0	$n$	$s$
...	...	...	...

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

Розглянемо можливе аналітичне вирішення задачі за таких умов: “вхідний потік заявок вважається найпростішим з параметром  $\lambda$ , число каналів СМО— $n$ , час зайнятості системи  $t_3$  є випадковою величиною, розподіленою за показниковим законом із параметром  $\mu$ , а час очікування - детермінованою величиною  $\tau_{оч} = \tau = \frac{1}{\nu}$ . Обслуговування здійснюється в порядку черговості надходження заявок в систему. При цих умовах для вірогідності  $p_k$  отримаємо наступні формули” [15]:

$$p_k = \frac{\alpha^k}{k!} p_0 \quad \text{при } 1 \leq k \leq n,$$

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



Імовірність того, що станція вільна—  $p_0$ , знаходиться з рівняння  $\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1$ :

$$p_0 = \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-\alpha)} \left( 1 - e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} \right) \right]^{-1} \quad \text{при } \alpha \neq n, \quad (2.8)$$

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

Якщо  $\tau = 0$  ( $\beta \rightarrow 0$ ), то всі вірогідності  $p_k$  при  $k > n$  перетворюються в нуль. Визначимо імовірність відмови  $p_{\text{від}}$ . Для цього вводиться величина  $c_s$ , яка є щільністю відмови при умові, що кількість заявок, які очікуються, дорівнює  $s$ . Маємо:

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

Середня щільність відмови в такому випадку визначається як

$$c = \sum_{s=1}^{\infty} c_s p_{n+s} = \frac{\mu \alpha^{n+1}}{n!} e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} p_0. \quad (2.9)$$

Імовірність відмови визначається співвідношенням  $p_{\text{від}} = \frac{c}{\lambda}$ . Враховуючи (2.9) та

останню формулу, маємо:  $p_{\text{від}} = \frac{\alpha^n}{n!} e^{-\frac{n-\alpha}{\beta}} p_0$ .

В роботі [16] розглянуто декілька прикладів “з урахуванням різних підходів до обслуговування заявки і показано, що дисципліна черги впливає на показники системи, а також поставлено питання про вибір каналу для обслуговування з числа вільних. Варіанти такого підходу представлені трьома підходами” [16].

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

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

3. Заявка займає будь-який з вільних каналів за випадковим законом розподілення” [16].

“Критерій вибору одного або деякої комбінації наведених варіантів залежить від конкретної ситуації. Так, якщо всі канали рівноцінні за вартістю або надійністю, то краще вибрати перший варіант. Другий варіант краще вибирати, коли всі канали рівноцінні, але бажано, щоб ступінь старіння був приблизно однаковим у момент часу  $t$ ” [16].

“Математичні моделі змішаних систем, як зазначалося раніше, є найбільш загальними випадками СМО. Як показує аналіз технологічних процесів сучасних промислових підприємств, СМО, які можуть використовуватися як моделі даних процесів є системами з очікуванням, тобто  $\frac{1}{\nu} \rightarrow \infty$ . Що стосується часу зайнятості системи, то для практичних розрахунків для більшості процесів його можна вважати детермінованим  $t_3 = \frac{1}{\mu}$ . Як правило, час зайнятості системи приймається рівним середньому часу обробки того чи іншого виробу на певному типі обладнання. Заявки обслуговуються в порядку їх надходження в систему каналом, першим в черзі, тобто тим, який має максимальний час простою. Саме побудова технологічних процесів за цими принципами і призводить до необхідності здійснення їх реінжинірингу з метою їх оптимізації з точки зору завантаження та ефективного використання обладнання. Практична реалізація розглянутого математичного апарату з урахуванням особливостей і конкретних характеристик реальних технологічних ліній розглянута в третьому розділі” [16].

“Каскадна модель характеризується високо структурованим підходом з чітко визначеними початковими вимогами до моделі та її кінцевим станом в процесі розробки (рис.2.8)” [15].

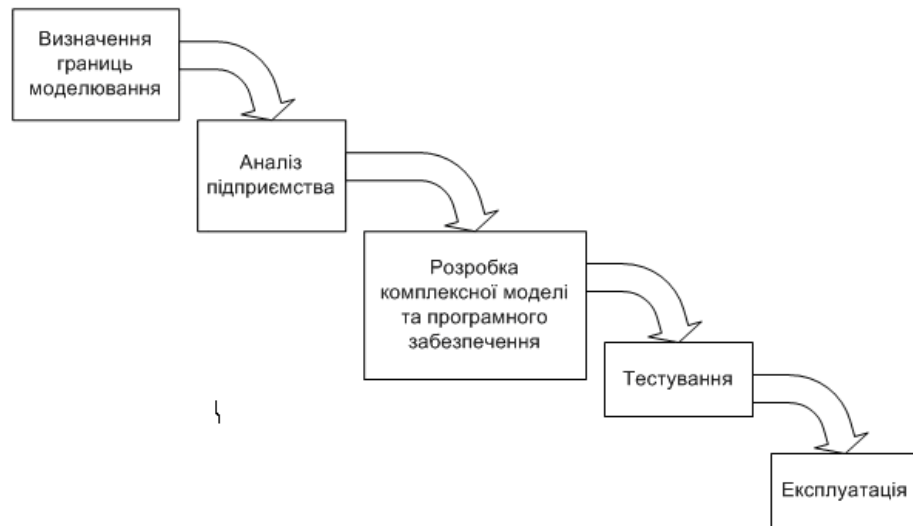


Рис.2.8. Каскадний підхід до розробки моделі

Взагалі, каскадна модель є не досить гнучкою щодо змін середовища моделювання, що пов'язано з її прив'язкою до серії дискретних фаз розробки, або процесних кроків, кожний з яких повинен бути виконаний перед початком наступного кроку.

“В моделі спіральної розробки використовується підхід, заснований на розгляді всього життєвого циклу системи, в якому розробка представлена серією кроків, які включають тестування кожного етапу побудови з подальшим їх удосконаленням, тобто розробку нових модернізованих версій моделі (рис.2.9)” [7].

“Вимоги до початкових умов для розробки спіральної моделі не є такими жорсткими, як у випадку каскадної моделі тому, що вони можуть бути уточнені протягом наступних циклів розробки з урахуванням нових умов. Модель спірального розвитку є більш гнучкою до зовнішніх змін в середовищі в процесі розробки чим каскадна модель” [15].

Як видно з рис.2.9 після закінчення повного циклу розробки моделі, здійснюється експлуатація першої її версії. Після уточнення початкових умов для розробки моделі, здійснюється наступний цикл розробки, який закінчується експлуатацією іншої, більш досконалої версії моделі.

Використання такого підходу ефективно для моделювання систем, які характеризуються частими змінами їх структур.

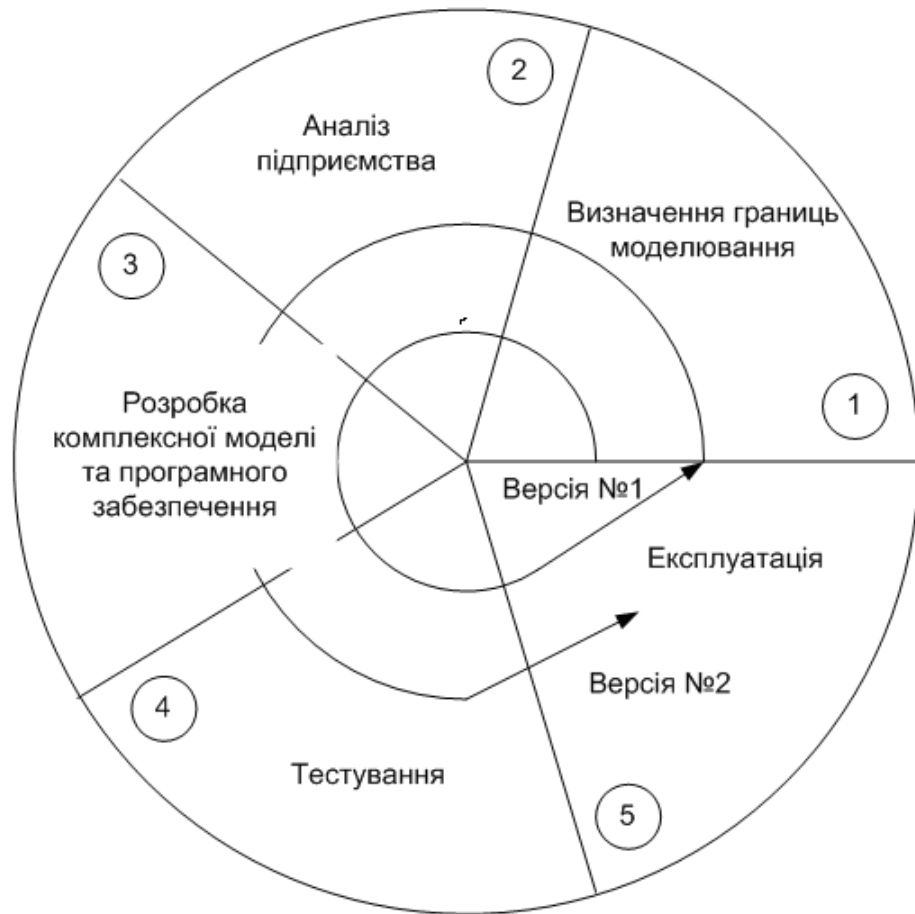


Рис.2.9. Модель спіральної розробки

Загальним для розглянутих парадигм щодо підходів побудови моделі є наявність п'яти етапів.

На першому етапі визначається призначення моделі та границь моделювання для визначення ширини предметної області та глибини деталізації. На цьому етапі слід визначити також цільову аудиторію та точку зору, з якої буде розглядатися підприємство (або його організаційні складові) під час побудови моделі. Відсутність чітких границь моделювання призведе до неможливості дати оцінку ступеня завершеності моделі на етапі її безпосередньої розробки обраними методами (графічне представлення, математична формалізація і т. ін.).

Етап аналізу характеризується роботою групи фахівців, які залучаються до розробки моделі, серед яких можна виділити три головних категорії: керівництво підприємства, фахівці предметних областей та системні аналітики. На даному етапі здійснюється збір інформації, як правило, шляхом опитування (або анкетування) про процеси підприємства в рамках границь моделювання, визначаються проблемні області в діяльності підприємства і. т. ін.

На третьому етапі безпосередньо здійснюється розробка комплексу моделей та програмного забезпечення для їх реалізації з використанням існуючих або розроблених самостійно методів, частина з яких була детально розглянуті в попередньому викладені (п.2.1-2.4). Невирішеним залишилося питання послідовності розробки моделей та їх взаємодії. У зв'язку з тим, що функціональна, організаційна та інформаційні моделі знаходяться в тісному зв'язку на певних рівнях декомпозиції, доцільно розробити чіткий алгоритм, який визначатиме послідовність їх побудови та рівні взаємодії. Це питання є доволі актуальним і буде розглянуте детально у подальшому викладені.

Четвертий етап характеризується тестуванням розробленої моделі та програмного забезпечення і є дуже відповідальним з точки зору перевірки її адекватності, тобто ступеню відповідності моделі реальним технологічним процесам підприємства, які вона описує. У випадку недостатнього рівня адекватності здійснюється уточнення вхідних даних та, можливо, границь моделювання і виконується повторна розробка всієї моделі, або певних її частин.

На п'ятому етапі здійснюється експлуатація розробленої моделі та програмного забезпечення у відповідності до задач, які були поставлені на початку моделювання. У випадку спірального підходу до побудови моделі можливий початок наступного циклу її розробки, наприклад, коли виникла необхідність дослідження на більш глибокому рівні деталізації або отримана

точність виявилася недостатньою для системного аналізу певних видів діяльності підприємства.

Таким чином, розглянуті парадигми визначають етапи розробки моделей та програмного забезпечення і послідовність їх виконання починаючи з постановки задачі та визначення границь моделювання, закінчуючи процесом їх експлуатації. Вибір типу парадигми визначається конкретними задачами моделювання і залежить від багатьох факторів.

Одним з етапів розглянутих парадигм є безпосередньо розробка (описання) моделей з використанням існуючих методів. В даному випадку мова йдеться про використання методології IDEF та DFD для описання функціональної, організаційної та інформаційної моделей, а також імовірно-статистичні методи вирішення задач з обслуговування великої кількості однорідних об'єктів (теорія масового обслуговування) для формалізації процесів та операцій шляхом розробки їх математичної моделі.

На цьому етапі також здійснюється розробка програмного забезпечення для реалізації всіх або певних моделей в залежності від задач дослідження. Оскільки однією з задач дисертації є дослідження технологічних процесів підприємства з метою їх удосконалення, програмне забезпечення буде розроблено для аналітичної математичної моделі, яка була розглянута в попередньому викладені.

Не менш важливим елементом загальної стратегії розробки комплексної моделі є методи розробки, які суттєво впливають на реалізацію розроблених моделей, тобто на стиль та мову програмування, які використовуються для розробки програмного забезпечення.

Метод розробки в [15] “визначається як “упорядкований процес створення набору моделей, які описують різноманітні аспекти програмного забезпечення в процесі його розробки, використовуючи чітко визначені поняття”. Методи розробки – це концептуалізація того, як найкраще моделювати функціонування системи, феномену або процесу. Методи

розробки можуть бути розділені на дві категорії” [15]: методи, орієнтовані на функції/дані та об’єктно-орієнтовані методи. Методи орієнтовані на функції/дані опрацьовують функції і/або дані окремо та включають розробку по принципу “зверху донизу”. Об’єктно-орієнтовані методи розглядають програмне забезпечення як набір взаємодіючих об’єктів, в яких функції та дані інтегровані. В додаток до структури моделі, вибір методу розробки впливає в деякому ступені на кожний етап розробки, але найбільш суттєво на етапи аналізу, безпосередньо розробки моделі, реалізації та тестування. Наприклад, протягом етапу безпосередньої розробки моделі та програмного забезпечення, підхід “зверху донизу” акцентує увагу розробника на алгоритмічній декомпозиції, в той час, як об’єктно-орієнтований підхід працює з об’єктами, їх організацією, взаємними зв’язками та взаємодією [15].

Аналіз зв’язку між методами розробки та стилями програмування (рис.2.10) вказує на те, що практично не існує єдиного стилю програмування, який би однаково добре підходив для всіх додатків (типів програмного забезпечення).



Рис.2.10. Зв’язок між методами розробки та стилями програмування

Помилка в виборі правильного стилю програмування (мови програмування) для реалізації відповідного методу розробки програмного забезпечення призводить до суттєвого зростання об'єму програми і як результат її складності, можливості виникнення помилок під час її компіляції та експлуатації.

“Однією з задач магістерської роботи є розробка програмного забезпечення для реалізації створеної математичної моделі технологічних процесів підприємства з метою їх аналізу. Слід відмітити, що з погляду максимально точного відтворення технологічних процесів, необхідно розробляти імітаційні моделі, але їх розробка є дуже складним процесом з технічної точки зору та тривалості, оскільки необхідно додатково розробляти алгоритмічну модель процесів та використовувати об'єктно-орієнтовані методи, так як вони вже практично стали стандартом реінжинірингу. З погляду швидкості розробки (звісно з заданими показниками точності) необхідно працювати з аналітичними моделями, які описують технологічні процеси чіткими математичними формулами, а реалізація розрахунків на електронних обчислювальних машинах не вимагає великих обчислювальних ресурсів та складного програмного середовища. Слід відмітити, що моделі IDEF3 технологічних процесів орієнтовані на дані, які описують процеси та операції підприємства, що робить можливим їх програмну реалізацію як об'єктно-орієнтованими методами, так і методами орієнтованими на функції/дані. В свою чергу аналітична математична модель технологічних процесів, являє собою очевидні математичні вирази вихідних параметрів як функцій від параметрів вхідних (інтенсивність вхідного потоку) та внутрішніх (характеристик обладнання: середній час обробки, доля відбраковки і т.ін.), тобто теж орієнтована на дані” [16].

Таким чином, програмне забезпечення буде розроблятися з використанням мови програмування, орієнтованої на алгоритми та правила, тобто процедурно-орієнтованої та орієнтованої на правила типу “якщо-то”.

Висновки по розділу.



1. Шляхом дослідження сучасних методологій аналізу та проектування складних систем обрано концепцію моделювання діяльності промислового підприємства та було визначено набір моделей та методів їх розробки (рис.2.1), які забезпечують здійснення системного аналізу бізнес-процесів підприємства.

2. Розглянуто методологічну основу дослідження бізнес-процесів на промислових підприємствах – функціональне моделювання та розроблено типові функціональні моделі діяльності промислового підприємства, які розглядаються з точки зору рівнів деталізації.

3. Розроблено методи побудови організаційної моделі підприємства з використанням організаційно-технічних структур та механізмів функціональних моделей.

4. Розглянуто математичну формалізацію інформаційних потоків промислового підприємства як методологічну основу для розробки інформаційних моделей за допомогою DFD та IDEF3 методів.

5. Розглянуто теоретичні підходи щодо розробки аналітичної математичної моделі технологічних процесів, використовуючи теорію масового обслуговування. Аналітичне моделювання засновано на описанні технологічного процесу з використанням математичних формул (2.3-2.9), які дозволяють, використовуючи характеристики реальних технологічних процесів (структури, параметри обладнання і т.ін.), описати вихідні параметри (середній час простою, середня кількість заготовок в черзі і т. ін.) як функцій від параметрів вхідних (інтенсивність вхідного потоку) та внутрішніх (характеристик обладнання: середній час обробки, доля відбраковки і т. ін.).

6. Системно обґрунтовано та розроблено алгоритм побудови функціональної, організаційної, інформаційної та математичної моделей бізнес-процесів підприємства, який описує послідовність їх розробки та взаємозв'язок між ними.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ МОДЕЛЕЙ, ЯКІ ОПИСУЮТЬ ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Визначення послідовності етапів реінжинірингу бізнес-процесів промислового підприємства

“Розробка моделей бізнес-процесів промислового підприємства розглядається в контексті здійснення їх реінжинірингу, як методології суттєвого удосконалення процесів підприємства з метою підвищення їх ефективності. Саме роботи з реінжинірингу дозволяють виявити найбільш суттєві для створення доданої якості підприємства процеси і визначитися з деталізацією розробки моделей” [28].

“Реінжиніринг бізнес процесів або BPR (Business Process Reengineering), починаючи з 1990 року активно використовується фахівцями в галузі менеджменту та інформаційних технологій. М.Хаммер, в роботах [34, 35] розглядає появу BPR як революційні зміни в виробництві, які пов’язані з відмовою від базових принципів побудови підприємства, запропонованих А.Смітом, і розглядає побудову процесів підприємств як інженерну діяльність. Можливість таких кардинальних змін обумовлена, в першу чергу, новітніми досягненнями в галузі інформаційних технологій, фахівці якої відіграють суттєву роль в розробці процесів підприємства” [34, 35].

“Необхідність реінжиніринга пов’язана з безперервними та суттєвими змінами в технологіях, ринках збуту та потребах клієнтів для збереження конкурентоздатності” [15, 16].

Створення автоматизованого інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства починається з реінжинірингу –

кардинальної революційної перебудови бізнес-процесів підприємства, що пов'язані з переходом на нові принципи його побудови (рис.3.1).

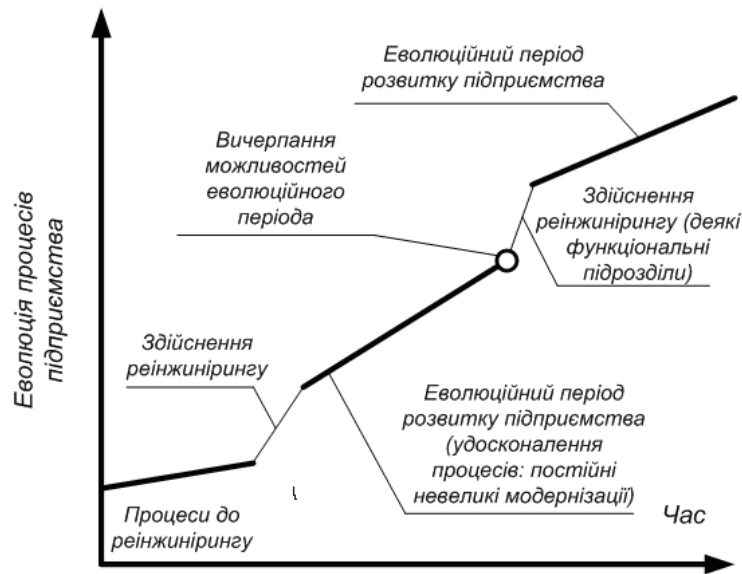


Рис.3.1. Еволюція бізнес-процесів підприємства

“Реінжиніринг потребує виконання спеціального проекту і створення команди, до якої залучаються фахівці підприємства і консультанти консалтингових компаній. Група з реінжинірингу повинна бути включена до складу робочої групи, яка займається побудовою ІС підприємства. Після досягнення цілей реінжиніринга, проект завершується і підприємство переходить до еволюційного періоду свого розвитку: постійним невеликим модернізаціям процесів, які виконуються в ході функціонування підприємства. Коли можливості еволюційного розвитку вичерпуються, компанія знову здійснює реінжиніринг. Як правило” [15–17], новий проект охоплює вже не всю компанію, а тільки підрозділи, функціонування яких не задовольняє вимогам щодо якості, часу виконання робіт і т.ін.

“Для виявлення процесів, які підлягають реінжинірингу, виконується аналіз бізнес-процесів підприємства за показниками” [11, 15] (табл. 3.1):

Таблиця 3.1

Показники процесів підприємства

Показник	Характеристика показника
Часовий цикл	Передбачає можливість збільшення або модифікації потужностей виробництва або послуг на вимоги ринку
Собівартість	Визначає прибутки підприємства і характеризує конкуретоздатність підприємства
Якість	Включає відповідність світовим стандартам і здатність задовольнити вимоги споживачів
Наявність ресурсів	Розкриває наявність обладнання та людських ресурсів, які забезпечують гнучкість, адаптивність та креативність процесів (запас потужності для здійснення кардинальних змін)
Прибуток підприємства	Характеризує попит на вироби підприємства

“Розгляд методів аналізу [15] за розглянутими аспектами виходить за рамки досліджень, але зазначимо, що в результаті аналізу фахівці групи отримують перелік процесів, які підлягають реінжинірингу, в порядку їх значущості для підприємства” [15].

Загальна модель реінжинірингу, запропонована в роботі, (рис.3.2) передбачає прийняття рішення щодо процесів – коригування або розробку кардинально нових процесів, для чого розробляється план впровадження.

Успіх проекту з реінжинірингу залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш суттєвими є [15, 22]:

1. “Формування групи фахівців, яка буде здійснювати проект (в здійсненні реінжинірингу приймають участь фахівці двох типів – експерти в галузі процесів, які підлягають реінжинірингу та розробники інформаційних систем). Ефективна робота сформованої групи залежить від багатьох факторів: підтримка керівництва підприємства, їх фаховий рівень і т.ін.” [15, 22].

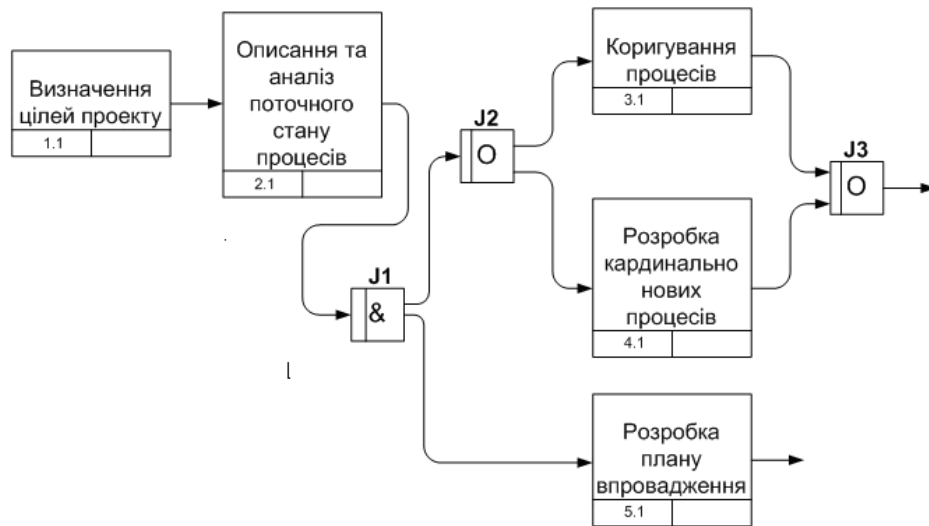


Рис.3.2. Модель реінжиніринга в анотації IDEF3

2. “Вибір методології реінжинірингу. Задачі, які необхідно вирішувати під час реінжинірингу, характеризуються високим ступенем складності та відповідальності. В такому випадку тільки обґрунтована та перевірена методологія здійснення реінжинірингу може забезпечити його успіх. На сьогоднішній день провідними консалтинговими компаніями розроблено декілька методологій здійснення реінжинірингу. Більшість з цих методологій (Construct компанії Gemini Consulting, Eagle компанії Andersen Consulting і т. ін.) базується на CASE-технології (інструментарії) розробки інформаційних систем” [22].

“Для успішної реалізації проекту з реінжинірингу необхідно щоб методи, інструментарій та методології були коректними відносно один одного в цільній структурі” [22]. “По суті структура використовується для описання характеристик концептуальних частин системи та взаємозв’язків між цими частинами. Структура BPR описується як (рис.3.3)” [15, 16]:

- “Набір керівних принципів BPR.
- BPR складається з набору фаз та хронометрованих діяльностей, чітких ключових положень та результатів фаз.
- Набір методів, стратегій та інструментарію для BPR, чітке розуміння їх ролі в підтримці BPR та набір перевірених механізмів та технік

для реалізації методів” [15, 16].

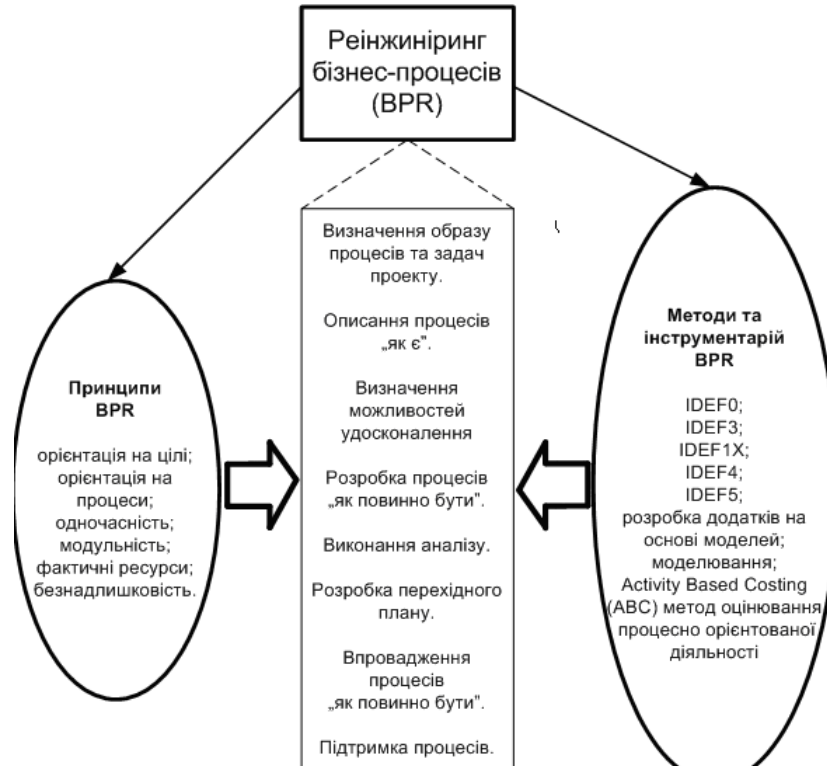


Рис.3.3. Принципи, методи та інструментарій реінжинірингу

“Аналіз принципів, методів та інструментарію вказує на наявність проблеми пошуку загальної мови, яка стоїть на шляху інтеграції сучасних технологій моделювання та розробки складних інформаційних систем: об’єктно-орієнтовані методи, CASE-технології, імітаційне моделювання процесів та методи швидкої розробки додатків RAD (Rapid Application Development)” [15, 16, 22].

“Об’єктно-орієнтоване моделювання признане базовою методологією реінжиніринга. Традиційно, створюючи АС компаній, розробники працювали з даними. Як результат моделювання систем здійснювалося з використанням підходів, орієнтованих на опис даних систем та взаємозв’язків між ними. Оскільки реінжиніринг орієнтований на процеси, а не на дані, необхідно мати методи та інструментарій для описання поведінки системи, таким чином, класичний традиційний підхід виявився неадекватним. Традиційний підхід дозволяє описувати та аналізувати технологічні процеси підприємства з метою пошуку “вузьких” місць, оскільки мова йдеться про моделювання

даних, які описуються математичними функціями і дозволяє отримувати нескладні моделі та програмне забезпечення для прийняття попереднього рішення. Слід відмітити, що в деяких випадках, традиційний підхід забезпечує точність, яка задовольняє вимогам і задачам дослідження (наприклад для аналізу зазначених технологічних процесів) і тому цей підхід знайшов широке розповсюдження на практиці. Його перевага–невибагливість до ресурсного забезпечення з точки зору потужностей обчислювальних систем та математичних методів для опису процесів. Так в наступному розділі розглядається розробка програмного забезпечення з погляду підходу, орієнтованого на дані, для реалізації аналітичної математичної моделі, розробленої в попередньому розділі” [15].

“Однак для дослідження інших процесів, відмінних від технологічних (складні процеси управління, маркетингу, взаємодії зі споживачами та постачальниками, технологічна підготовка виробництва і т. ін.) лише об’єктно-орієнтований підхід залишається єдиним підходом, який дозволяє описувати як дані, так і їх поведінку. Крім того, вони забезпечують створення прозорих моделей функціонування підприємства та АС у вигляді інтерфейсів користувачів (рис.3.4), які легко модифікуються і допускають повторне використання окремих компонентів” [32].

“CASE-технології використовуються в реінжинірингу практично з моменту їх появи. Однак їх орієнтація на розробників АС призвела до того, що їх починають поєднувати з іншими сучасними технологіями – в першу чергу, з об’єктно орієнтованими” [32].

“Імітаційне моделювання забезпечує не тільки найбільш глибоке представлення моделей для користувачів, але й найбільш повні засоби для аналізу таких моделей. Моделі створюються у вигляді потокових діаграм, де представлені основні робочі процедури підприємства, описана їх поведінка, а також інформаційні і матеріальні потоки між ними (рис.3.4)” [33].

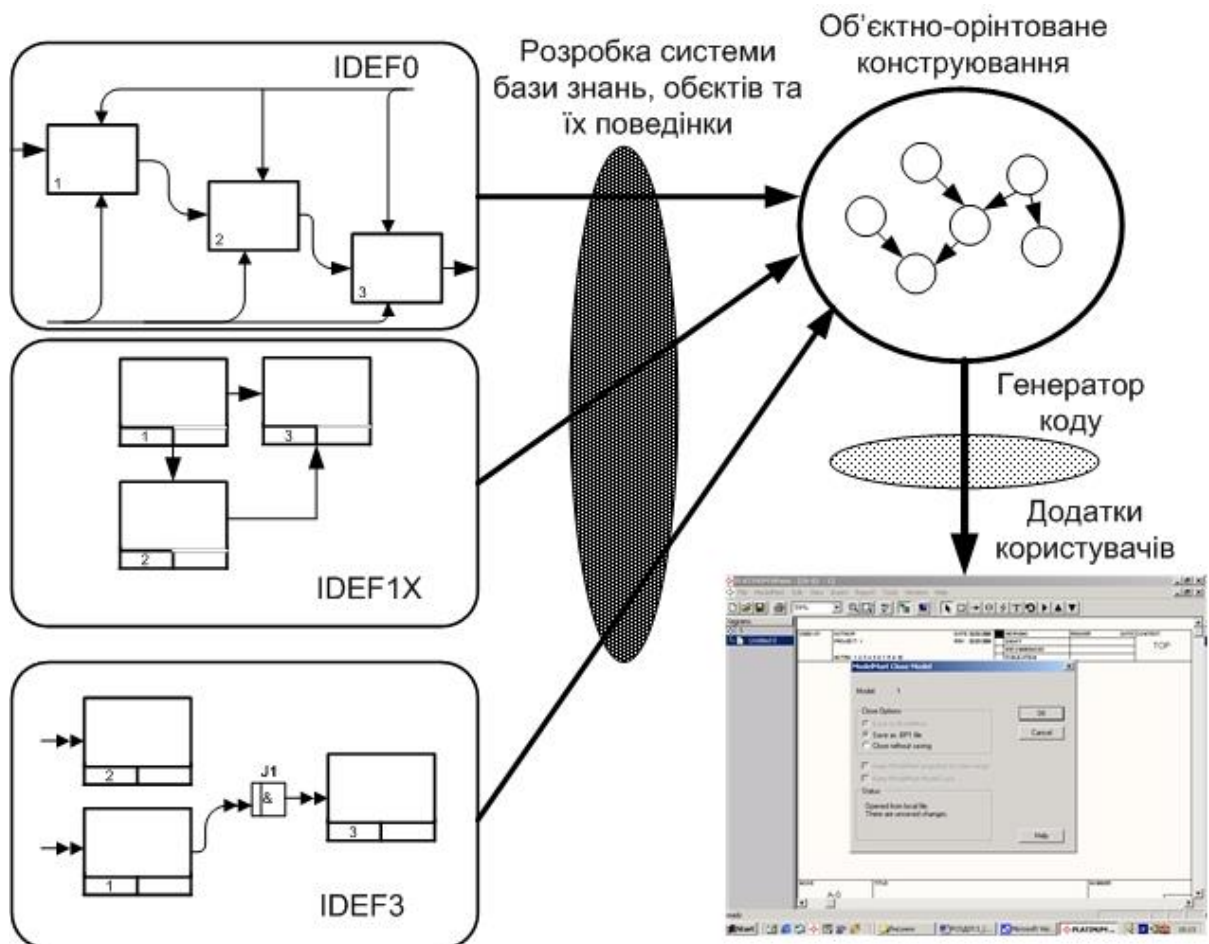


Рис.3.4. Процес розробки додатків користувачів на основі IDEF методології

Слід зазначити, що хоча імітаційні моделі і забезпечують найбільшу детальність в описанні поведінки процесів (в тому числі і технологічних), їх побудова пов'язана з великими працевитратами та є доволі складним процесом, а їх аналіз, як правило, виходить за рамки простого збору статистики за термінами та вартостями і вимагає від користувача спеціальної підготовки.

Підхід до розробки моделей підприємства та розробки додатків користувачів (рис.3.4) цілком відповідає алгоритму побудови комплексної моделі підприємства (розділ 2), де розробка імітаційної моделі об'єктно орієнтованими методами може бути представлена блоком №3.1.11 "Розробити математичну модель". В залежності від задач дослідження розробляється конкретний тип моделі, що демонструється декомпозицією



## №11.1.13-11.1.15.

Зазначені труднощі на шляху створення імітаційної моделі долаються використанням більш простих аналітичних моделей (особливо для аналізу технологічних процесів) з достатнім рівнем точності, або ж використанням методів інженерії знань.

“Методи швидкої розробки додатків дозволяють скоротити час створення підтримуючих АС і використовуються не тільки в ході реінжиніринга, але й на етапі еволюційного розвитку процесів підприємства (рис.3.1). Сучасний період характеризується активним переходом до використання інтегрованих методологій та інших засобів [17, 18]”.

“Побудова систематизованої стратегії впровадження проекту з реінжинірингу бізнес-процесів підприємства враховуючі можливості підприємства” [7].

Ґрунтуючись на вище викладеному, визначимо послідовність етапів реінжиніринга бізнес-процесів [15]:

1. Створення структури, здатної ефективно провести проект реінжиніринга (передпроектна фаза).
2. Визначення характеристик нових процесів підсистеми інформації і її майбутніх функцій (фаза цілевизначення).
3. Оцінка існуючих процесів, вибір процесів, що будуть перебудовуватися (аналітична фаза).
4. Визначення розриву зв'язків між процесами усередині інформаційної підсистеми і зовнішніх процесів організації. Визначення процесів, що не відповідають новій стратегії підприємства.
5. Розробка моделі прийняття підприємством рішень (фаза конструювання).
6. Побудова карти бізнес-процесів.
7. Аналіз впливу майбутніх бізнес-процесів на ефективність економічного суб'єкта і розробка нових (фаза попереднього контролю).

8. Визначення нових систем в інформаційному просторі економічного суб'єкта і доробка проекту.

9. Реорганізація інформаційної підсистеми – трансформація процесів, що не відповідають цілям підприємства, розробка нових процесів (технічна фаза).

10. Розробка організаційної схеми для інформаційної підсистеми – розробка нової організаційної структури підприємства (організаційна фаза).

11. Упровадження нової інформаційної підсистеми.

Таким чином, очевидно, що процес впровадження проекту з реінжинірингу потребує від підприємства значних матеріальних, інтелектуальних та фінансових ресурсів і є необхідним етапом у загальному процесі побудови ІС підприємства.

У подальших підрозділах автором будуть запропоновані моделі виробничої діяльності машинобудівного підприємства на прикладі АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг» з використанням описаного вище інструментарію BPR.

### 3.2. Розробка функціональної моделі бізнес-процесів промислового підприємства

Розглянемо побудову функціональної моделі АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг». “Так, як метою роботи не є побудова деталізованої функціональної моделі підприємства, а розробка алгоритму побудови цієї моделі, який буде мати практичну цінність як інструментарій системного аналітика в задачах реінжиніринга для створення автоматизованого ІС підприємства, обмежимося рівнем деталізації, достатнім для подальшої побудови математичної моделі найбільш складних технологічних процесів, які будуть

досліджуватися за допомогою математичних моделей з точки зору їх ефективності. Вихідними даними для побудови функціональної моделі були дані звіту про виконання робіт щодо комплексної автоматизації управління промисловим підприємством” [15] та результати дослідження бізнес-процесів підприємства шляхом опитування фахівців предметних областей. Розроблені функціональні моделі першого та другого рівнів (рис.А.1-А.8) охоплюють практично всі сфери діяльності підприємства з рівнем деталізації, який дозволяє створити певне уявлення про бізнес-процеси підприємства та можуть бути використані як базові для подальшої деталізації і уточнення, виходячи з конкретних вимог моделювання. Дані моделі дозволяють перейти до функціональних моделей третього рівня, діаграма А-43 "Виробляти деталі і вузли власного виробництва" функції "Випускати та поставляти вироби замовникам", діаграма А-4 (рис.А.9), який є найбільш цікавим з практичної точки зору для подальшої декомпозиції до рівня технологічних процесів з метою побудови їх математичних моделей, які і є основою для оцінки ефективності виробництва. Слід зазначити, що подальшим кроком в декомпозиції функціональної моделі є створення діаграм А-43ху, де  $x$  – число, яке характеризує кількість виробництв різноманітної продукції в рамках підприємства (згідно діаграми А-43  $x$  змінюється від 1 до 6), а  $y$  – кількість технологічних процесів в рамках конкретного виробництва  $x$ . Таким чином для отримання функціональних моделей четвертого рівня, тобто переходу до операцій та дій в рамках конкретного технологічного процесу необхідно розробити певну кількість функціональних моделей, яка визначається співвідношенням

$$N_{mod} = \sum_{x=1}^6 y_x,$$

де  $N_{mod}$  –кількість моделей,  $x$  – кількість виробництв в рамках підприємства,  $y$ – кількість технологічних процесів кожного виробництва  $x$ .

Однак на практиці обмежуємося розробкою діаграм А-43х, а потім в їх

рамках обирають найбільш складні ("проблемні") технологічні процеси, для яких будуються діаграми послідовностей виконання операцій, використовуючи технологію IDEF3, та математичні моделі з метою подальшого їх аналізу з точки зору ефективного завантаження обладнання.

На рис.А.10-12 представлені діаграми, які описують конкретні технологічні процеси виробництва на підприємстві на рівні операцій: технологічний процес виготовлення АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг» заготовок для подальшого їх використання в крупно - та дрібносерійному виробництві (кувальний цех та цех лиття заготівельного виробництва) представлений на рис.А.10, технологічний процес виробництва втулок, валів, корпусних деталей (дрібносерійне виробництво, механозборочний цех) представлений на рис.А11 та технологічний процес виробництва деталей крупно серійного виробництва в метизному цеху зображено на рис.А12 відповідно. Описані технологічні процеси будуть формалізовані для подальшого їх аналізу розробленими математичними методами.

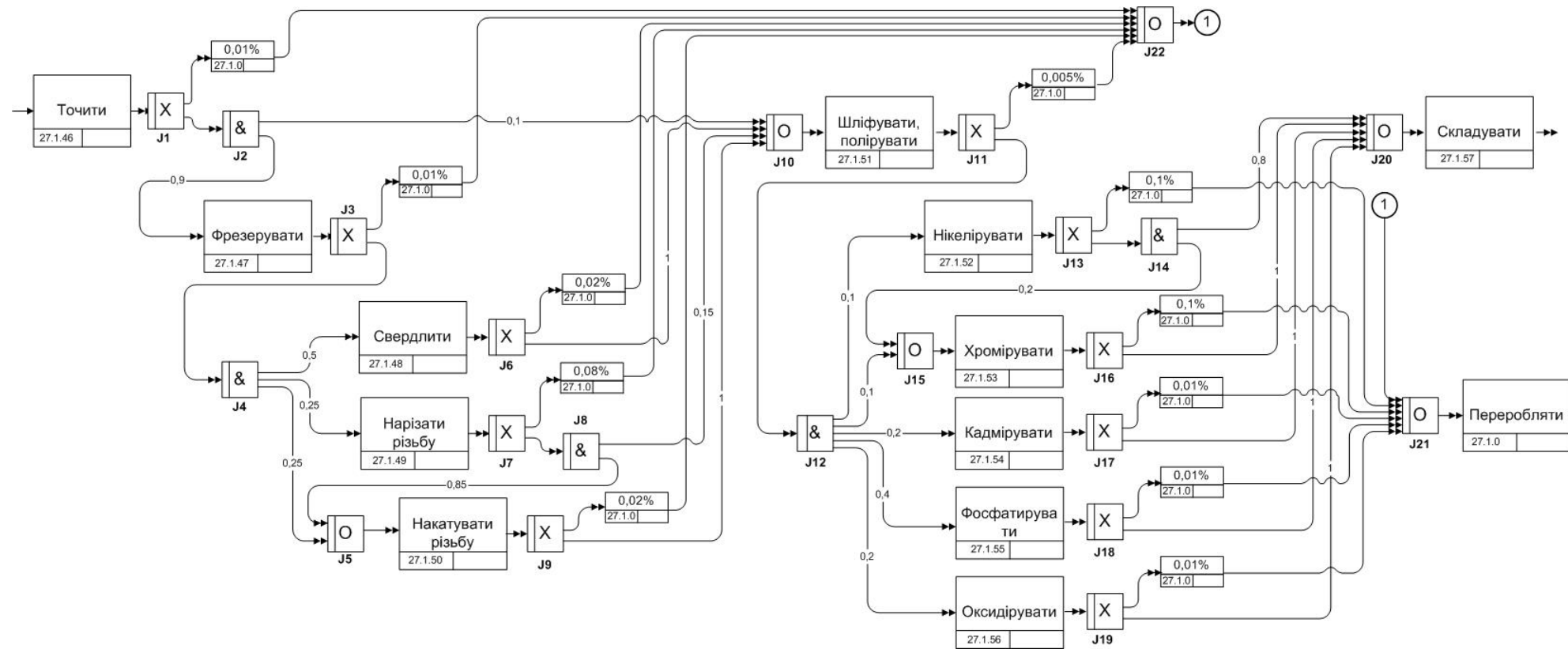


Рис.3.5. IDEF3-діаграма технологічного процесу обробки деталей  
(крупносерійне виробництво, метизний цех)

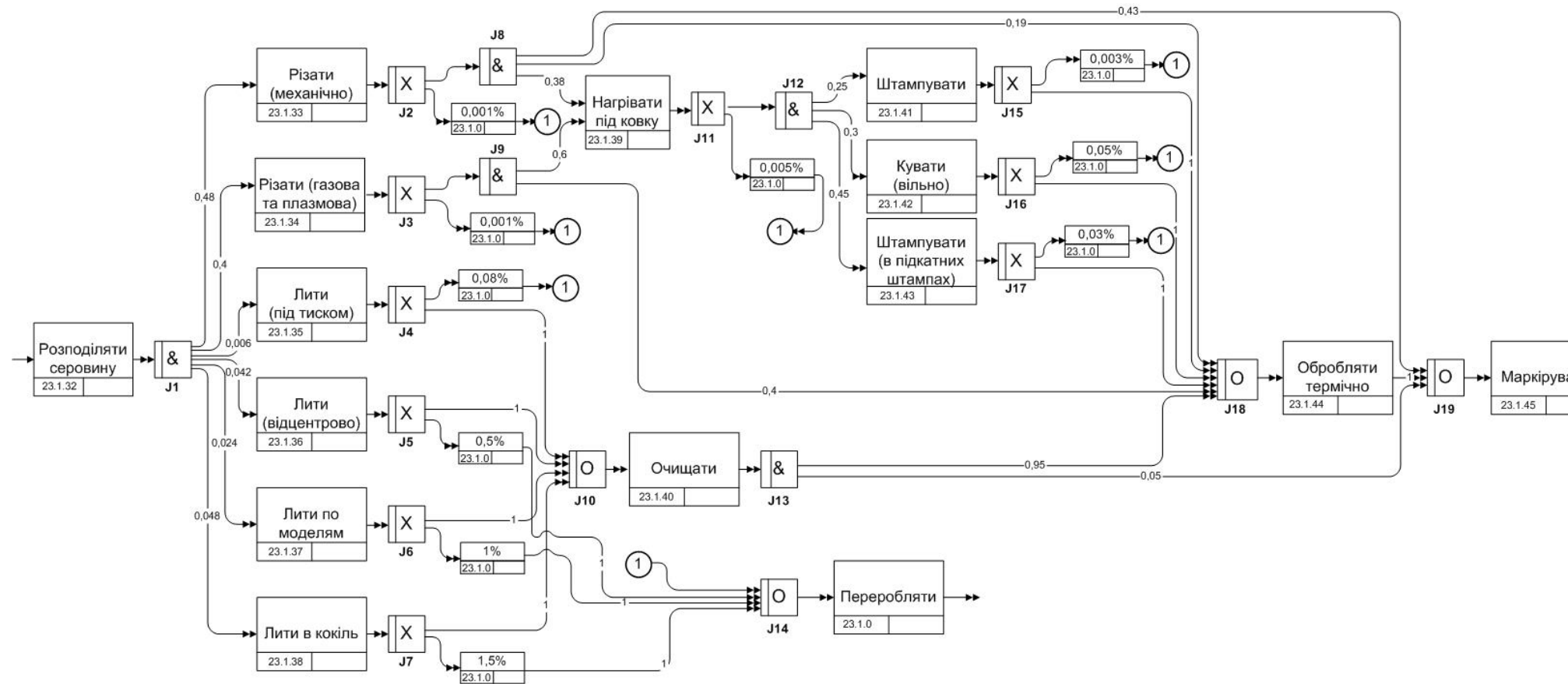


Рис.3.6. IDEF3-діаграма технологічного процесу виготовлення деталей заготовельного виробництва  
(кувальний цех та цех лиття)



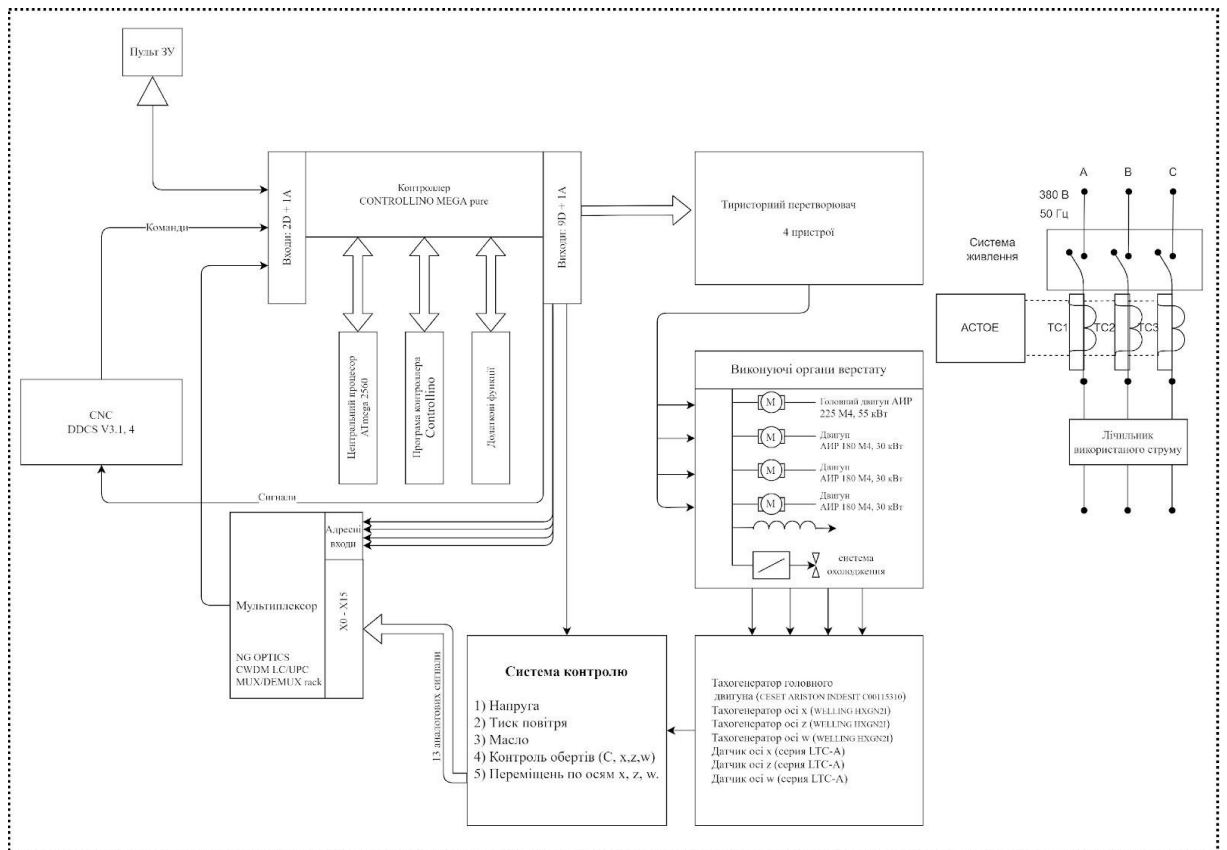


Рис.3.8. Структурна схема електроавтоматики координатно-розточувального верстату з ЧПУ

### 3.3. Розробка організаційної моделі промислового підприємства

Розглянемо практичну реалізацію описаного підходу щодо побудови організаційної моделі підприємства, використовуючи розроблену функціональну модель на прикладі функції "Здійснювати зовнішньоекономічну діяльність та маркетингові дослідження" (діаграма А-Ø, блок №2, рис.А.2). Діаграма А-Ø дає нам певне уявлення про місце цієї функції в загальній системі бізнес процесів підприємства. Так як мова йдеться про субдіяльність (група процесів) в рамках загальної діяльності підприємства, то механізмом для її виконання є організаційно-технічна підсистема, яка на цьому рівні деталізації відповідає департаментам та відділам організаційної структури підприємства. Але



відповісти на питання: яку функцію (підпроцес, операцію) виконує той чи інший департамент чи відділ практично не можливо. Для цього розглянемо подальшу деталізацію функції "Здійснювати зовнішньоекономічну діяльність та маркетингові дослідження", яка представлена діаграмою А-2 функціональної моделі (рис.А.4). Як видно з діаграми функція, яка аналізується, представлена групою підпроцесів: блоки №21 "Досліджувати ринок та рекламу", №22 "Здійснювати зовнішньоекономічну діяльність" і №23 "Здійснювати планування" та операцій–блок №24 "Готувати та забезпечувати виконання договорів". Розглянемо наступний рівень деталізації для кожної з розглянутих функцій–функціональні моделі третього рівнів (рівень організаційно-технічних модулів), які представлені діаграмами А-21, А-22, А-23, А-24. (рис.А.13-А.16).

Прокоментуємо деякі з діаграм з точки зору синтаксису. На діаграмах А-21, А-24 з'явилися новий вид стрілок, вихідні стрілки "Реклама", "Створення баз даних для дослідження ринку" діаграми А-21 та стрілка управління "Директиви" діаграми А-24 відповідно. Поняття "зв'язані стрілки" використовується для управління рівнем деталізації діаграм. Якщо одна із стрілок діаграми відсутня на діаграмі вищого рівня, як у випадку діаграм А-21, А-24 (наприклад, у зв'язку з несуттєвістю для верхнього рівня) і не пов'язана з іншими стрілками той же діаграми, точка входу цієї стрілки на діаграму або виходу з неї позначається тунелем. Тунель в даному випадку використовується як альтернатива великої кількості стрілок на діаграмах верхніх рівнів, що значно зменшує їх наглядність та робить практично неможливим їх читання.

Так стрілка "Створення баз даних для дослідження ринку" діаграми А-21 зображена в вигляді тунелю у зв'язку з тим, що створення баз даних здійснюється в рамках функціонального блоку А-21 для забезпечення ефективної роботи підрозділу підприємства, який є механізмом для виконання цієї функції. Щодо стрілки "Реклама", то результат функції "Здійснювати рекламу" (блок №213) надається безпосередньо в зовнішнє середовище і не є даними, які циркулюють на діаграмах вищих рівнів.

З теоретичної точки зору можливо здійснити перехід на ще нижчий рівень декомпозиції –рівень виконання дій персоналом або устаткуванням (рівень організаційно-технічних блоків), але з практичної точки зору це необхідно, коли здійснюється розрахунок необхідної чисельності персоналу та обладнання, розглядаються посадові обов'язки кожної особи підрозділу, тобто функціональні обов'язки в рамках здійснення функції.

“Слід зазначити, що в доповнення до контекстних діаграм та діаграм декомпозиції інші види діаграм, які можуть бути отримані з попередніх, дозволяються спростити представлення і розробку організаційної моделі. До таких типів діаграм відносяться” [15]:

#### 1. Діаграми "Тільки для представлення" (For Exposition Only–FEO).

Діаграма FEO використовується для пояснення частини процесу, відображення особливої точки зору або виділення функціональних деталей, які не можливо показати з використанням синтаксису IDEF0. Діаграма FEO може асоціюватися з будь-якою існуючою в моделі діаграмою, але не являється ієрархічною частиною моделі.

#### 2. Деревовидні діаграми.

Деревовидні діаграми використовуються для відображення структури моделі в цілому. В них, як правило, вершина (самий верхній вузол) відповідає діаграмі контекстного рівня. Однак в якості вершини може бути використаний будь-який функціональний блок моделі, при цьому його підблоки будуть показані в якості гілок дерева. Перегляд моделей з використанням деревовидних діаграм дозволяє акцентувати увагу на функціональній декомпозиції моделі безвідносно до існуючих всередині та зовні потоків, що робить ці діаграми дуже корисними з практичної точки зору під час побудови організаційних моделей, так як необхідно провести паралелі між функціями та механізмами на відповідних рівнях декомпозиції без урахування потоків даних.

Деревовидні діаграми діаграм А-2, А-21–А-24 представлені на рис.Б.1–Б.5 відповідно. На практиці для побудови організаційних моделей, розробка

функціональних моделей здійснюється з мінімальним рівнем деталізації.

Розроблені деревовидні діаграми А-2, А-21-24 надають можливість провести паралелі між функціями (блоки №№21-24, №№211-213, №№221-224, №№231-233, №№24-245) та механізмами і відповідно організаційними структурами, які їх виконують (рис.В.1-В.5)” [15].

Таким чином шляхом декомпозиції нами отримана організаційна модель підрозділів, які є механізмами для здійснення відповідних діяльностей в рамках функції "Здійснення зовнішньоекономічної діяльності та маркетингових досліджень" діаграма А-2. Структура загальної організаційної моделі підрозділів, які виконують зовнішньоекономічну діяльність може бути отримана шляхом композиції її структурних підрозділів, які були отримані з використанням деревовидних діаграм і зображена на рис.В.6. Слід зазначити, що розроблена організаційна модель є частиною загальної організаційної моделі підприємства і може удосконалюватися в процесі створення структурних підрозділів в залежності від нових задач підприємства.

#### 3.4. Структурний аналіз матеріальних потоків на промисловому підприємстві

“Функціональне моделювання з використанням методу IDEF0 є потужною сучасною технологією структурного аналізу та проектування складних систем, але воно надає спеціалісту предметної області інформацію лише про структуру бізнес-процесів та зв’язки між ними (рис.А10-А.16), що не дає уявлення про послідовність виконання функцій та інформацію, яка циркулює на підприємстві. А саме дослідження послідовності виконання функцій та структурний аналіз матеріальних потоків та потоків даних в процесі обміну інформацією в рамках функціональних моделей 2-4-х рівнів дають змогу формалізувати інформаційне середовище підприємства з математичної точки зору і отримати його кількісні характеристики. Таким чином, розробка діаграм

послідовності виконання функцій та інформаційної моделі підприємства є невід’ємною складовою структурного системного аналізу може бути здійснена за допомогою методів IDEF3 та IDEF1, IDEF1X, DFD відповідно” [15].

Розглянуто три найбільш складних з точки зору їх аналізу технологічних процесу, які охоплюють заготівельне виробництво, дрібно та крупно серійне виробництво.

Для коректної ідентифікації дій в моделі з багатьма декомпозиціями схема нумерації дій включає в себе окрім номеру дії та номеру його батьківської дії, ще й номер декомпозиції (рис.3.8) [17].

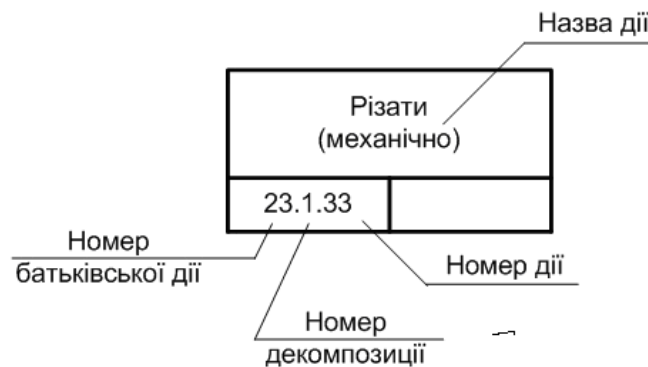


Рис.3.8. Зображення та нумерація дій на діаграмах IDEF3

На діаграмах присутні блоки (рис.3.9), які описують дії відбраковки деталей (заготовок).

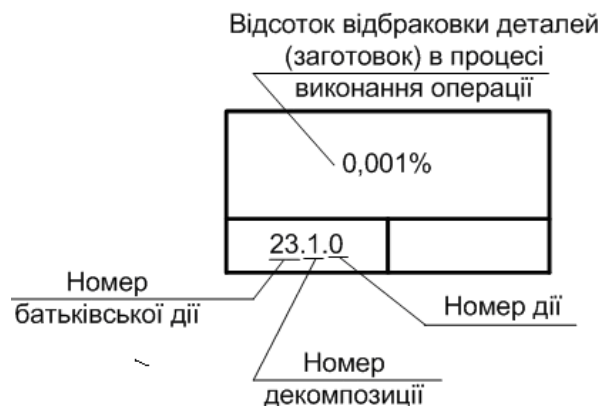


Рис.3.9. Блок, який описує дію відбраковки

“Для спрощення та зручності читання діаграм і їх використання для подальшого математичного моделювання, назва блока “Відбраковка”

замінена конкретною цифрою, яка вказує відсоток відбракованих деталей в процесі здійснення конкретної операції. Ще одним елементом діаграм є зв'язки, які виділяють суттєві взаємовідношення між блоками (операціями, діями) (рис.3.10) [15]. Всі зв'язки є одно напрямленими, а діаграми побудовані зліва на право, починаючи з першої операції і закінчуючи останньою.

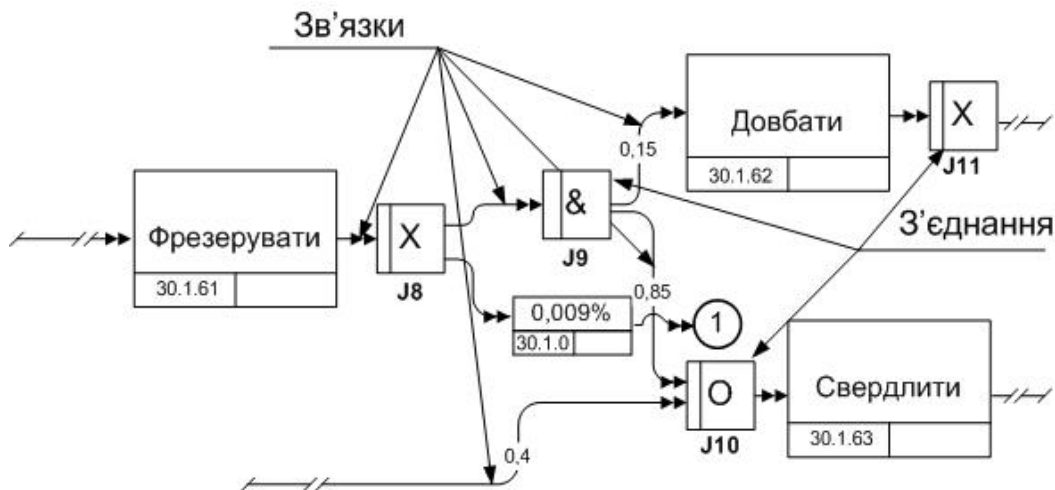


Рис.3.10. Фрагмент діаграми, який демонструє зображення зв'язків та з'єднань

“Для створення IDEF3 моделей розглянутих технологічних процесів використовуються зв'язки типу об'єктного потоку (Object flow) [15]. Причиною використання зв'язку типу об'єктний потік є те, що заготовки (деталі), які є результатом виконання вихідної дії, необхідні для виконання кінцевої дії. Як правило на IDEF3 діаграмах найменування потокових зв'язків повинні ідентифікувати об'єкт, який передається за їх допомогою. У випадку діаграм (рис.3.5-3.7) під об'єктами розуміються заготовки (деталі), які переміщуються від одного станка до іншого після виконання певної операції. Над стрілками вказується доля заготовок (деталей), яка передається в кожен гілку вихідного потоку” [15].

“З'єднання розбивають або поєднують внутрішні потоки об'єктів (табл. 3.2)” [16, 19].

Таблиця 3.2.

## Типи з'єднань в моделях IDEF3

Графічне зображення	Назва	Вид	Правила ініціалізації
	З'єднання “І”	Розгортання	Кожна кінцева операція обов'язково ініціюється
		Згортання	Кожна вихідна операція обов'язково повинна закінчитися
	З'єднання “Ексклюзивне АБО”	Розгортання	Одна і тільки одна кінцева операція ініціюється
		Згортання	Одна і тільки одна вихідна операція повинна завершитися
	З'єднання “АБО”	Розгортання	Одна (або більше) кінцева операція ініціюється
		Згортання	Одна (або більше) вихідна операція повинна завершитися

Слід зазначити, що в розглянутих діаграмах використовувалися тільки асинхронні типи з'єднань, що не передбачає одночасний початок операцій, які ініціюються з'єднанням розгортання.

Створені IDEF3 діаграми –це спосіб описання технологічних процесів, який використовується для опису послідовності виконання окремих операцій з одночасним описанням об'єктів, які мають безпосереднє відношення до цих процесів і дозволяють виявити [15]:

1. “Послідовність виконання операцій (проходження заготовок або деталей під час обробки від одного станка до іншого) в рамках конкретного технологічного процесу.

2. Відсоток відбракованих заготовок (деталей) після виконання кожної технологічної операції.

3. Долю заготовок (деталей), яка приходить в кожен станцію обслуговування (група однотипних верстатів, станків, які працюють паралельно), оскільки розглянуті технологічні процеси мають розподілену структуру” [15].

### Висновки по розділу

1. Розроблено основні етапи реінжиніринга бізнес-процесів промислового підприємства, запропоновані основні принципи, методи та інструментарій реінжиніринга, а також основні фактори успішності проекту з моделювання. Обрана послідовність етапів реінжиніринга.

2. Побудовано функціональну модель бізнес-процесів промислового підприємства з використанням реально існуючих функцій, їх властивостей та зв'язків між ними. Рівень декомпозиції побудованої моделі дозволяє перейти до рівня операцій та дій, що дає змогу використовувати її як базову для розробки організаційної, інформаційної та математичної моделей.

3. Шляхом декомпозиції побудовано частину організаційної моделі підприємства, підрозділи якої є механізмами для реалізації функцій, детально описаних в функціональній моделі. Механізм побудови організаційної моделі, розглянутий в роботі є цікавим з практичної точки зору і може бути використаний для побудови організаційної моделі будь-якої складності.

4. Використовуючи метод IDEF3, було зроблено структурний аналіз матеріальних потоків на промисловому підприємстві як основи розробки інформаційних моделей.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ПРОГРАМНА ТА АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Розділ присвячений висвітленню питань розробки програмного забезпечення для реалізації аналітичної математичної моделі, розробленої в підрозділі 2.4. та аналітичного дослідження найбільш складних технологічних процесів підприємства АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг» з точки зору їх ефективності, як однієї з задач реінжинірингу виробництва за допомогою розробленого програмного забезпечення. Наступним питанням є алгоритмічна реалізація методики побудови інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства як основна задача магістерської роботи.

4.1. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення для реалізації розробленої математичної моделі технологічних процесів промислового підприємства

Основою для розробки програмного забезпечення є аналітична математична модель, розроблена в підрозділі 2.4. Як зазначалося в підрозділі 2.5, для розробки програмного забезпечення необхідно використовувати мову програмування, орієнтовану на алгоритми та правила, що пов'язано з функціональною направленістю розроблених моделей. В якості програмного середовища було обрано мову програмування високого рівня, яка була адаптована спеціально для здійснення складних математичних розрахунків.



Алгоритм розробки програмного забезпечення в загальному вигляді (рис.4.1) включає в себе вісім етапів і представляє ітеративний процес з можливим зверненням до попередніх етапів під час тестування розробленого програмного забезпечення.



Рис.4.1. Алгоритм розробки програмного забезпечення

Робота розробленого ПЗ для кількісного аналізу завантаження обладнання технологічних ліній може бути представлена у вигляді алгоритму (рис.4.2), який складається з десяти блоків.

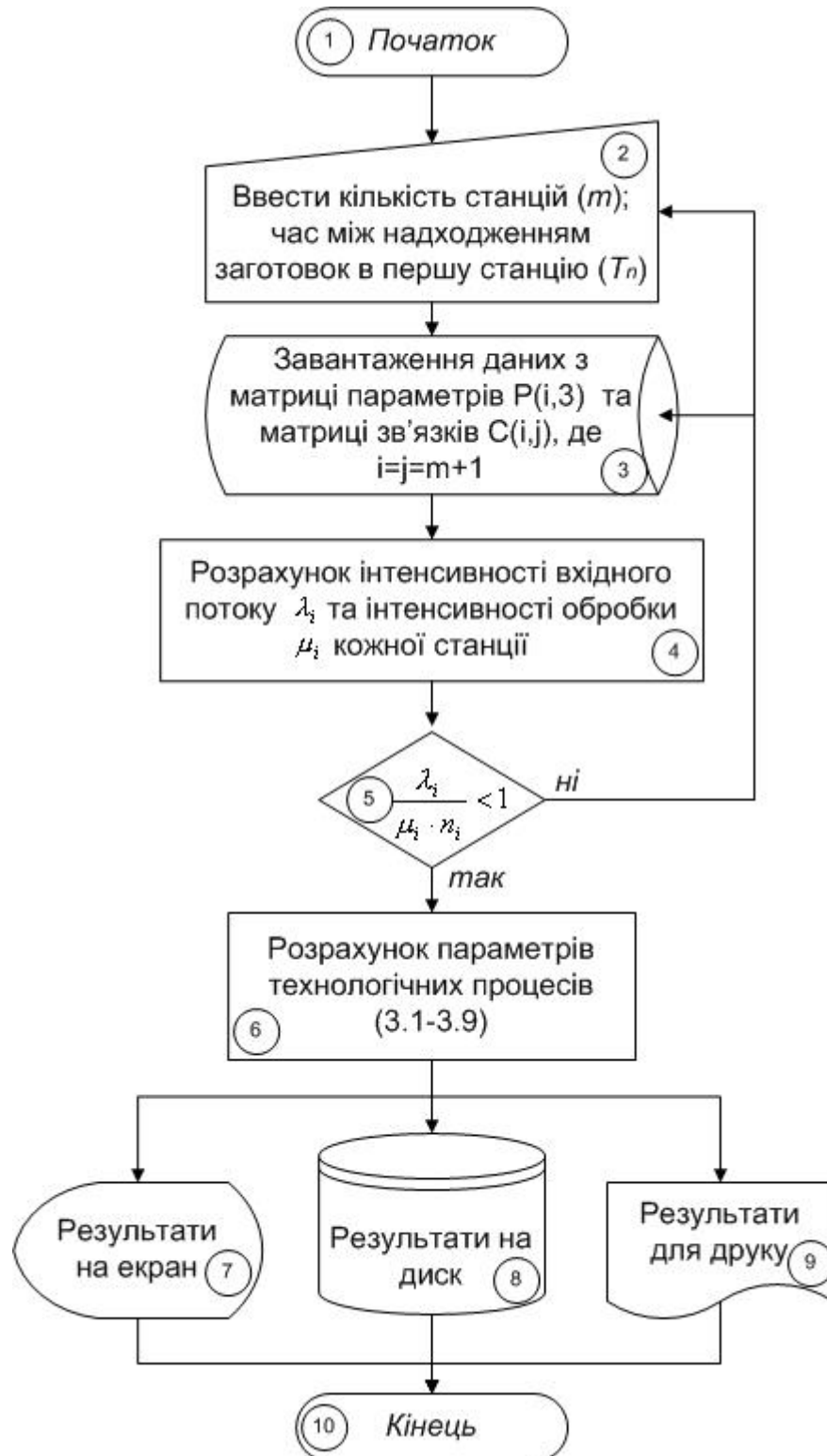


Рис.4.2. Загальний алгоритм роботи програмного забезпечення

“Блок №1 “Початок” відповідає за ініціалізацію розрахунків, тобто за функціонування розробленого коду програми у відповідному програмному середовищі. Під час ініціалізації у пам’ять комп’ютера вводяться постійні параметри, які будуть використовуватися у розрахунках, створюються динамічні матриці для завантаження даних та збереження проміжних розрахунків” [13].

“Блоки №№2,3 відповідають за введення початкових даних для здійснення розрахунків. Блок №2 ініціює діалоговий режим введення кількості станцій обслуговування та інтенсивність потоку на вході технологічної лінії, яка визначається часом надходження заготовок (деталей) на вхід першої станції обслуговування. Блок №3 ініціює завантаження даних з двох матриць: матриці параметрів обладнання та матриці зв’язків” [13].

Матриця параметрів  $P(i,3)$  має вигляд

$$P(i,3) = \begin{pmatrix} p_{01} & p_{02} & p_{03} \\ p_{11} & p_{02} & p_{03} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & p_{mm} \end{pmatrix}, \quad (4.1)$$

де  $p_{i1}$  – середній час обробки  $\mu_i$  в одному каналі  $i$  СО  $i = \{1 \dots m\}$ , в годинах;

$p_{i2}$  – доля відбракованих деталей в СО з урахуванням всіх каналів;

$p_{i3}$  – чисельність каналів в  $i$ -й СО;

$$p_{01} = \sum_{i=1}^m p_{i1}, \quad p_{02} = 0, \quad p_{03} = \sum_{i=1}^m p_{i3}.$$

Під терміном теорії масового обслуговування “станція обслуговування” з  $n$  каналами розуміється дільниця технологічної лінії, яка складається з  $n$  однотипних верстатів, працюючих паралельно (рис.4.3). На рисунку наведено частину технологічного процесу (IDEF3-діаграма–рис.3.7) з зображенням кількості верстатів кожної станції обслуговування.

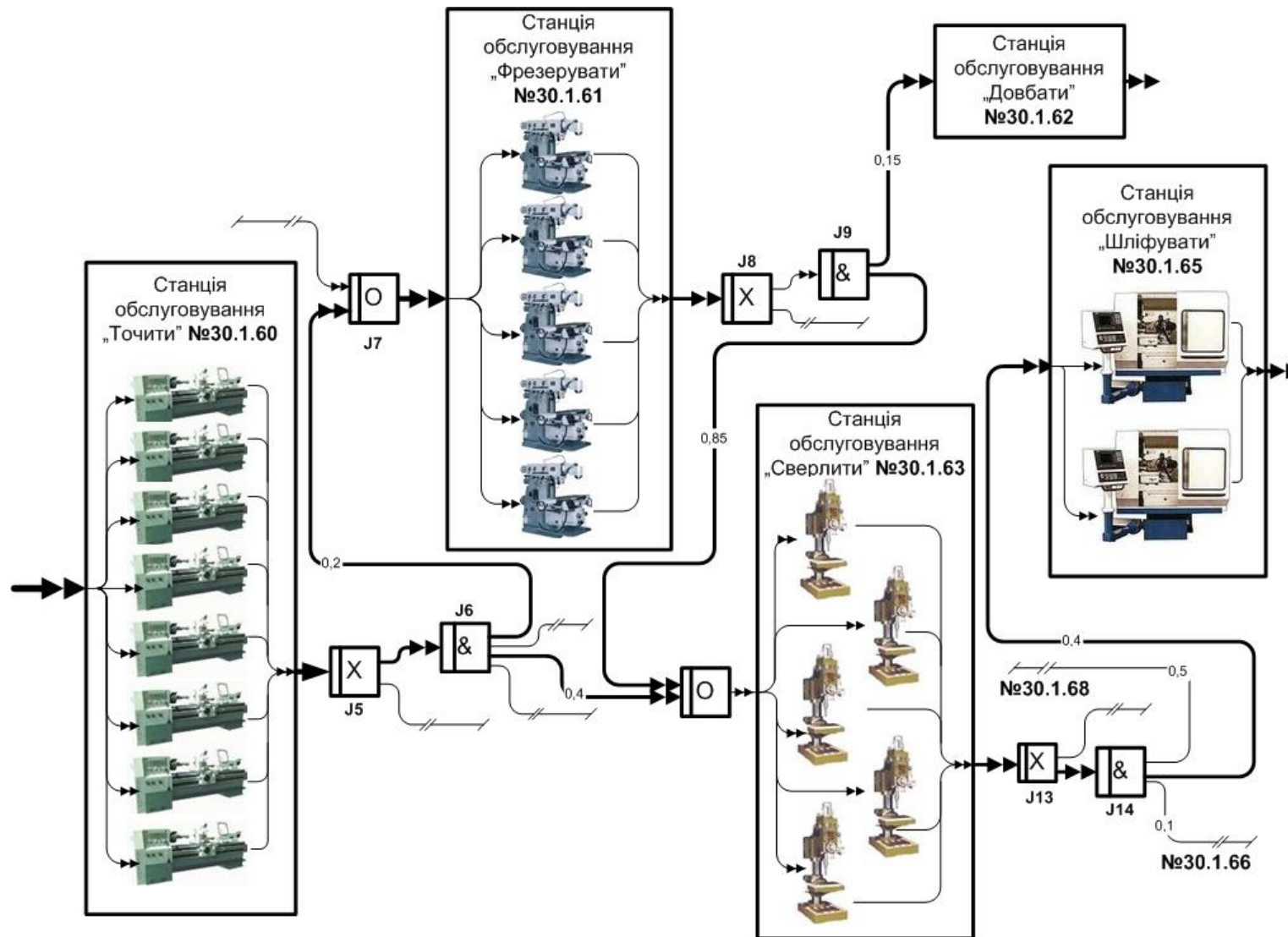


Рис.4.3. Станції обслуговування технологічних ліній обробки

Матриця зв'язків  $C(i, j)$  має вигляд

$$C(i, j) = \begin{pmatrix} c_{00} & c_{01} & \dots & c_{0m} \\ c_{10} & c_{11} & \dots & c_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m0} & c_{m1} & \dots & c_{mm} \end{pmatrix}, \quad (4.2)$$

де  $i = j = \{0 \dots m\}$

$$c_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{поток заготовок не передається від станції } i \text{ до станції } j \\ 0 \div 1, & \text{доля заготовок, яка передається від станції } i \text{ до станції } j \end{cases}$$

Елемент матриці  $c_{01} = 1$  моделює контекстну діаграму А-0 та ініціює потік заготовок (деталей) на вході в першу станцію обслуговування. Для заповнення елементів матриці зв'язків необхідно використовувати числа, вказані на стрілках типу “об’єктний потік” діаграм IDEF3 (рис.3.5-3.7).

“В блоках №№4-6 алгоритму здійснюється безпосередньо розрахунок параметрів технологічного процесу. Детальний алгоритм роботи цих блоків (рис.4.4) пояснює послідовність виконання розрахунків. Розрахунок реалізовано трьома вкладеними циклами: цикл №1 є загальним циклом по  $m$  (кількість станцій обслуговування) для розрахунку параметрів кожної станції. Спочатку здійснюється розрахунок інтенсивності вхідних потоків (цикл №2 по  $k$ ) та інтенсивність обробки для кожної станції (блок №4), а потім, в блоці №5, перевірка виконання умови нормального функціонування станції обслуговування (3.1). У разі не виконання умови необхідно корегувати відповідні елементи матриці параметрів (наприклад, кількість каналів станції обслуговування), або матриці зв'язків, перерозподіляючи долю заготовок, які надходять в станцію обслуговування. Таким чином, вирішується задача оптимізації, де критерієм виступає умова (3.1). Цикл №3 по  $d$  організовано для допоміжних розрахунків факторіалів та сум, які входять до формул 3.3–3.9. В блоці №6 реалізовано розрахунок параметрів технологічного процесу за формулами 3.1–3.9. Блоки №№7-9 відповідають за вивід результатів на екран, їх друк та збереження на носію” [15].

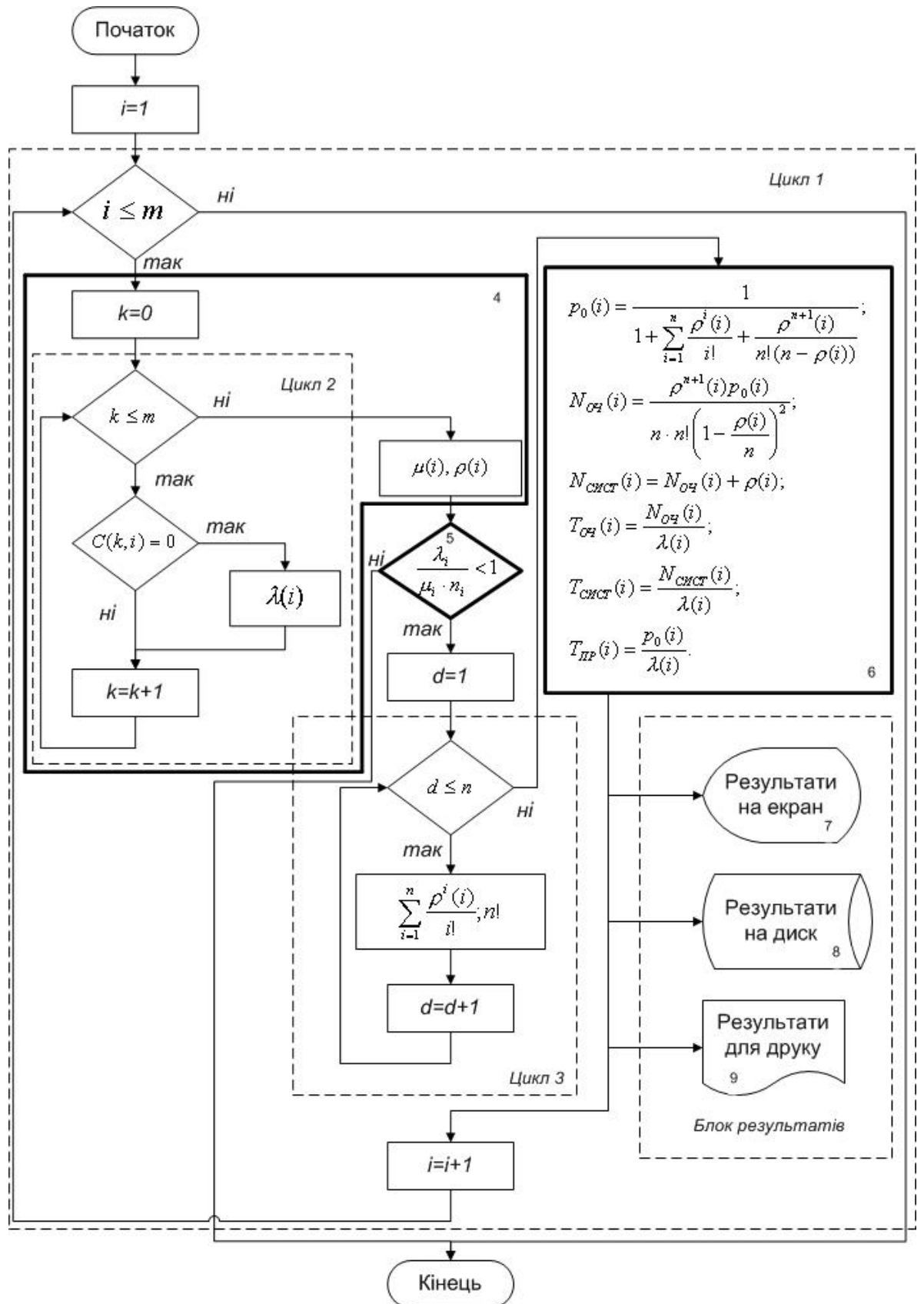


Рис.4.4. Алгоритм розрахунків параметрів технологічних процесів  
Фрагмент лістингу програми наведений в додатку Г.

#### 4.2. Аналітичне дослідження технологічних процесів промислового підприємства.

Аналітичне дослідження технологічних процесів, діаграми IDEF3 яких були розроблені в підрозділі 3.4 (рис.3.5-3.7) представляє практичну цінність у зв'язку зі складністю цих процесів з погляду їх структури та кількості станцій обслуговування. Дані технологічні процеси є критичними для всього циклу виробництва в цілому, оскільки мова йдеться про заготівельне, дрібно та крупно серійне виробництво. Проаналізуємо детально кожний з трьох технологічних процесів з використанням розробленої математичної моделі та програмного забезпечення для її реалізації.

##### 4.2.1. Технологічний процес обробки деталей крупно серійного виробництва в метизному цеху.

Використовуючи діаграму IDEF3 (рис.3.5) та характеристики обладнання, яке входить до складу технологічної лінії, заповнимо матриці параметрів (4.1) та зв'язків (4.2). Для зручності введемо нумерацію станцій обслуговування, яка починається з номеру 1 (табл.4.1).

Таблиця 4.1.

Відповідність номерів станцій обслуговування на діаграмах IDEF3 індексам  $i$  матриці  $P(i,3)$  та  $i,j$  матриці  $C(i, j)$ .

Ідентифікаційний номер станції на діаграмі IDEF3	Індекс $i$ матриці $P(i,3)$ та $i,j$ матриці $C(i, j)$
27.1.46	1
27.1.47	2
27.1.48	3
27.1.49	4

27.1.50	5
27.1.51	6
27.1.52	7
27.1.53	8
27.1.54	9
27.1.55	10
27.1.56	11

Станції обслуговування “Переробляти” (№27.1.0), “Складування” (№27.1.57) та “Відбраковка” (27.1.0–11 штук) не враховується при розрахунках як такі, що не впливають на хід розрахунків. Доля відбракованих деталей враховується при розрахунках потоків на входах відповідних станцій (3.2).

“Матриця параметрів на початок розрахунків

$$P(i,3) = \begin{pmatrix} 13.25 & 0 & 22 \\ 1.6 & 0.0001 & 6 \\ 0.8 & 0.0001 & 2 \\ 1.2 & 0.0001 & 2 \\ 0.15 & 0.0008 & 2 \\ 0.1 & 0.0002 & 2 \\ 2.0 & 0.00005 & 2 \\ 2.5 & 0.001 & 1 \\ 2.5 & 0.001 & 1 \\ 0.8 & 0.0001 & 1 \\ 0.8 & 0.0001 & 1 \\ 0.8 & 0.0001 & 2 \end{pmatrix}$$

дозволяє зробити висновок про те, що технологічна лінія складається з 11 СО, більшість з яких мають більше одного каналу обробки, середній час обробки коливається від 0,1 години до 2,5 годин в залежності від характеристик конкретного верстата, а доля відбракованих деталей знаходиться в діапазоні від 0.00005 до 0.0008. Матриця зв'язків має вигляд” [15]



$$C(i, j) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.85 & 0.15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Результат моделювання з використання початкових вхідних матриць вказує на можливість реалізації технологічного процесу з такою структурою при максимальній інтенсивності вхідного потоку заготовок  $\lambda=1$ , що обумовлено граничним значення умови нормального функціонування (3.1) станції №27.1.51, яке дорівнює 0,999 (рис.4.5) і при подальшому збільшенні інтенсивності вхідного потоку виходить за припустимі межі, що призводить до накопичування заготовок на її вході (рис.4.6).

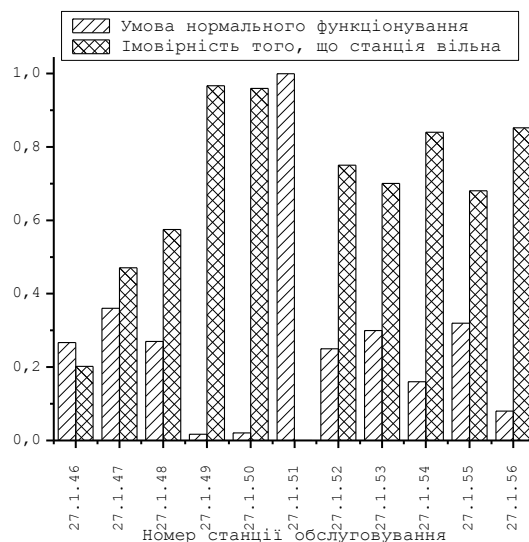


Рис.4.5. Умови нормального функціонування станцій та імовірність того, що станція вільна

Як видно з аналізу середньої кількості заготовок, які перебувають в черзі на обробку та в системі (рис.4.6), інтенсивність обробки станцій №№27.1.46-27.1.50, 27.1.52-27.1.56 забезпечує такий режим обробки заготовок, при якому черги на входах станцій обслуговування не створюються, а кількість заготовок в системі не перевищує кількість каналів, що призводить до великого часу простою зазначених станцій (рис.4.7). Аналіз інтенсивності обробки СО №27.1.46 вказує, що інтенсивність потоку на вході можливо збільшити більш ніж втричі, тобто  $\lambda = 3,75 \text{ год}^{-1}$ .

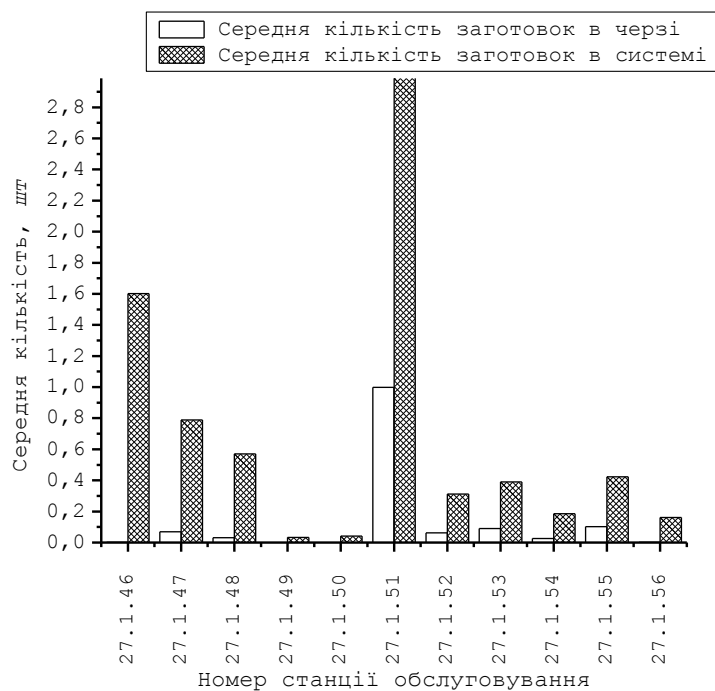


Рис.4.6. Середня кількість заготовок, які перебувають в черзі та в системі відповідно

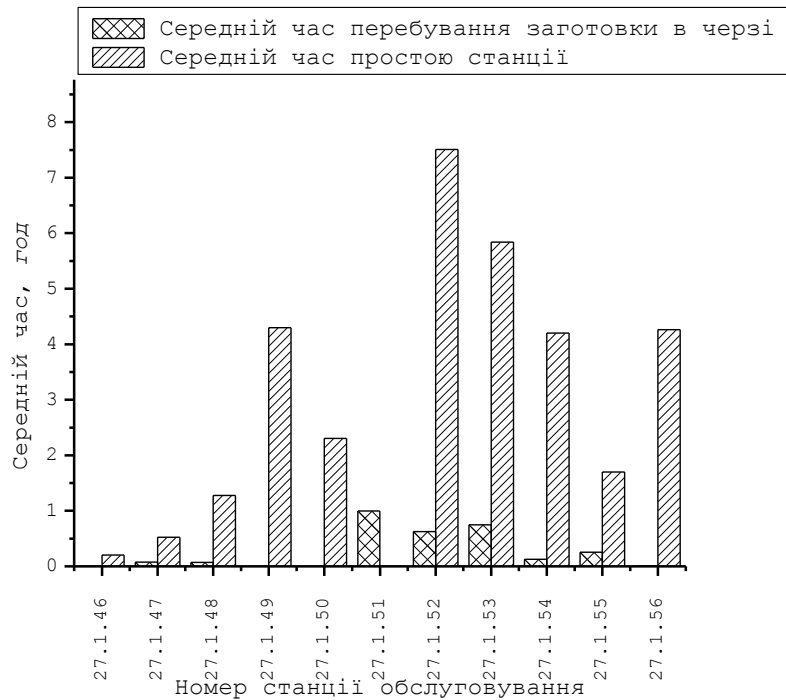


Рис.4.7. Середній час перебування заготовок в черзі та простою станцій

“Але це призводить до створення черги на вході СО №27.1.47 оскільки

$\frac{\lambda_2}{\mu_2 n_2} = 1,33 > 1$ . Як розглядалося в підрозділі 3.6 дана проблема вирішується

шляхом збільшення кількості СО, або заміни старих СО новими, більш потужними, що вимагає економічного обґрунтування обох шляхів. Оскільки питання економічного обґрунтування не розглядається, розглянемо найбільш прийнятний для моделювання шлях–встановлення СО, яка працює паралельно, тобто  $n_2 = 3$ . Це призводить до нормалізації функціонування СО

№27.1.47 ( $\frac{\lambda_2}{\mu_2 n_2} = 0,89 < 1$ ), але ж відбувається вихід за припустимі межі

вхідного потоку СО №27.1.51, як зазначалося раніше ( $\frac{\lambda_6}{\mu_6 n_6} = 3,7 > 1$ ).

Моделювання показує, що для виконання умови (3.1) необхідно збільшити кількість каналів СО №27.1.51 до 8, тобто  $n_6 = 8$  ( $\frac{\lambda_6}{\mu_6 n_6} = 0,925 < 1$ ). Збільшення

інтенсивності обробки СО №27.1.51 призводить до зростання черги на вході

СО №27.1.53 та №27.1.55 ( $\frac{\lambda_8}{\mu_8 n_8} = 1,11 > 1$  та  $\frac{\lambda_{10}}{\mu_{10} n_{10}} = 1,18 > 1$  відповідно).

Збільшення кількості каналів ( $n_8 = 2, n_{10} = 2$ ) дозволяє виключити можливість появи черги на входах зазначених СО та організувати технологічний процес з максимально припустимою інтенсивністю потоку заготовок на вході першої СО” [15]. Результати моделювання (рис.4.8-4.10) дозволяють зробити наступні висновки:

1. Умова нормального функціонування практично всіх СО (крім №№27.1.49, 27.1.50) знаходяться в діапазоні від 0,5 до 1, що свідчить про збільшення навантаження на обладнання та використання практично повної його виробничої потужності (рис.4.8).

2. Збільшення навантаження на обладнання (вхідного потоку) призвело до збільшення заготовок, які одночасно знаходяться в системі (рис.4.9).

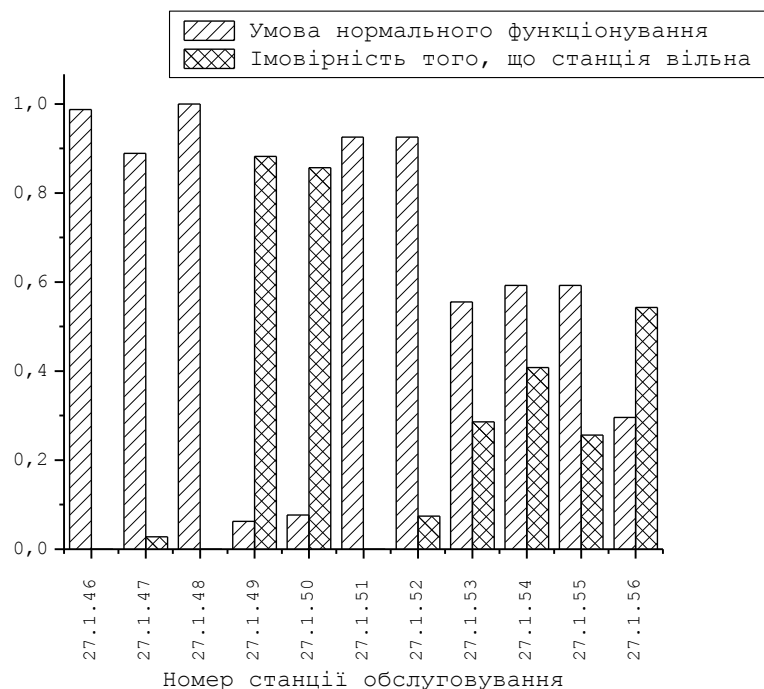


Рис.4.8. Умови нормального функціонування станцій та імовірність того, що станція вільна

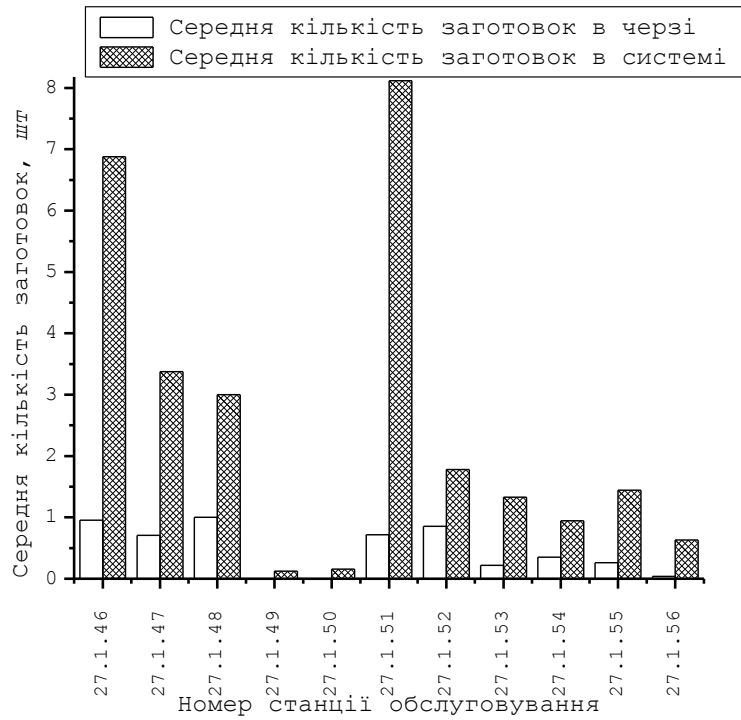


Рис.4.9. Середня кількість заготовок, які перебувають в черзі та в системі відповідно

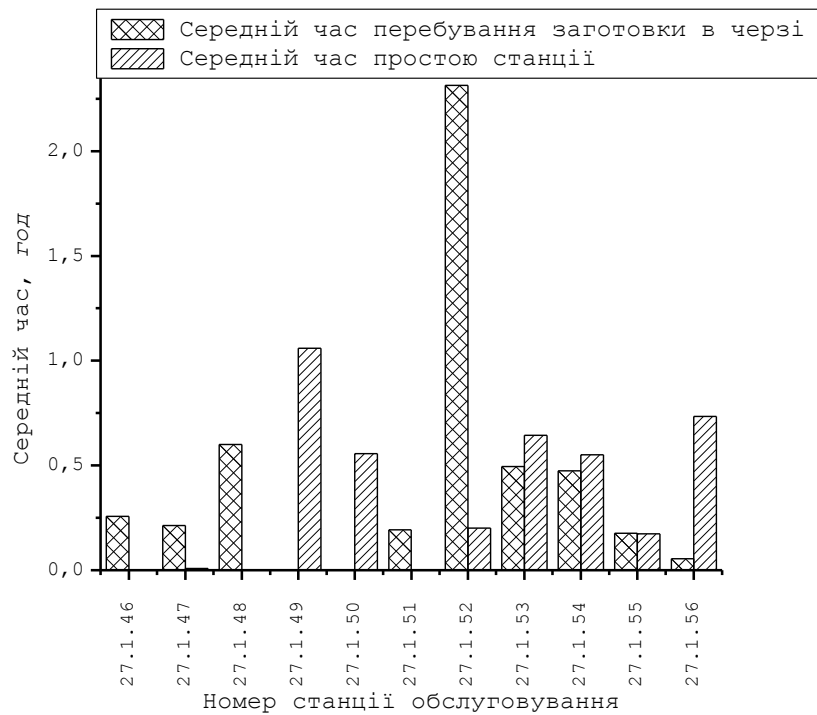


Рис.4.10. Середній час перебування заготовок в черзі та простою станцій

3. Суттєво зменшився середній час простою станцій (рис.4.10). Практично не завантаженими залишаються станції №№27.1.49, 27.1.50 та 27.1.56, що пов'язане з великою інтенсивністю обробки в цих каналах та невеликим вхідним потоком. Можливо зменшити кількість каналів обробки в цих СО без втрати інтенсивності проходження деталей, що дасть змогу зарезервувати частину обладнання для подальшого його використання.

Порівняльна характеристика середнього часу простою обладнання на початку аналізу та після внесення відповідних змін в структуру технологічного процесу в ході його аналізу (рис.4.11) дає змогу зробити висновок про суттєве збільшення його ефективності з точки зору завантаження обладнання. Діаграма (рис.4.11) відображує два варіанти інтенсивностей на вході технологічної лінії обробки деталей. Перший варіант відповідає інтенсивності  $\lambda = 1200\text{год}^{-1}$  і структурі технологічного процесу, яка вже існує. Другий варіант показує середній час простою СО при збільшеній інтенсивності протікання процесу ( $\lambda = 3,75200\text{год}^{-1}$ ) та характеризується відповідними змінами у структурі процесу.

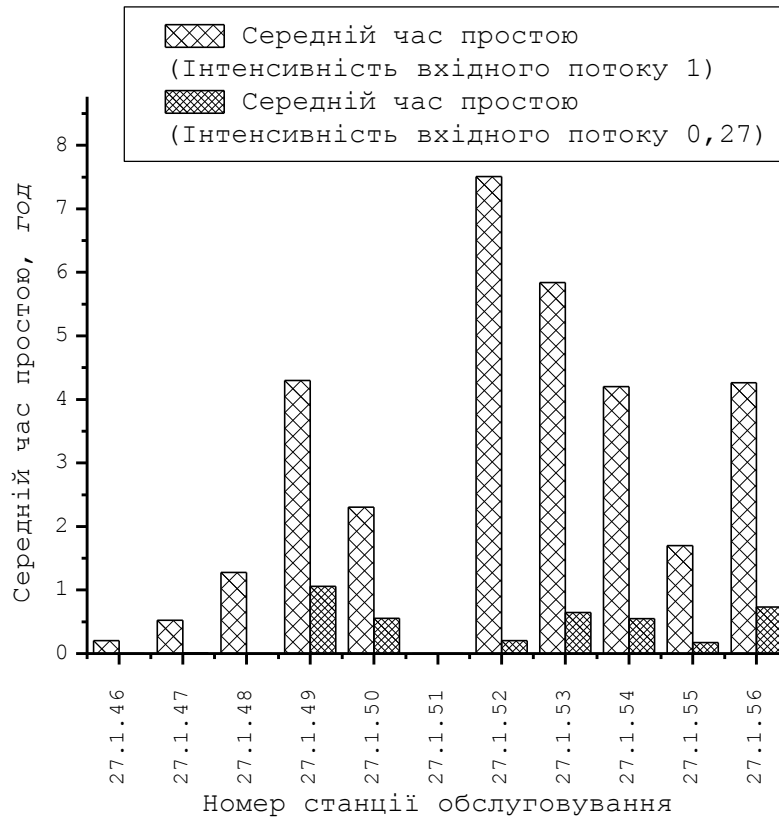


Рис.4.11. Порівняльний аналіз середнього часу простою станцій обслуговування

Матриця параметрів (4.1), яка відповідає змінам, внесеним в структуру технологічного процесу має вигляд

$$P(i,3) = \begin{pmatrix} 13.25 & 0 & 28 \\ 1.6 & 0.01 & 6 \\ 0.8 & 0.01 & 3 \\ 1.2 & 0.01 & 2 \\ 0.15 & 0.08 & 1 \\ 0.1 & 0.02 & 1 \\ 2.0 & 0.005 & 8 \\ 2.5 & 0.1 & 1 \\ 2.5 & 0.1 & 2 \\ 0.8 & 0.01 & 1 \\ 0.8 & 0.01 & 2 \\ 0.8 & 0.01 & 1 \end{pmatrix}.$$

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в процесі аналізу технологічного процесу було знайдено “вузькі” місця, що дозволило шляхом

корегування структури процесу суттєво збільшити завантаження обладнання (рис.4.12).

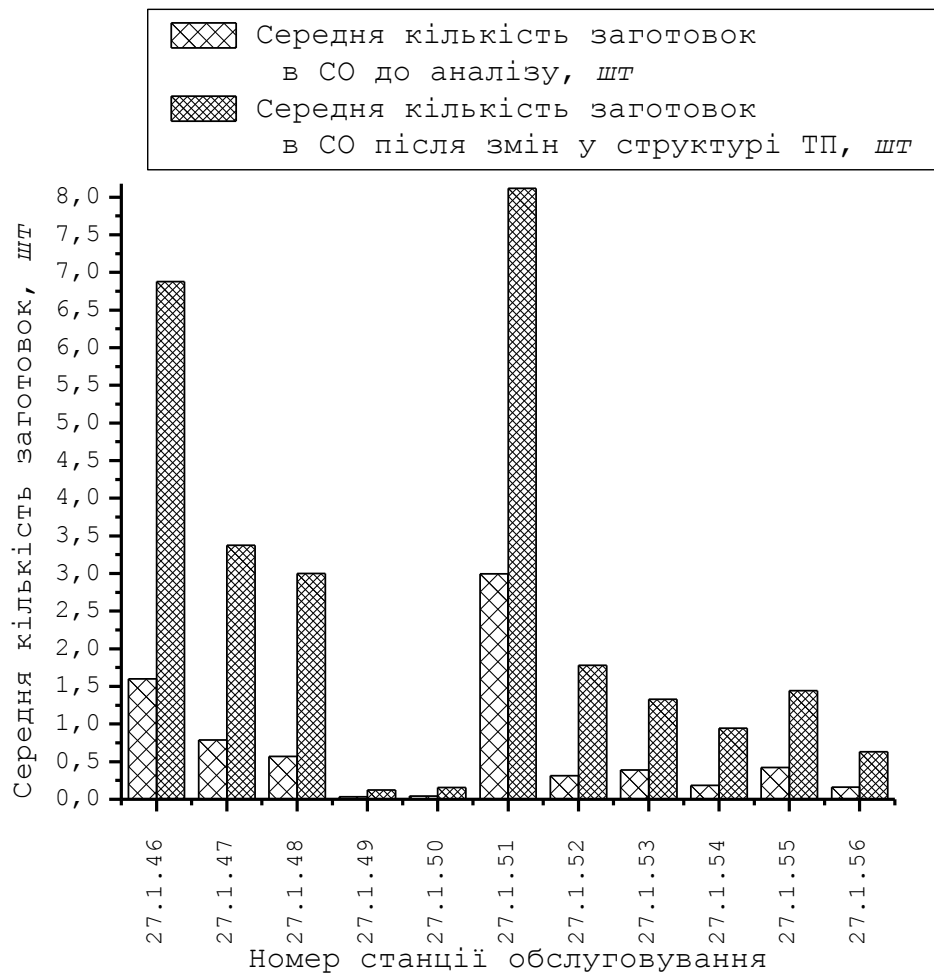


Рис.4.12. Порівняльний аналіз завантаження станцій обслуговування

Здійснені структурні зміни в технологічному процесі дозволили суттєво збільшити інтенсивність всього процесу (рис.4.11) та зменшити кількість верстатів, які практично простоювали.

“Розглянутий варіант аналізу технологічного процесу може корегуватися в залежності від задач, які були поставлені на початку процесу моделювання” [15].

#### 4.3. Методика побудови інтегрованого інформаційного середовища промислового підприємства



Розглянуті в попередніх розділах магістерської роботи “теоретичні основи та практична реалізація розробки моделей бізнес-процесів промислового підприємства, як одного з найскладніших етапів реінжинірингу в процесі створення ІС підприємства, дозволяють розглянути їх місце у загальному алгоритмі побудови ІС та визначити їх зв’язок з іншими етапами. Таким чином буде створено єдиний структурований підхід до розробки ІС промислового підприємства” [34].

“Принцип спільного використання та обміну інформацією між різними етапами життєвого циклу виробу, який декларується у рамках загальної методології CALS, вимагає створення методів і засобів, які забезпечують інформаційну інтеграцію різноманітних додатків, які реалізують зазначені етапи життєвого циклу. Процес впровадження CALS технологій на конкретному промисловому підприємстві (або групі підприємств) приводить до створення ІС, яке поєднує АС, які автоматизують окремі етапи ЖЦ виробу: системи управління маркетингом, CAD/CAM/CAE, PDM, ERP (MRP, MRPII), і т.ін” [32].

“Методика створення ІС промислового підприємства (рис.4.21) представлена у вигляді діаграми IDEF3, як послідовність кроків, які реалізують методологію CALS щодо інформаційної підтримки ЖЦ виробу” [36]. Розглянемо детально кожний з етапів, запропонованої методики.

Етап №1. “Формування робочої групи. Початковий етап побудови ІС на підприємстві—формування і підготовка робочої групи впровадження. Дуже важливим під час створення групи впровадження враховувати те, що фахівці відповідних спеціальностей, які ввійдуть до складу групи, повинні працювати постійно, до кінця побудови ІС, для збереження спадкоємності рішень. Фахівці групи повинні пройти навчання для підвищення кваліфікації в галузі CALS технологій та володіти загальною концепцією створення ІС та орієнтуватися в питаннях загального реінжинірингу підприємства, реінжині-

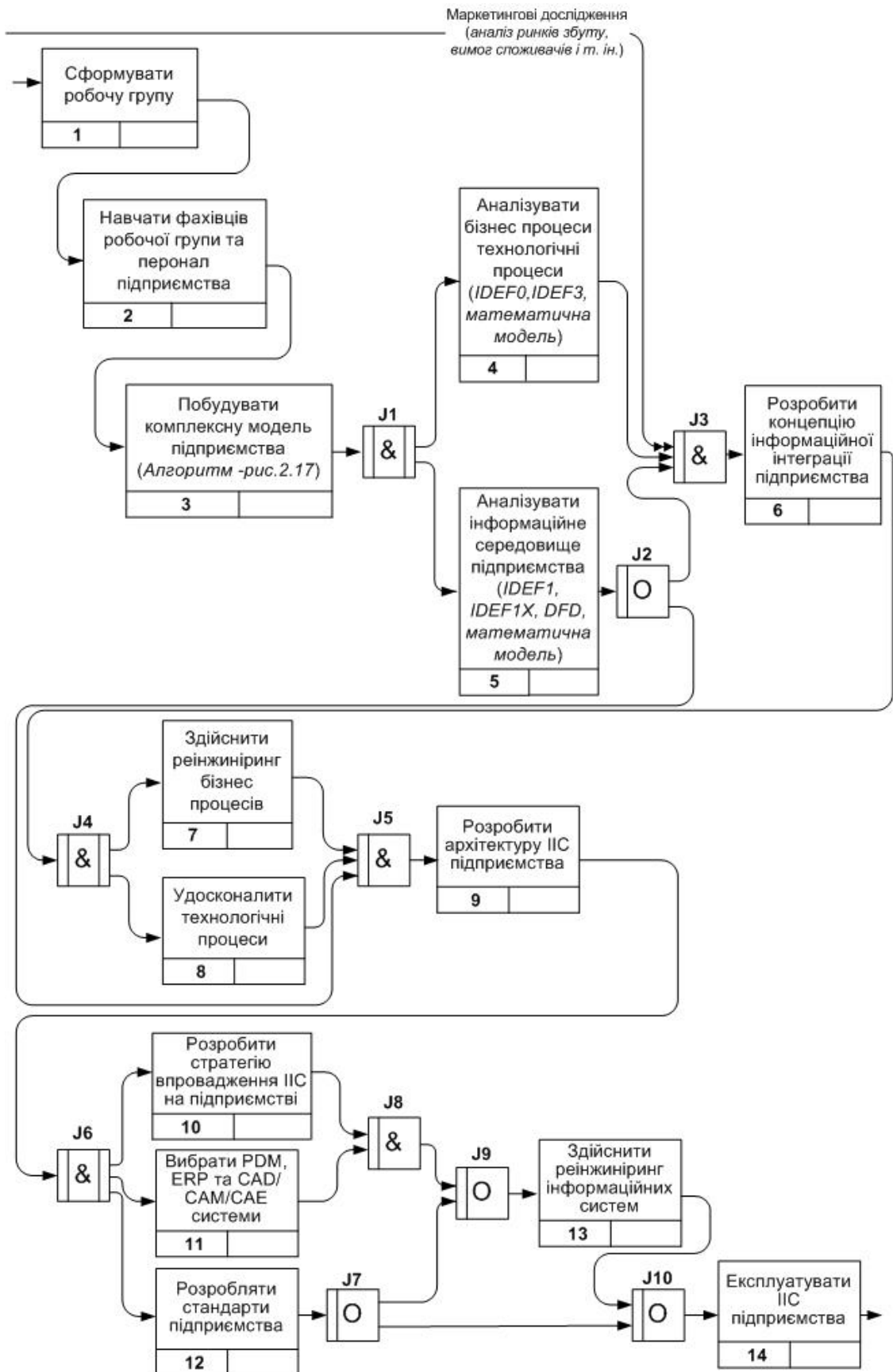


Рис.4.21. IDEF3-діаграма методики побудови ІІС промислового підприємства

рингу інформаційних систем, математичного моделювання, методів аналізу та синтезу складних систем і т. ін. Приблизний склад групи може бути таким (рис.4.22)” [34, 36]:

- Керівник проекту. Як правило це керівник підприємства, який здійснює загальне керівництво проектом та контролює терміни виконання робіт по кожному етапу впровадження.

- Зовнішній консультант. Консультант є представником консалтингової компанії, яка спеціалізується і має великий досвід щодо впровадження CALS технологій на промислових підприємствах. Зовнішніх консультантів може бути декілька, якщо крім консалтингової компанії, в роботі групи приймає участь представник компанії розробника програмного забезпечення (PDM, ERP, CAD/CAM/CAE системи).

- Координатор проекту. Головне завдання координатора - здійснення загальної координації (синхронізації) роботи групи впровадження, погодження строків виконання окремих етапів. В англійській літературі можна зустріти назву “менеджер проекту”.

- Керівник робочої групи. Як правило, це головний інженер підприємства, якій відповідає за своєчасність та якість виконання всіх етапів побудови ІС.

- Володарі процесів. Заступник головного інженера по підготовці виробництва, фахівці конструкторських бюро за напрямками виробництва, директора виробництв, начальник управління фінансів та збуту, начальник матеріально-технічного забезпечення є відповідальними за побудову ІС за своїми напрямками роботи і організують роботу своїх підлеглих, які входять до групи впровадження і також є учасниками групи.

- “Фахівці відділу інформаційних технологій, на яких покладаються задачі реінжинірингу інформаційних систем підприємства: модернізація (збільшення функціональності) інформаційних систем, які існують на підприємстві; інтеграція PDM, ERP систем з CAD/CAM/CAE системи, які існують на підприємстві. Діяльність фахівців відділу інформаційних

технологій здійснюється з допомогою зовнішнього консультанта компанії, яка є розробником програмного забезпечення, або дистриб'ютором на вітчизняному ринку” [34].

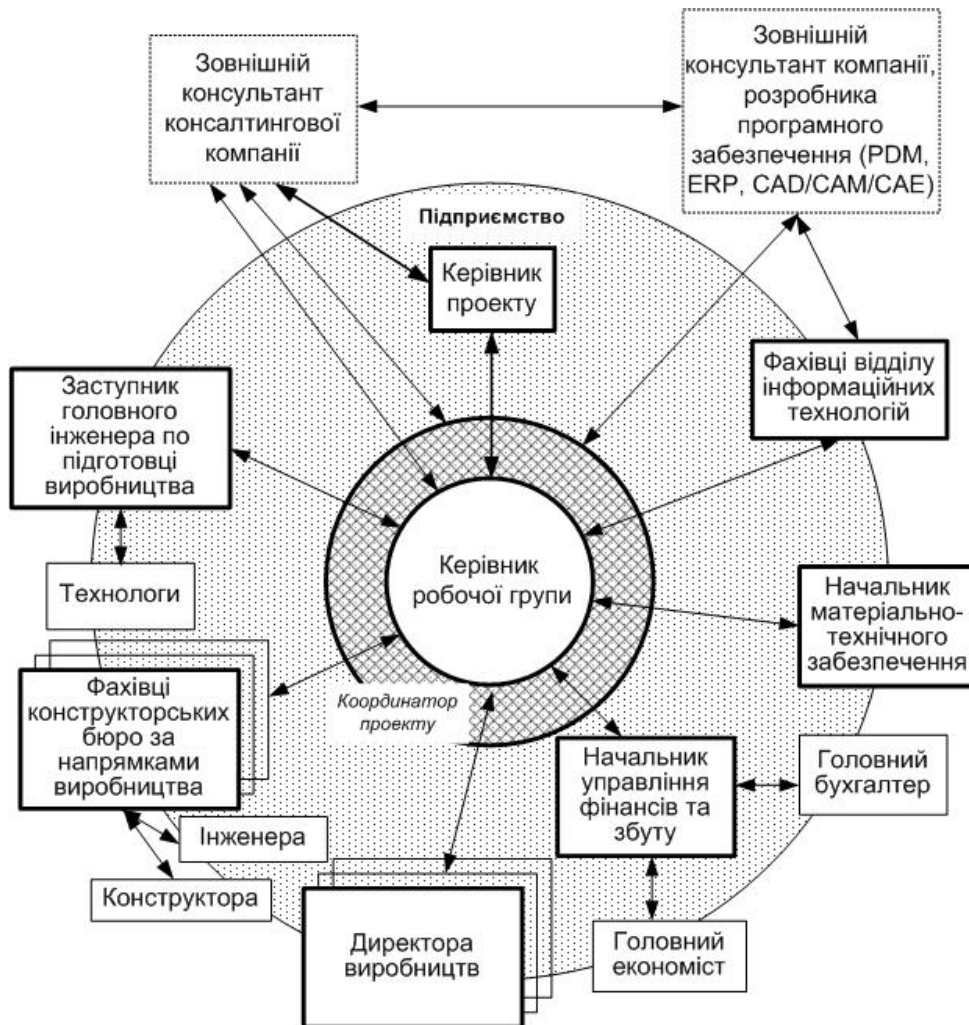


Рис.4.22. Склад робочої групи

“Очевидно, що ключовими фігурами є керівник робочої групи, який несе відповідальність за організацію робіт по побудові ІС та координатор проекту (менеджер проекту), від якого залежить координація роботи всіх фахівців робочої групи та зв’язок з зовнішніми консультантами.

Етап №2. Навчання фахівців робочої групи та персоналу підприємства. Дуже відповідальний етап з погляду підготовки висококваліфікованих фахівців як для побудови ІС підприємства, так і для подальшої ефективної його експлуатації та удосконалення” [34].

Слід відмітити, що навчання охоплює не тільки фахівців робочої групи, а також фахівців підприємства, які будуть безпосередніми користувачами програмного забезпечення, на основі якого реалізується ІС. У зв'язку з цим навчання та перепідготовка здійснюється протягом всього періоду побудови ІС підприємства і є безперервним довгостроковим процесом (рис.4.23).

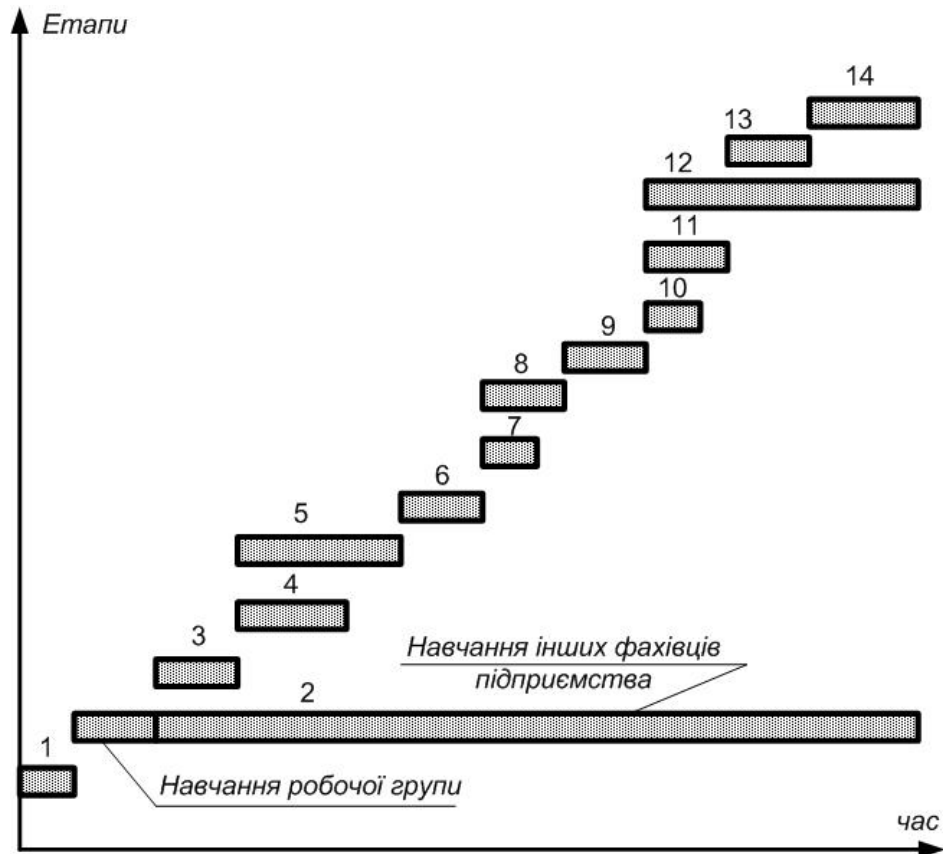


Рис.4.23. Розподіл етапів побудови ІС підприємства в часі

“На початок експлуатації ІС підприємства всі фахівці повинні пройти відповідну підготовку. Слід зазначити, що навіть після впровадження CALS технологій на підприємстві, навчання не припиняється. Це пов'язано, по-перше, з тим, що експлуатація ІС починається не одразу у всіх підрозділах підприємства, а відповідно до стратегії впровадження в найбільш критичних з точки зору конкурентноздатності виробництвах, по-друге, навіть після впровадження ІС у всіх підрозділах, необхідна постійна перепідготовка фахівців, особливо з інформаційних технологій, оскільки програмне забезпечення розвивається дуже швидко” [36].

Виходячи з концепції CALS, можна виділити декілька груп фахівців, підготовка та перепідготовка яких за відповідними напрямками (рис.4.24) необхідна для побудови та ефективної експлуатації ІС підприємства.



Рис.4.24. Підготовка фахівців підприємства

“Слід відмітити, що підготовка програмістів здійснюється для надання їм знань щодо методів інтеграції програмного забезпечення, яке вже існує і експлуатується на підприємстві тривалий час з новими системами, на основі яких будується ІС” [9, 11].

“Етап №3. Побудова комплексної моделі підприємства. Питанню побудови комплексної моделі підприємства було присвячено другий розділ (методика побудови зображена на рис.2.17), тому зупинимося лише на деяких аспектах цього етапу. Цей етап є підготовчим до наступного етапу – етапу аналізу підприємства. Головне завдання цього етапу побудова комплексу моделей підприємства “як є”, які адекватно описують процеси з погляду їх взаємодії, взаємодії з зовнішнім середовищем (постачальники і т. ін.), дають змогу зробити кількісний аналіз розподілу матеріальних потоків,

оцінити ефективність технологічних ліній і т. ін. Комплекс моделей підприємства АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг», розроблений в рамках задачі кваліфікаційної роботи, представлений в додатках А-В та рисунками (рис.3.5-3.7) і формулами у відповідних розділах. Дуже важливим є правильне визначення границь моделювання та глибини декомпозиції, що і визначає точність та адекватність моделей. На третьому етапі робоча група отримує” [36] :

- “повний перелік функцій підприємства;
- послідовність виконання цих функцій у часі;
- внутрішні та зовнішні зв'язки підприємства під час функціонування;
- організаційна модель підприємства (перелік підрозділів, структура кожного підрозділу;
- початковий стан програмно-технічної бази підприємства (наявність апаратних та програмних засобів в кожному підрозділі, кваліфікація користувачів);
- архітектура локальної обчислювальної мережі, наявність баз даних та їх структура” [36].

Наступні два етапи:

4. Аналіз бізнес процесів та технологічних процесів промислового підприємства,

5. “Аналіз інформаційного середовища промислового підприємства, представляють собою детальний аналіз функціонування підприємства. В деяких роботах [28] цей етап називається попереднім дослідженням підприємства та поєднується з попереднім етапом побудови моделі. В дисертаційній роботі пропонується розділити етапи розробки моделі та аналізу і, в свою чергу, в етапі аналізу виділити два етапи: аналіз бізнес процесів та технологічних процесів і аналіз інформаційного середовища. Це пов'язано з тим, що однією з задач аналізу є дослідження поточного стану програмно-технічної бази підприємства та існуючих баз даних, які як

правило є розрізненими. Це дуже суттєве питання оскільки від нього залежить подальше формування концепції інформаційної інтеграції та стратегії впровадження ІС на підприємстві, що пов'язано з реінжинірингом існуючих інформаційних систем. Слід відмітити також необхідність постійного вивчення стану ринку збута та вимог споживачів (відділ маркетингу) для можливості виявлення бізнес-процесів, які потребують докорінних змін у зв'язку, наприклад, з частими невідповідностями замовлень строкам виконання, що може бути пов'язане з несвоєчасною поставкою матеріалів, браком і т. ін. Дія “Вивчення ринку збуту” не введена в діаграму IDEF3 (рис.4.22), оскільки ця функція повинна виконуватися маркетингологами постійно. Таким чином, по закінченню четвертого та п'ятого етапів робоча група повинна мати наступну інформацію” [28]:

- перелік процесів, які підлягають реінжинірингу (як внутрішніх для збільшення ефективності виробництва, так і зовнішніх для урахування змін та попиту на ринках збуту);
- перелік технологічних процесів, які підлягають удосконаленню з точною ідентифікацією “вузьких” місць.

“Етап №6. “Розробка концепції інформаційної інтеграції підприємства”. Розробка концепції здійснюється на основі інформації, отриманої на попередніх етапах і передбачає формування наступних документів:

- цілі побудови ІС;
- економічне обґрунтування можливих варіантів реінжинірингу та удосконалення процесів;
- витрати на підготовку та перепідготовку фахівців підприємства;
- попередній розрахунок коштів на придбання нового апаратного та програмного забезпечення для реалізації ІС підприємства з урахуванням змін у процесах;



- попередній розрахунок збільшення показників виробництва від побудови ІС” [28].

“Цілі побудови ІС як правило, визначаються поточним станом процесів та станом, який планується отримати після побудови ІС, засновуються на аналізі вартості ЖЦ виробу до і після реінжинірингу. Тобто мова йдеться про зменшення часу проектування нових виробів для зменшення їх собівартості, шляхом створення єдиної нормативної бази технічної документації в електронному вигляді, що дасть змогу користувачам більш швидко знаходити та обробляти потрібну інформацію. Можлива докорінна зміна деяких процесів, що приведе до структурних та кількісних змін в організаційній моделі підприємства та послідовності виконання самих процесів” [9].

“Економічне обґрунтування можливих варіантів удосконалення процесів залишається доволі складним питанням і потребує детального вивчення та розробки методології його здійснення” [2]. Можливий варіант попереднього розрахунку витрат на закупівлю нового обладнання з урахуванням його характеристик та структури технологічного процесу запропонований в підрозділі 4.2., але такий розрахунок є загальним і потребує уточнення.

“Попередній розрахунок коштів на придбання нового апаратного та програмного забезпечення для реалізації ІС підприємства здійснюється з урахуванням даних щодо кількості бізнес-процесів, які потребують реінжинірингу та удосконалення. Мова йдеться про попередній аналіз тому, що більш точний розрахунок можливо здійснити після побудови моделі ІС за принципом “як повинно бути” в процесі реінжинірингу процесів та інформаційних систем” [3] також удосконаленню технологічних процесів.

Розрахунок витрат на підготовку та перепідготовку фахівців підприємства здійснюється на основі даних, отриманих на третьому етапі щодо кваліфікації фахівців кожного структурного підрозділу.

Попередній розрахунок збільшення показників виробництва від побудови ІС передбачає експертну оцінку фахівців консалтингової компанії щодо збільшення ефективності виробництва.

“Наступні два етапи: етап №7 “Здійснення реінжинірингу бізнес-процесів” та етап №8 “Удосконалення технологічних процесів” передбачають побудову моделі підприємства за принципом “як повинно бути” з урахуванням інформації, отриманої на попередніх етапах: етап №3 “Побудова комплексної моделі підприємства”, яка здійснюється за принципом “як є” та етапи детального аналізу поточного стану підприємства №№4,5. Відмінність реінжинірингу процесів від удосконалення пояснена в третьому розділі і має суттєве значення для промислових підприємств” [15].

“На етапах №№7,8 фахівці робочої групи розробляють оновлену функціональну та організаційну модель підприємства з урахуванням всіх змін, передбачених у бізнес процесах та можливих кількісних або структурних змін у технологічних процесах. Зазначені вище зміни у процесах підприємства призводять до необхідності корегування структури інформаційного середовища (структура локальних обчислювальних мереж, структура баз даних, програмне забезпечення і т. ін.)” [15].

“Етап №9 “Розробка архітектури ІС підприємства”. Даний етап є логічним завершенням попередніх двох етапів, які дозволяють розробити загальну архітектуру ІС підприємства, яке будується по принципу “як повинно бути” в процесі здійснення реінжинірингу та удосконалення технологічних процесів. Перш за все розробка архітектури ІС передбачає побудову загальної моделі даних підприємства. Для цього в відповідності до інформаційної моделі (зв’язок з етапом №5) необхідно визначити типи інформаційних об’єктів, їх залежності та атрибути. Після розробки архітектури ІС фахівці робочої групи можуть зробити більш детальні і точні розрахунки коштів на придбання нового апаратного та програмного забезпечення для реалізації ІС з урахуванням необхідності переоснащення

або нарощування потужностей і функціональності конкретних структурних підрозділів підприємства. Розробка архітектури ІС є відправним етапом для початку етапів №10-12, які починаються, як правило, одночасно і виконуються паралельно” [2].

“Етап №10 “Розробка стратегії впровадження ІС на підприємстві”. В умовах функціонування сучасних вітчизняних виробництв практично не можливо побудувати ІС відразу на всьому підприємстві, що пов’язано з великими фінансовими та матеріальними витратами, а також обмеженнями в часі. У зв’язку з цим процес побудови ІС підприємства розбивають на окремі етапи. Розбивка на етапи здійснюється шляхом ранжирування бізнес процесів підприємства, тобто визначення пріоритетних бізнес-процесів, які мають стратегічне значення для підприємства з урахуванням їх поточного стану та можливостей удосконалення. Початок побудови ІС починається саме з цих бізнес-процесів. Для визначення ключових (пріоритетних) бізнес-процесів розглядаються показники оцінок їх ефективності” [7, 36]:

- кількість споживачів продукції того чи іншого типу;
- кількість типових операцій, яку необхідно здійснити при виробництві продукції за певний інтервал часу;
- тривалість виконання процесів та операцій;
- капіталовкладення в виробництво і т. ін.

Також до уваги беруть розрахунок витрат щодо побудови ІС в окремих структурних підрозділах в рамках загальної ІС підприємства.

Етап №11. “Вибір PDM, ERP та CAD/CAM/CAE систем”.

“На ринку програмного забезпечення представлена велика кількість промислових систем, які відрізняються кількістю функцій управління, як підтримуються; засобами аналізу інформації, спеціалізацією на окремих типах і видах виробництва, відповідністю стандартам і концепціям, наявністю засобів розробки та інтеграції з іншими системами. Тому даний етап передбачає здійснення так би мовити “передпроектного” дослідження,

використовуючи інформацію попередніх етапів, метою якого є “рання” діагностика проблем, які можуть виникнути під час реалізації проекту побудови ІС підприємства. В результаті дослідження визначаються системи PDM та ERP, на основі яких буде створюватися ІС, кампанії, які будуть поставляти та впроваджувати визначені системи, можливі проблеми впровадження проекту розробки ІС та шляхи їх вирішення” [13].

“В якості основних критеріїв вибору ERP системи розглядають наступні” [34]:

1. “Система повинна відповідати вимогам загальноприйнятих стандартів управління підприємством, за яким здійснюється планування та контроль різних стадій виробничого процесу: потрібність у сировині, закупок, завантаження потужностей, розподіл ресурсів і т. ін.

2. Система повинна максимально відповідати галузевим стандартам (стандартам промислових підприємств). Очевидно, що в кожній галузі виробництво має свою специфіку. Якщо система має необхідну для підприємства галузеву направленість – це ідеальний варіант з точки зору простоти впровадження. Оскільки можливо зберегти час та ресурси, які будуть необхідні для “підгонки” системи під стандарт підприємства.

3. Не менш важливим є наявність в системі стандартних засобів розробки, які дають змогу добавляти нову функціональність або змінювати існуючу з мінімальними зусиллями і витратами. Це дозволить експлуатанти обрану систему достатній термін враховуючи всі структурні та технологічні зміни на підприємстві. Окрім галузевих стандартів, необхідно пам’ятати, що кожне підприємство має свої корпоративні стандарти, які під стандартне ядро системи не підійдуть і необхідно буде здійснювати роботу по їх інтеграції. Таким чином, необхідно щоб ERP система була модульною і володіла такими складовими, які дозволять урахувати всі особливості підприємства” [34].

Грамотний підхід до реалізації проекту впровадження ERP системи допомагає змінити в кращу сторону показники загальної ефективності ведення бізнесу:

- “покращити якість обслуговування клієнтів та замовників, взаємодію з постачальниками, збільшити кількість клієнтів та постачальників (за рахунок більш оперативного виконання замовлень);
- збільшити ефективність всього виробничого процесу в цілому за рахунок оптимізації функцій прогнозування та планування виробничої діяльності (закупівля матеріалів, завантаження потужностей);
- скоротити строки випуску нової продукції за рахунок оптимізації виробничих процесів та операцій;
- знизити витрати, пов’язані з управлінням виробництвом, скоротити непродуктивні витрати та зменшити собівартість продукції;
- оптимізувати управління оборотними засобами за рахунок значного зменшення складських запасів, збільшити оборот товарів та доходи підприємства” [15, 36].

“Під час вибору PDM систем необхідно враховувати наступне” [34]:

1. “На ринку представлені PDM системи двох типів:
  - системи, з номенклатурою типів об’єктів, яку практично не можливо змінювати;
  - системи, які надають можливість роботи зі структурою інформації” [36].

При формуванні моделі реалізації в першому випадку практично не можливо уникнути різного роду неточностей в визначені тих чи інших понять, оскільки приходится робити прив’язку об’єктів реального світу (виріб, технологічний процес і т. ін.) до вже існуючих об’єктів PDM системи.

Системи другого типу дозволяють фахівцям групи впровадження самостійно сформулювати номенклатуру типів об’єктів, визначити залежності між ними, задати та призначити атрибути об’єктів, що дає змогу отримати максимально точну інформаційну модель процесів виробництва.

2. В залежності від PDM системи загальна модель функціонування підприємства може включати або не включати модель потоків робіт, тобто підтримувати управління потоками робіт (workflow) або ні.

“Взагалі використання PDM систем, які не підтримують управління потоками робіт (workflow) не дає змогу створити ІС підприємства з погляду CALS методології, особливо, якщо мова йдеться про її інтеграцію в ІС з ERP системою, що робить неприйнятним такий варіант вибору системи” [34].

3. “Основними цілями впровадження PDM систем в рамках загальної концепції створення ІС підприємства є” [34]:

- “прискорення процесів проектування за рахунок паралельного виконання робіт та електронного обміну даними між фахівцями в інтегрованому інформаційному середовищі;
- підвищення якості та достовірності інформації за рахунок прозорості системи та взаємного контролю учасників процесів проектування;
- збереження інформації в електронному вигляді” [34].

Що до вибору CAD/CAM/CAE систем слід зазначити, що більшість сучасних підприємств вже користується в більшій або меншій мірі зазначеними системами. Таким чином, вибір додаткових систем в рамках розробленої концепції інформаційної інтеграції для нарощування функціональності та потужності повинен здійснюватися з урахуванням існуючих систем та можливості їх інтеграції в ІС на основі PDM та ERP систем.

“Етап №12. “Розробка стандартів підприємства”. Досвід роботи по побудові ІС промислових підприємств [36] показує, що найбільш суттєвими проблемними питаннями на шляху впровадження ІС є стан нормативно-справочної бази. Нормативно-справочна база підприємства – комплекс первинних документів, які представляють інформацію про продукцію, матеріали, виробничі операції, стандарти врахування матеріальних ресурсів з

погляду управління–необхідна для забезпечення нормального функціонування PDM, ERP та CAD/CAM/CAE систем” [3].

“Етап №13 “Реінжиніринг інформаційних систем”. Поняття, методи та технології реінжинірингу інформаційних систем детально були описані у третьому розділі, тому розглянемо лише деякі аспекти цього етапу. Використання методів реінжинірингу інформаційних систем викликано тим, що процес інтеграції PDM та ERP систем та систем, які вже існують на підприємстві, вимагає здійснення кардинальних змін в структурі інформаційного середовища. Інтеграція PDM систем з системами CAD/CAM/CAE забезпечується за допомогою прикладних модулів CAD/CAM/CAE та PDM систем та конверторів форматів, які доволі добре розвинені розробниками програмного забезпечення. Складнішою є задача коректної інтеграції PDM та ERP систем в єдиному інформаційному середовищі оскільки тільки така інтеграція може забезпечити ERP систему актуальною нормативною інформацією для планування та суттєво скоротити данні та витрати часу на передачу виробу з розробки в виробництво” [20].

Модуль “Облік” вимагає налагодження великої кількості параметрів, які необхідні для обліку матеріальних засобів, баз даних постачальників, замовників, обладнання, інструментів, персоналу і т. ін.

Модуль “Контроль” вимагає інтеграції не тільки з PDM системою, але й безпосередньо з CAM системою для здійснення контролю за виконанням виробничих операцій.



Рис.4.25. Алгоритм налагодження PDM системи



Модуль “Аналіз” дозволяє реалізувати діяльність компанії в відповідності до її стратегії та прогнозувати ситуацію по принципу ”що, якщо...?”. Аналітичні ресурси ERP систем в даному випадку використовують бази даних створені для модуля “Облік”.

“Перед вводом в експлуатацію PDM та ERP систем їх необхідно протестувати, для чого ще на етапах налагодження необхідно розробити ефективні методи тестування. Весь комплекс методів тестування повинен охоплювати всі ключові моменти функціонування системи. Для проведення тестування необхідно передбачити спеціальний тестовий набір об’єктів, документів, шаблонів потоків робіт, файлів обміну між PDM, ERP та CAD/CAM/CAE системами” [34].

Етап №14 “Експлуатація ІС підприємства”. “Даний етап включений до методики побудови ІС підприємства оскільки передбачає продовження робіт по створенню нормативно-справочної бази підприємства та створення робочих інструкцій в цілях удосконалення організації труда, чіткого розмежування робіт, які виконуються користувачами. Роботи по створенню нормативно-справочної бази підприємства можуть продовжуватися на етапі експлуатації оскільки після реінжинірингу інформаційних систем, який передбачає адаптацію та настройку PDM та ERP систем, може виникнути необхідність щодо внесення деяких коректив в нормативно-справочну базу підприємства” [34].

### Висновки по розділу

1. Використовуючи аналітичну математичну модель, яка описує процесі завантаження обладнання на підприємстві, та сучасні тенденції розробки моделей та програмного забезпечення, було запропоновано алгоритм розробки програмного забезпечення (рис.4.1) та розроблено програмне забезпечення (рис.4.2, 4.4, додаток Г) для реалізації математичної моделі в рамках задач дисертаційної роботи.

2. Використовуючи розроблене програмне забезпечення та математичну модель технологічних процесів підприємства, здійснено аналітичне дослідження технологічних процесів заготівельного, крупно та дрібносерійного виробництва підприємства, IDEF3 діаграми яких (рис.3.5-3.7 відповідно) були розроблені в другому розділі в рамках побудови комплексної моделі підприємства.

3. В результаті аналітичного дослідження зазначених технологічних процесів було виявлено “вузькі” місця в технологічних лініях та здійснено збільшення інтенсивності процесу обробки заготовок шляхом структурних змін в технологічних процесах. Результати аналітичного дослідження надали змогу оптимізувати структуру технологічних процесів з погляду максимального завантаження обладнання та мінімального простою станцій обслуговування.

4. Запропоновано формулу для попереднього економічного обґрунтування структурних змін з метою збільшення інтенсивності всього процесу обробки заготовок. Попереднє рішення щодо закупівлі нового більш продуктивного обладнання для повної або часткової заміни старого, або ж встановлення додаткового однотипного з існуючими показниками продуктивності приймається після здійснення розрахунків коефіцієнта ефективності структурних змін  $K_E$ , запропонованого автором. Коефіцієнт розраховується для двох варіантів за розробленою формулою (4.3). Слід відмітити, що при розрахунках враховується технічні характеристики обладнання, потрібна інтенсивність обробки та гарантований термін нормального функціонування обладнання.

5. Розроблено методика побудови ІС промислового підприємства, яка складається з чотирнадцяти етапів, послідовність виконання яких представлена IDEF3 діаграмою (рис.4.21).

6. Розроблена методика побудови ІС підприємства дозволить зробити процес впровадження ІС на промислових підприємствах прозорим і зрозумілим для всіх його учасників за рахунок чіткої формалізації всіх етапів.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра на базі сучасних рішень з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій розроблена методика побудови ІС промислового підприємства. Рішення поставленої науково – технічної задачі є подальшим розвитком методів аналізу та проектування складних технічних систем, застосованим до промислових підприємств і забезпечує системних аналітиків та фахівців предметних областей, які пов'язані з питаннями побудови ІС підприємства, необхідним інструментарієм для розробки стратегії впровадження ІС.

На основі проведених досліджень зроблено такі висновки:

1. Розробка методики побудови автоматизованого ІС промислового підприємства робить необхідним вирішення ряду часткових задач, розглянутих в кваліфікаційній роботі, серед яких: розробка алгоритму побудови комплексу моделей підприємства, який визначить їх типи, послідовність розробки та взаємозв'язок; розробка комплексу моделей підприємства в рамках розробленого алгоритму, які дозволяють здійснити детальний аналіз підприємства з погляду його процесів (до рівня окремих технологічних процесів), організаційної структури та інформаційних потоків (баз даних);

- розробка математичної моделі технологічних процесів та програмне забезпечення для реалізації розробленої моделі;

- дослідження сучасних концепцій реінжинірингу бізнес-процесів та ІС підприємства як одного з етапів методики побудови ІС.

2. В рамках поставлених в роботі задач, було розроблено комплекс моделей підприємства, який складається з функціональної, до рівня окремого технологічного процесу; організаційної, до рівня окремого управління; інформаційної моделей.

3. Розроблена математична модель була використана для створення програмного забезпечення.

4. Запропонований в КРМ коефіцієнт ефективності структурних змін та його математичній вираз має велику практичну цінність, оскільки дозволяє економічно обґрунтувати шляхи удосконалення технологічних процесів.

5. Розглянуто і систематизовано принципи, методи та інструментарій реінжинірингу бізнес-процесів в рамках сучасні методології та реінжиніринг ІС підприємства.

6. Здійснення досліджень за визначеними напрямками, які по суті є найбільш складними етапами побудови ІС підприємства, дозволило чітко визначити, детально розглянути та систематизувати зазначені етапи у вигляді методики побудови ІС промислового підприємства, представленої у вигляді діаграми IDEF3.

7. Розроблена методика має велике практичне значення для керівництва та фахівців підприємств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Толбатов В.А. Наукове оточення сучасної людини: техніка і технології, інформатика. Книга 3. Частина 3: серія монографій / [авт.кол. : С.О. Гнатюк, А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, С.В. Агаджанова, С.В. Толбатов та ін.]. - Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2020 - 83 с.

2. Толбатов В.А. Інноваційна наука, освіта, виробництво і транспорт: техніка і технології, інформатика, транспорт, архітектура: монографія / [авт.кол. : В.В.Лукін, І.Я.Львович, Г.В.Пачурін, В.А.Толбатов, А.В.Толбатов та ін.]. - Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019 - 180 с. : іл., табл. - (Серія «Інноваційна наука, освіта, виробництво і транспорт»; №2). ISBN 978-617-7414-78-9.

3. Толбатов В.А. Наукове оточення сучасної людини: техніка, інформатика, архітектура, медицина, сільське господарство. Книга 2. Частина 1: серія монографій / [Авт. : Лінда С.М., Львович І.Я., Преображенський А.П., Толбатов В.А., Толбатов А.В. та ін.]. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019 – 199 с.

4. N. Barchenko, V. Tolbatov, T. Lavryk, V. Obodiak, I. Shelehov, A. Tolbatov, S. Gnatyuk, O. Tolbatova, "Mathematical Model for Adaptive Technology in E-learning Systems", International Journal of Modern Education and Computer Science(IJM ECS), Vol.14, No.4, pp. 1-15, 2022.DOI: 10.5815/ijmecs.2022.04.01

5. Chuprina M.O., Tolbatov A.V., Tolbatov V.A., Tolbatova O.O. Information security of the enterprise in the conditions of application of banchmarking / The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies", Issue 13, Part 2 Septemember 2020, p. 71-76.

6. Tolbatov V.A. Organizational and technical aspects of introduction of innovations of organic agriculture and rational land use of the agrarian enterprises Ukrainian Journal of Ecology / L.O. Boginska, A.V. Tolbatov, O.B. Viunenko, S.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, A.O. Butenko, G.A. Davydenko, L.V. Kriuchko / Ukrainian Journal of Ecology, 2019, 9(2), P. 110-118. (Індексується в «Web of science»).

7. Павленко П.М. Автоматизовані системи технологічної підготовки розширених виробництв. Методи побудови та управління: Монографія. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 280 с.

8. Методичні вказівки щодо змісту та структури виконання кваліфікаційної роботи магістра : у 2 ч. Ч. 1. Зміст та структура кваліфікаційної роботи магістра / укладачі: В. А. Толбатов, А. В. Толбатов. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 33 с.

9. Tolbatov V.A. Ergonomic Support for Decision-Making Management of the Chief Information Security Officer / Sergiy Gnatyuk, Nataliia Barchenko, Olena Azarenko, Andrii Tolbatov, Victor Obodiak, Volodymyr Tolbatov / 1st International Conference on Cyber Hygiene and Conflict Management in Global Information Networks (CyberConf 2019) Lviv Ukraine, November 29, 2019. – Режим доступу: <http://ceur-ws.org/Vol-2588/> (дата звернення 27.01.2023 р.). (Індексується в «Scopus»).

10. Tolbatov V.A. Changing cohesive energy between atoms in metal-to-metal transition layer for Fe–Sn and Fe–Cu–Sn compounds in the course of spark alloying process / Іє. Konoplianchenko, V. Tarellyk, V. Martsynkovskyy, A. Belous, V. Gerasimenko, G. Smolyarov, A. Tolbatov, V. Tolbatov, M. Chuprina / In: Pogrebnjak A., Bondar O. (eds) Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019). Springer Proceedings in Physics, Chapter 12, vol 240. Springer, Singapore, pp 117-133. (Індексується в «Scopus»).

11. Толбатов В.А. Побудова систем моніторингу, аналізу та оцінки прийняття рішень регіонального рівня для ситуаційних центрів АПК / С.В.

Агаджанова, О.Б. В'юненко, А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, К.Х. Агаджанов - Гонсалес / Звіт про виконання науково-дослідної роботи на тему «Теоретико-методичні та практичні аспекти діагностики функціонування регіональної економічної системи» (номер державної реєстрації U0117U000911). – Суми : Сумський НАУ, 2019. – 267 с. – С. 200-204.

12. Tolbatov V.A. Topical issues of the use of blockchain technology in higher education staff / Viunenko O.B., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V., Tolbatov V.A. / Modern engineering and innovative technologies Issue №9, Part 2, October 2019 – P. 47-53.

13. Tolbatov V.A. Information software providing effective activity of machine-building enterprises of Ukraine in resources restrictions / Chuprina M.O, Tolbatov A.V., Viunenko O.B., Tolbatov V.A. / Modern engineering and innovative technologies Issue №7, Part 3, 2019 – P. 84-90.

14. Tolbatov V.A. Planning and monitoring of energy loading of domestic renewable energy systems / Viunenko O.B., Tolbatov A.V., Tolbatov V.A. / Modern engineering and innovative technologies Issue №7, Part 3, 2019 – P. 97-103.

15. Толбатов В.А. та ін. НДР "Ресурсозбереження на стадіях життєвого циклу автоматизованих технологічних об'єктів", номер державної реєстрації 0113U004133 (2015-2019 рр).

16. Толбатов В.А. та ін. НДР "Комплексне ресурсозбереження на стадіях життєвого циклу автоматизованих технологічних об'єктів", номер державної реєстрації 0118U001922. Відповідального виконавця наукової теми "Концептуальне проектування систем планування та обліку енергоресурсів", номер державної реєстрації 0108U000673 (2019-2023 рр).

17. Tolbatov V. and others. Method of Improving the Stability of Network Synchronization in Multiservice Macro Networks. CEUR International Workshop Proceedings, 2020, CEUR-WS.org, online. P. 786–797. (дата звернення 27.01.2023 р.). (Індексується в «Scopus»).

18.Tolbatov V. and others. System for monitoring the connection of USB devices for cybersecurity auditing. CEUR International Workshop Proceedings, 2020, CEUR-WS.org, online. P. 733–785. (дата звернення 27.01.2023 р.). (Індексується в «Scopus»).

19.Computer Integrated Manufacturing // IBM CIM Architecture. Principles for Implementation: Data Integration. - Milfort: IBM Corp. ST06460, 2020. - 55 p.

20.Толбатов В.А. Интегрированное информационное середовище машинобудівного підприємства // Електроніка та системи управління. – 2006. – № 2. – С.77-79.

21.Smith J.M. CALS. An introduction to CALS: The Strategy and the Standards. – Dublin: The Cromwell Press Ltd, 2020. – 172 p.

22.Толбатов В.А. Сучасні проблеми інтеграції автоматизованих систем управління промислових підприємств машинобудівної галузі // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2006. – № 2. – С. 91-94.

23.Law A.M., Kelton W.D. Simulation Modeling and Analysis. 6-rd edition. New York: McGraw-Hill Publishing Co.–2020.–731 p.

24.Knuth E. The art of Computer Programming, Volume 1, Fundamental Algorithms. 7-rd edition. Boston: Addison-Wesley.–2021.–373 p.

25.Editor Mayer R.J. IDEF1X Data Modeling: A New Reconstruction of the original Air Force Report, Knowledge Based Systems Inc. College Station, TX 2021 p.

26.Integration definition for function modeling (IDEF0). Software standard, modeling technique. Federal standards.–2019.–214 p.

27.Booch G. Object-oriented Analysis and Design with Applications. 5-nd edition. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Publishing Company.–2020.–514 p.

28.Толбатов В.А. Алгоритми побудови моделі підприємства машинобудівної галузі // Вісник СумДУ. – 2005. – № 9(81). – С.57–65.

29.Hammer M. Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. Harvard Business Review, 2019.–317 p.



30. Mayer R. J. New Delivering results: evolving BPR from art to engineering. Texas A&M University, 2020.–97 p.

31. Menzel C. P. IDEF3 New Formalization Report, Integrated Information Systems Evolution environment, USAF, Knowledge Base Systems Laboratory, Inc.,2021.–238 p.

32.Павленко П.М., Толбатов В.А. Математичне моделювання процесів завантаження обладнання на підприємствах машинобудівної галузі // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2005. – № 25. – С. 94-99.

33.Толбатов В.А. Аналітичне дослідження завантаження обладнання технологічних ліній підприємства машинобудівної галузі // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. – С. 165-171.

34.Толбатов В.А. Методика побудови інтегрованого інформаційного середовища підприємства машинобудівної галузі на базі PDM- та ERP-систем // Видавництво НАУ, м. Київ. – 2006. – № 1. – С. 47-51.

35. Толбатов В.А. Методологія створення бази знань життєвого циклу автономної електростанції//Міжнародний науково-технічний журнал ВОТТП.-2005.-№1.-С.153-157.

36. Павленко П.М., Толбатов В.А. Методика реінжинірингу бізнес-процесів підприємства машинобудівної галузі//Вісник інженерної академії України. —2006. – № 2. –С.58-62.

37.Толбатов В.А. та ін. Система автоматизованого керування технологічним процесом компресорних установок – ІМА-2022, м. Суми – С. 153.

38.Толбатов В.А. та ін. Системи управління при виробництві цегли підприємством “Керамейя” – ІМА-2022, м. Суми – С. 162.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Функціональна модель АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг».

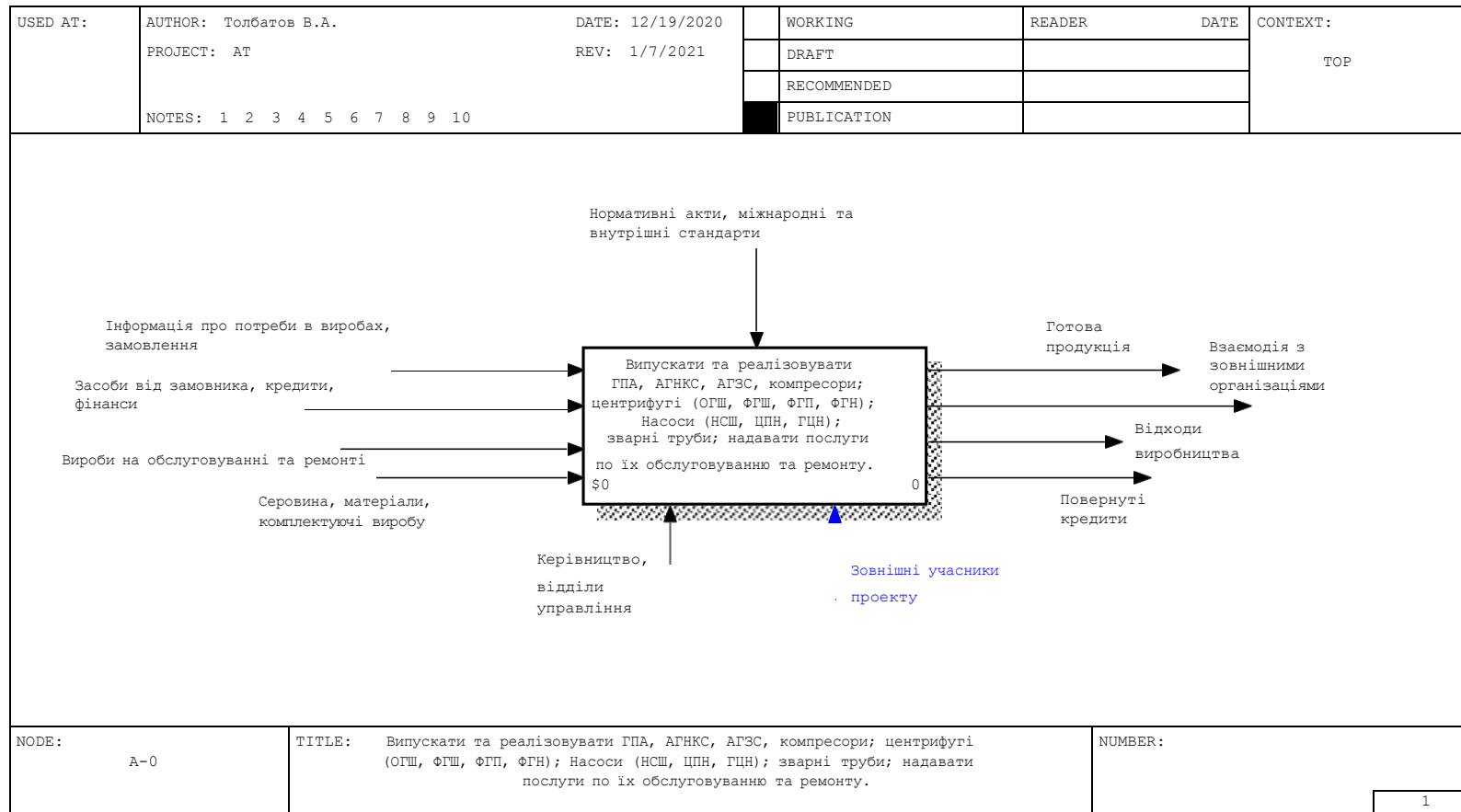


Рис.А.1. Контекстна діаграма А-Ø "Випускати продукцію, надавати послуги"

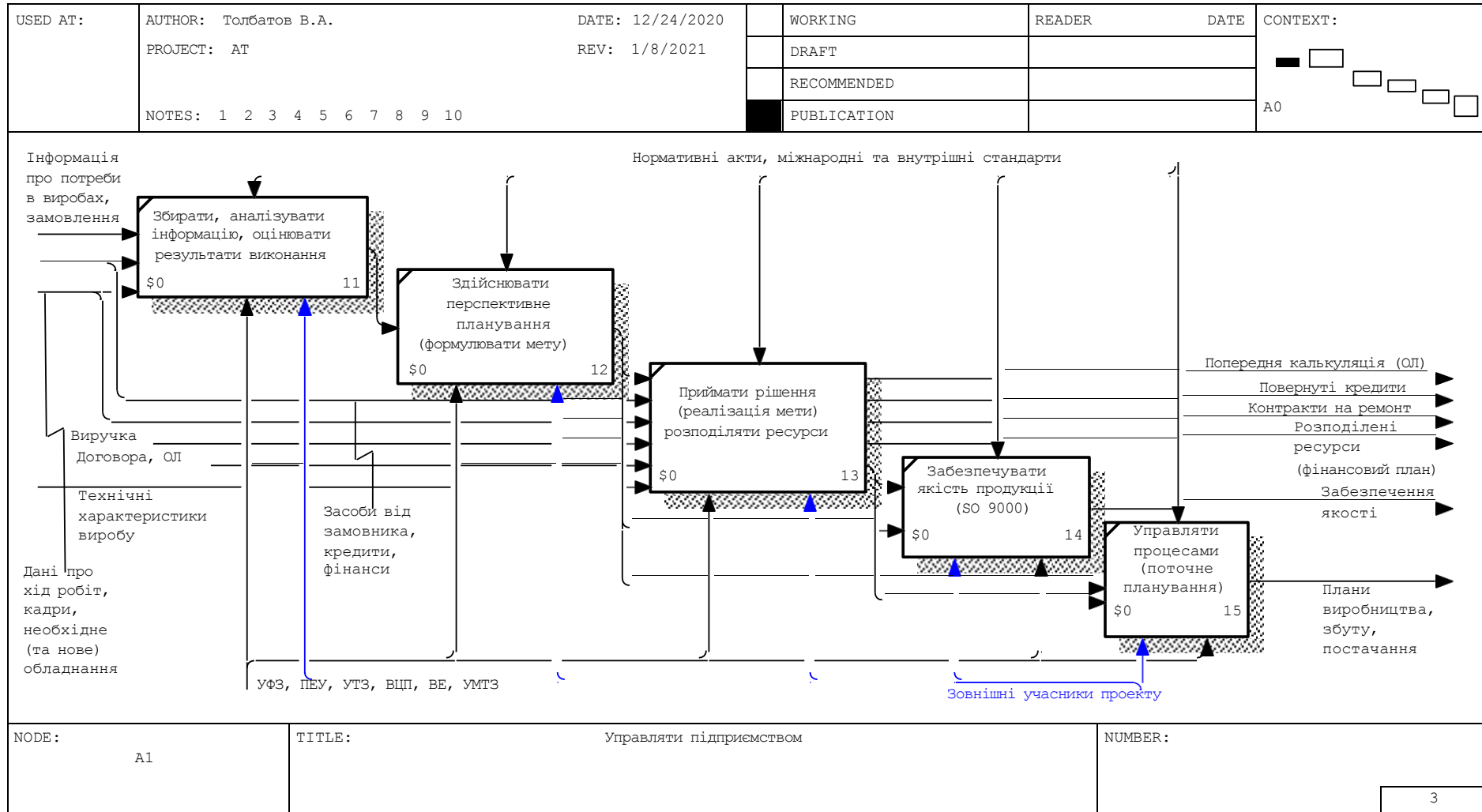


Рис.А.2. Діаграма А-1 "Управляти підприємством"

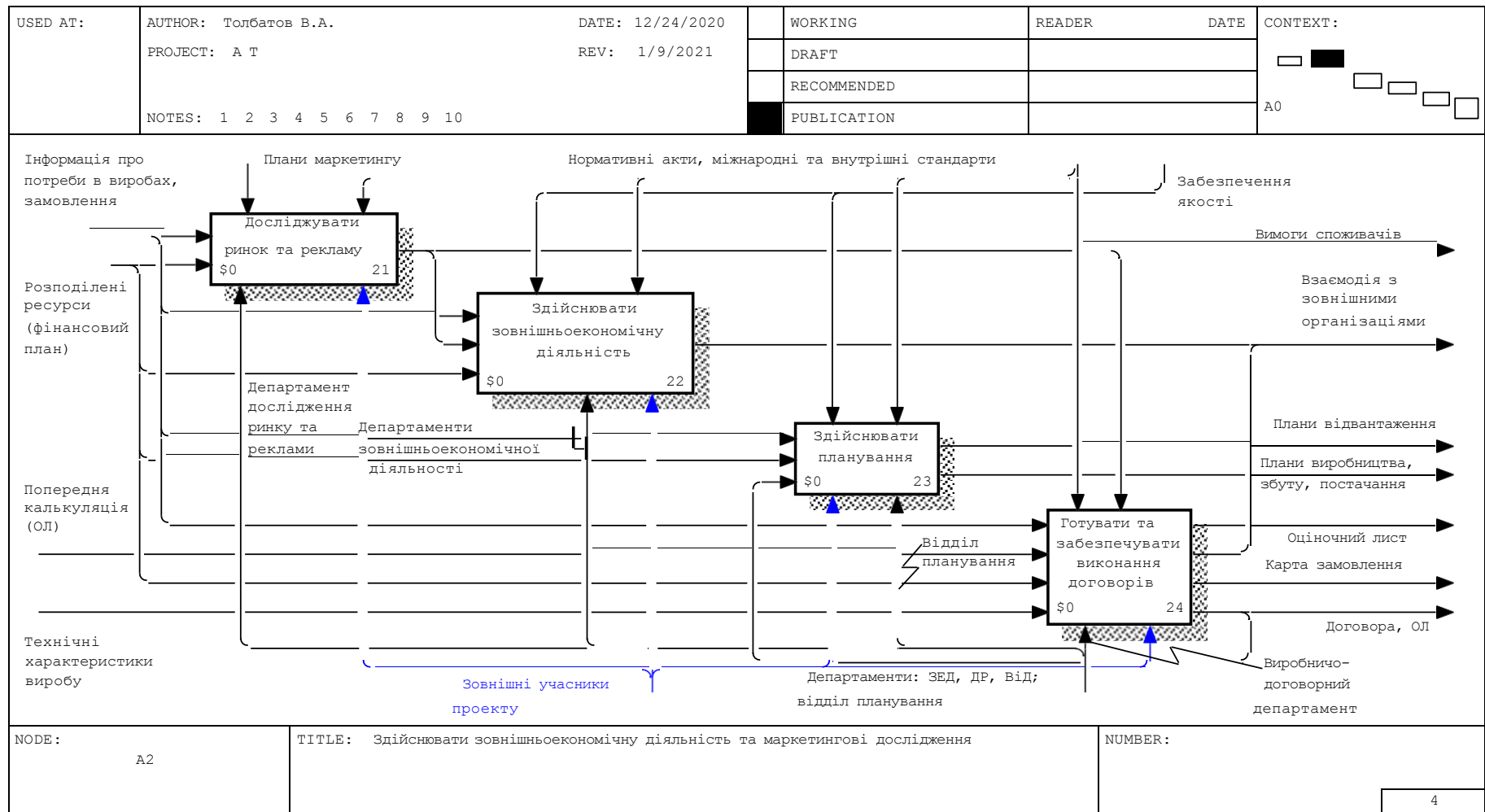


Рис.А.3. Діаграма А-2"Здійснювати зовнішньоекономічну діяльність та маркетингові дослідження"

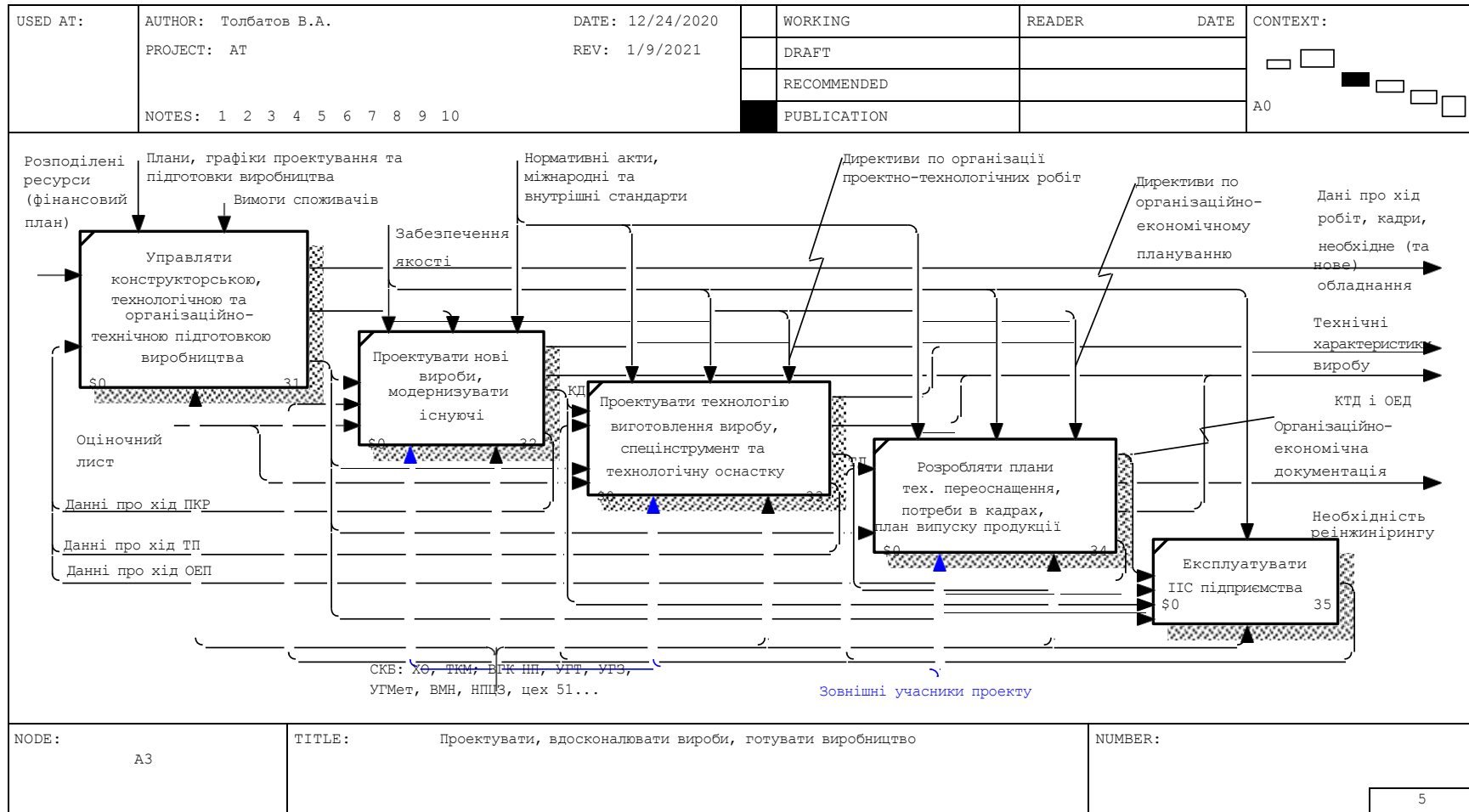


Рис.А.4. Діаграма А-3 "Проектувати, вдосконалювати вироби, готувати виробництво"

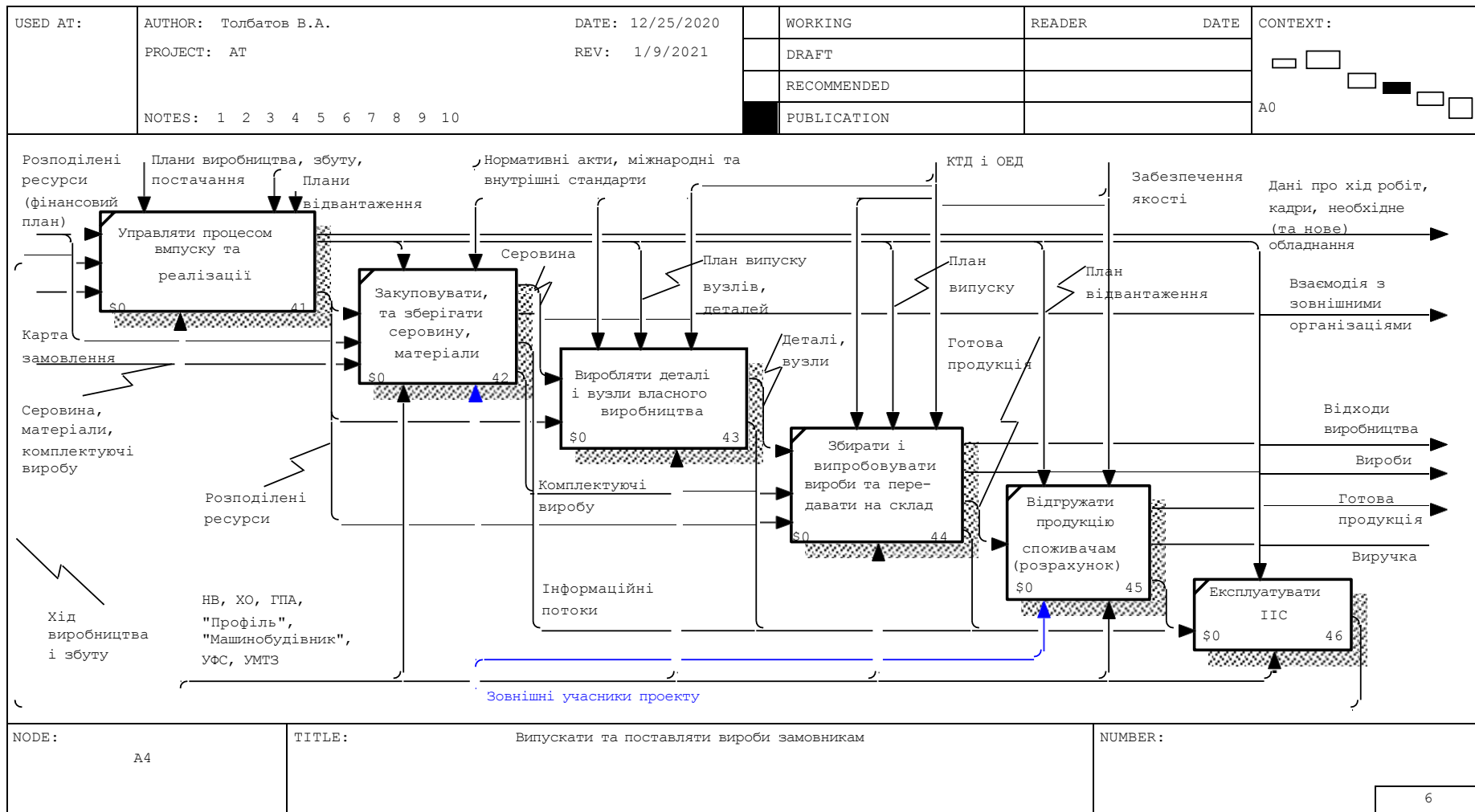


Рис.А.5. Діаграма А-4 "Випускати та поставляти вироби замовникам"

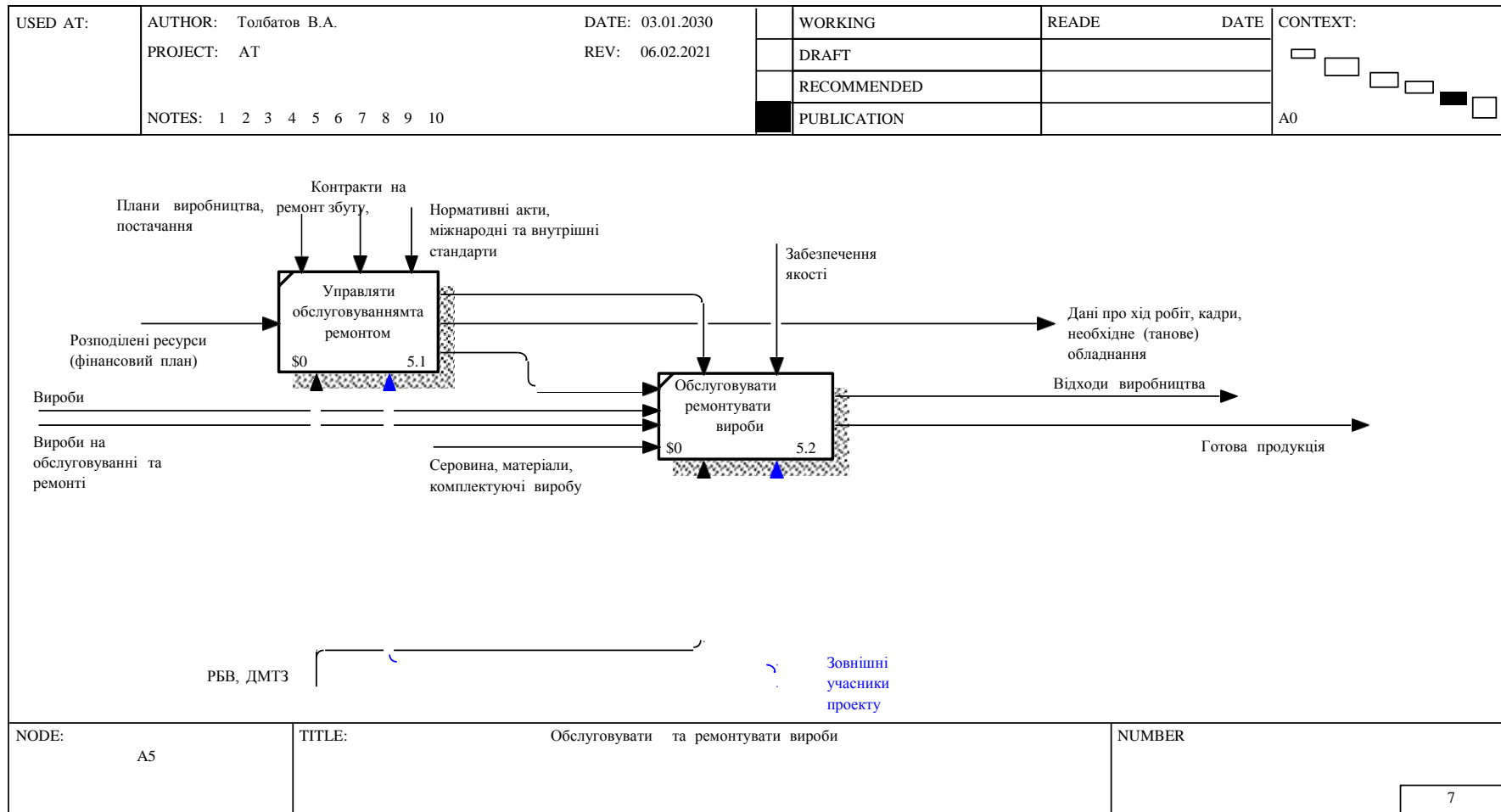


Рис.А.6. Діаграма А-5 "Обслуговувати та ремонтувати вироби"

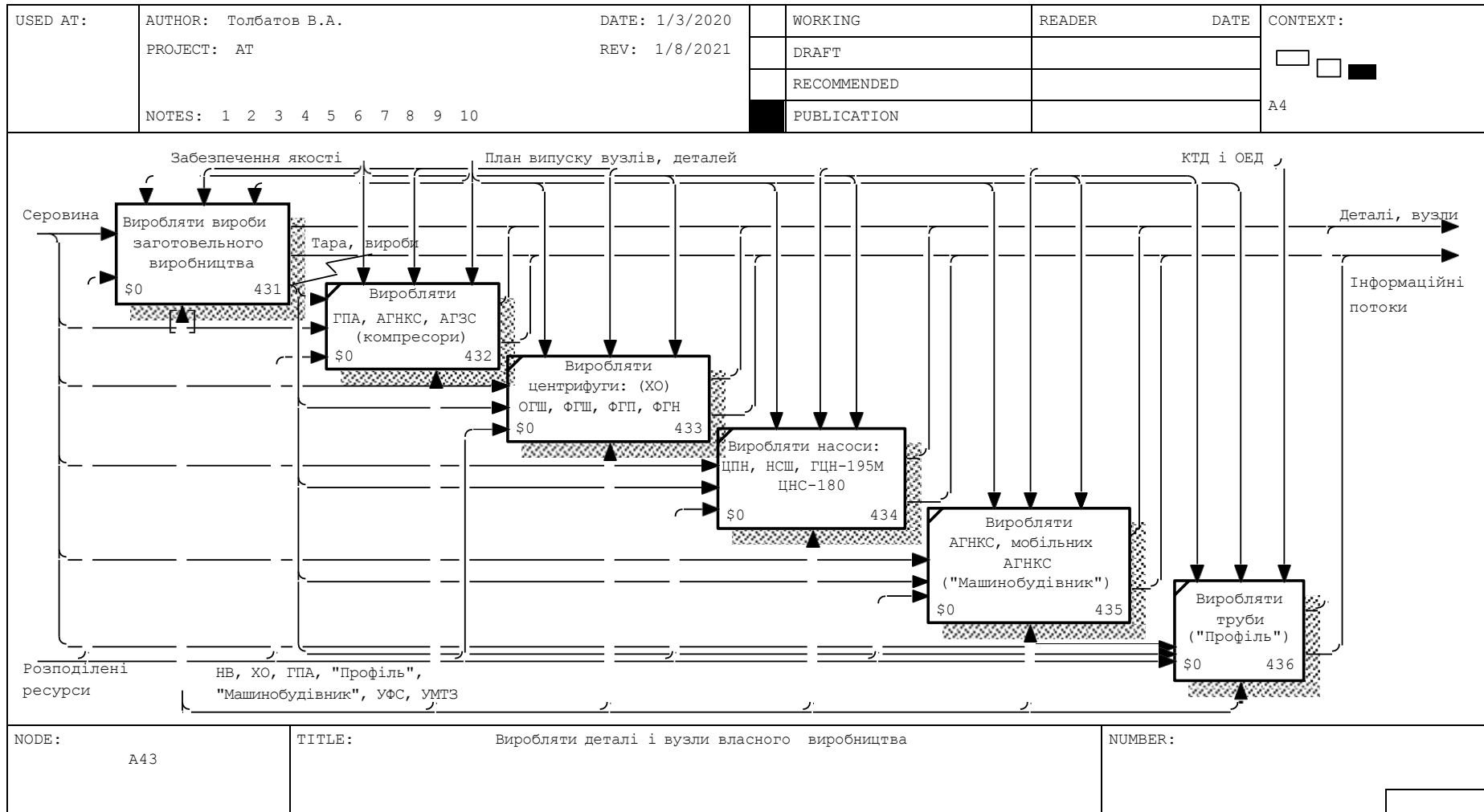


Рис.А.7. Діаграма А-43 "Виробляти деталі і вузли власного виробництва"



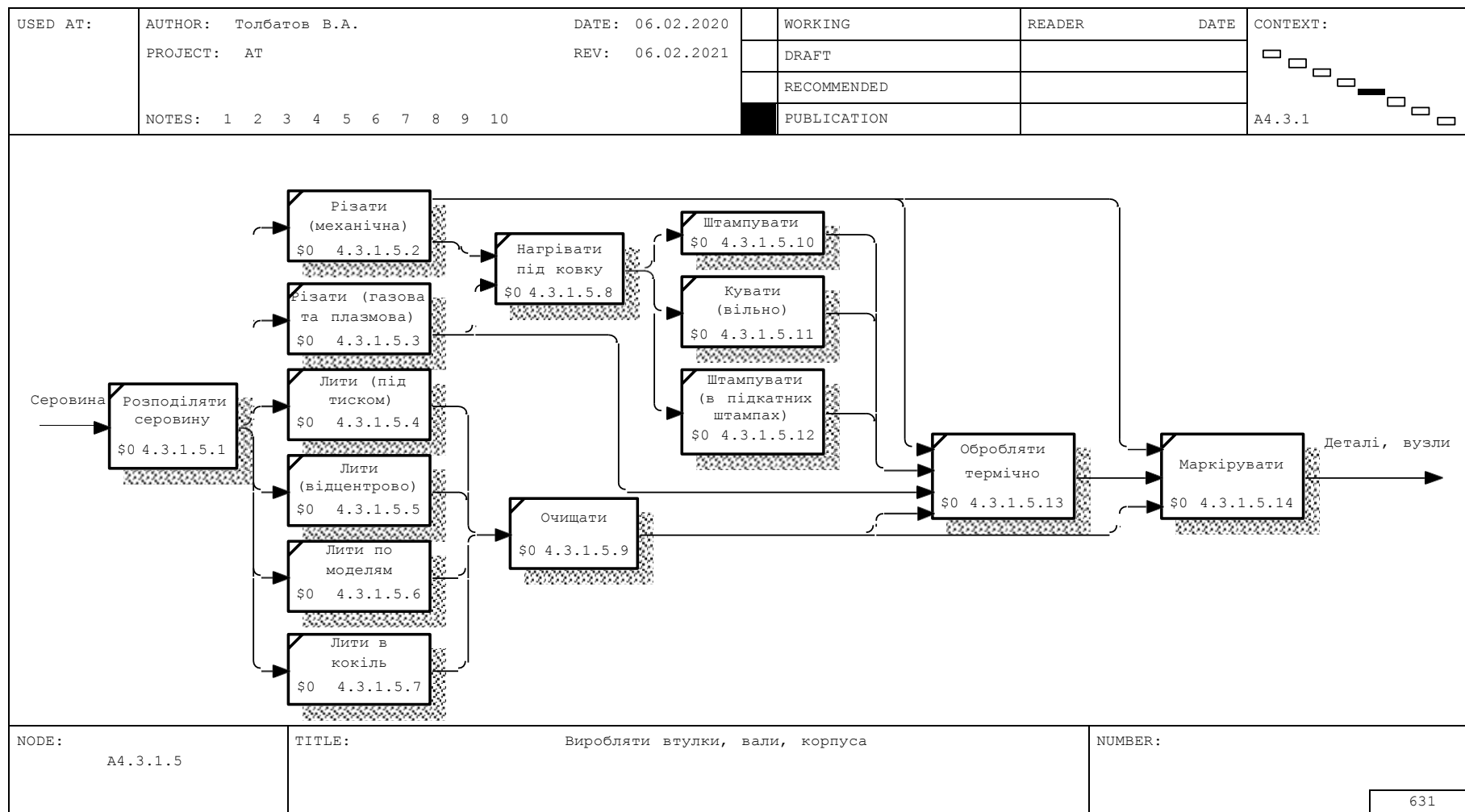


Рис.А.8. Діаграма А-4315 "Виробляти втулки, вали, корпуси", (ковальний цех та цех лиття)

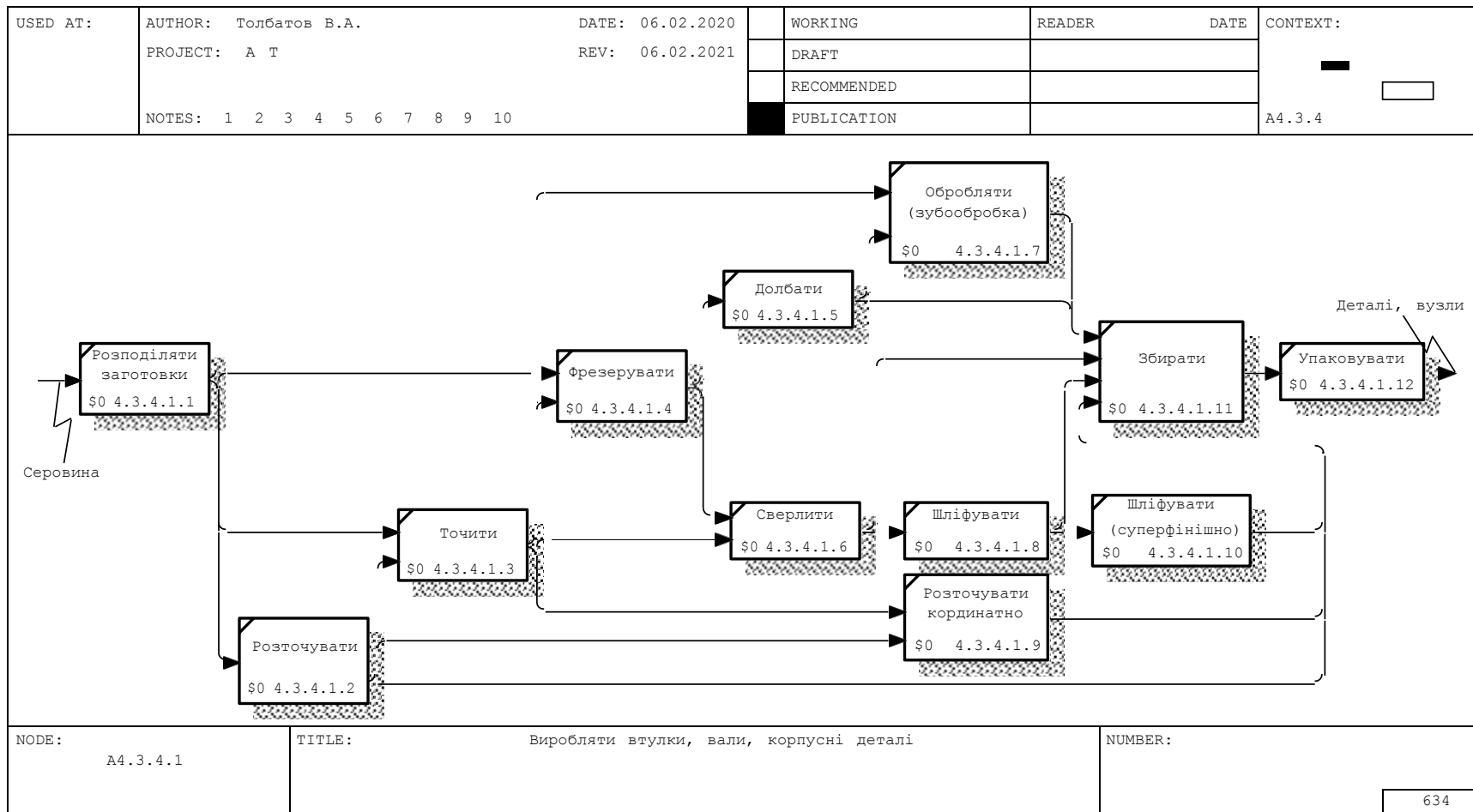


Рис.А.9. Діаграма А-4341 "Виробляти втулки, вали, корпусні деталі", (механозборочний цех, дрібносерійне виробництво)

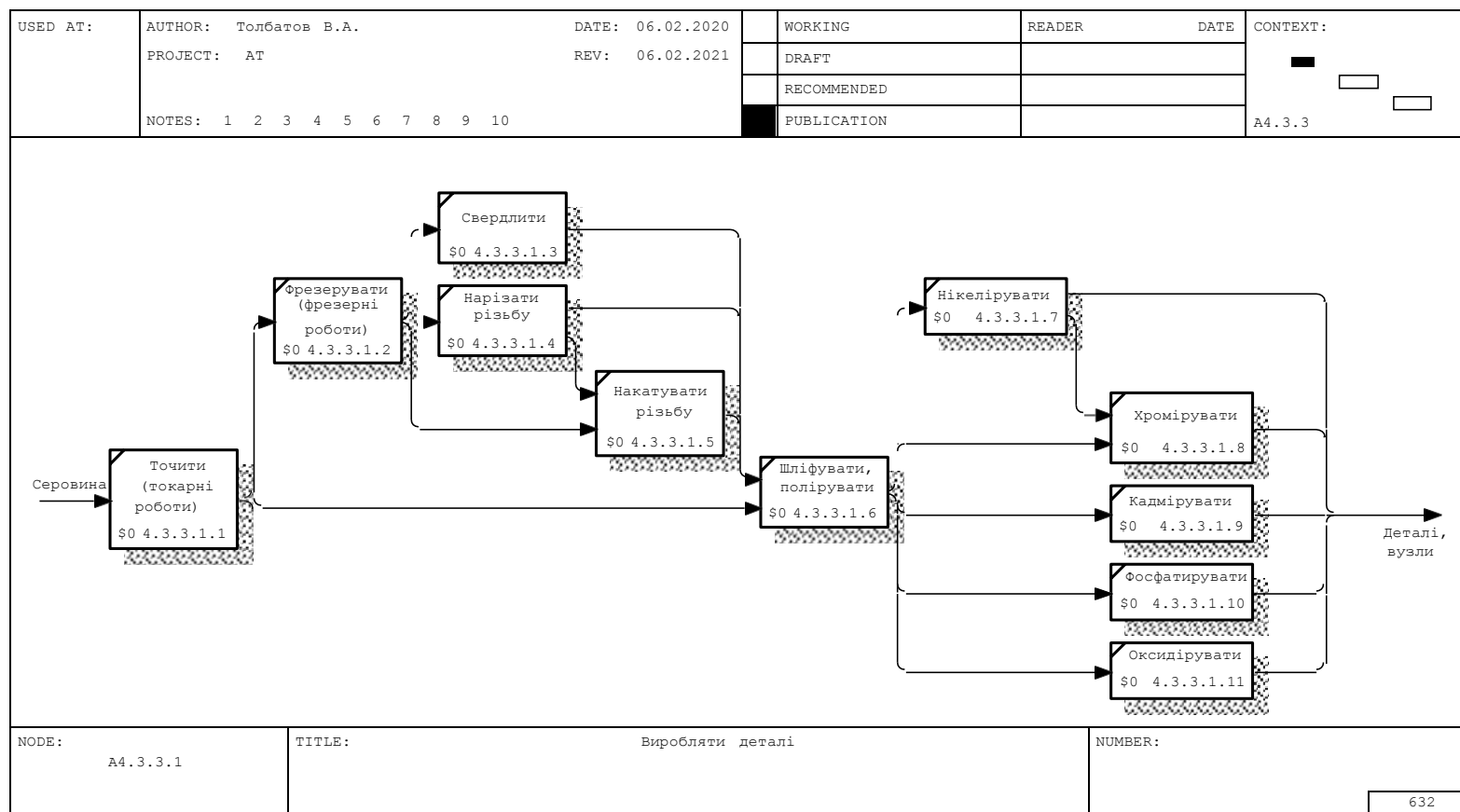


Рис.А.10. Діаграма А-4331 "Виробляти деталі",  
(метизний цех, крупносерійне виробництво)

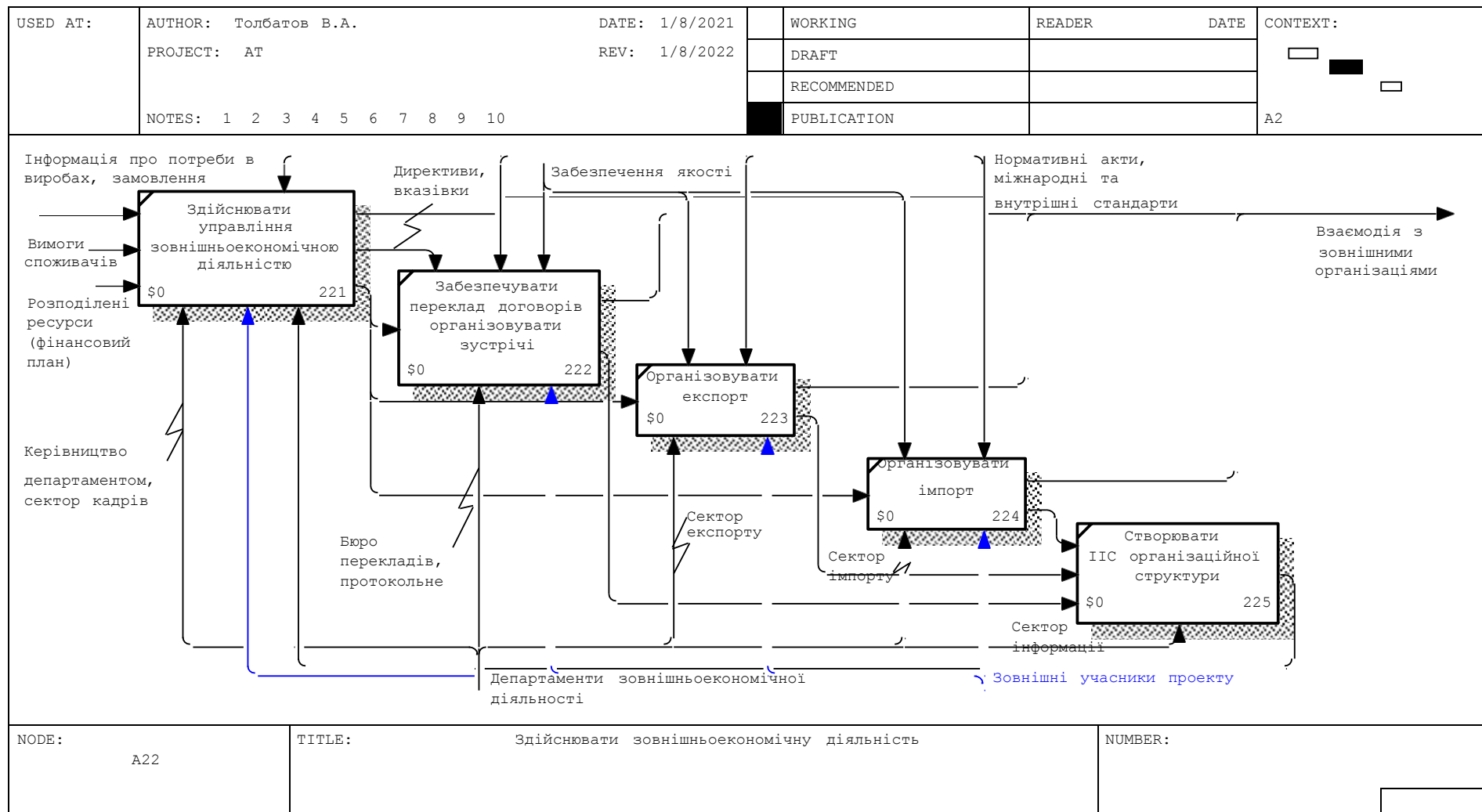


Рис.А.11. Діаграма А-22. "Здійснювати зовнішньоекономічну діяльність"

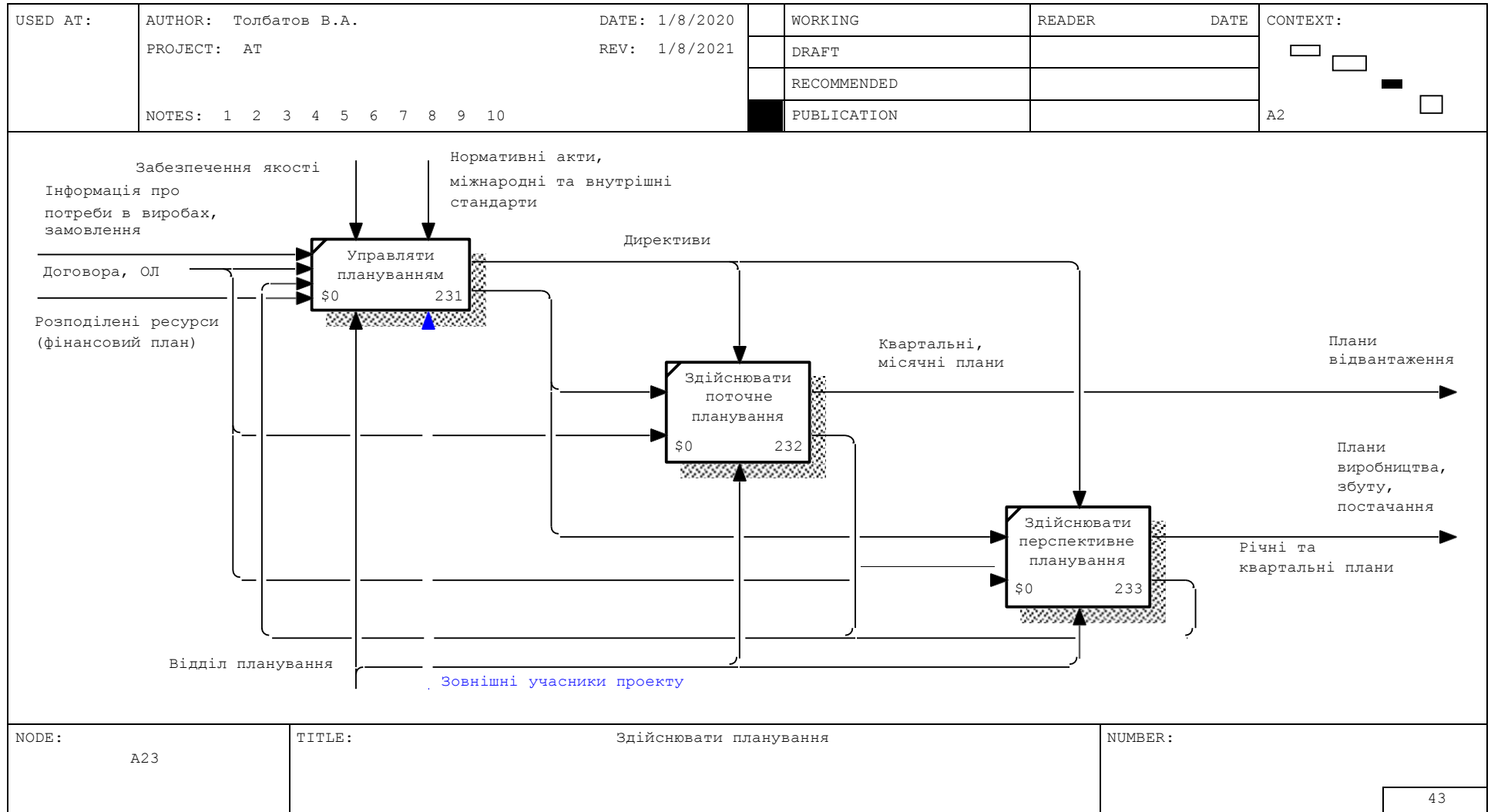


Рис.А.12. Діаграма А-23. "Здійснювати планування"

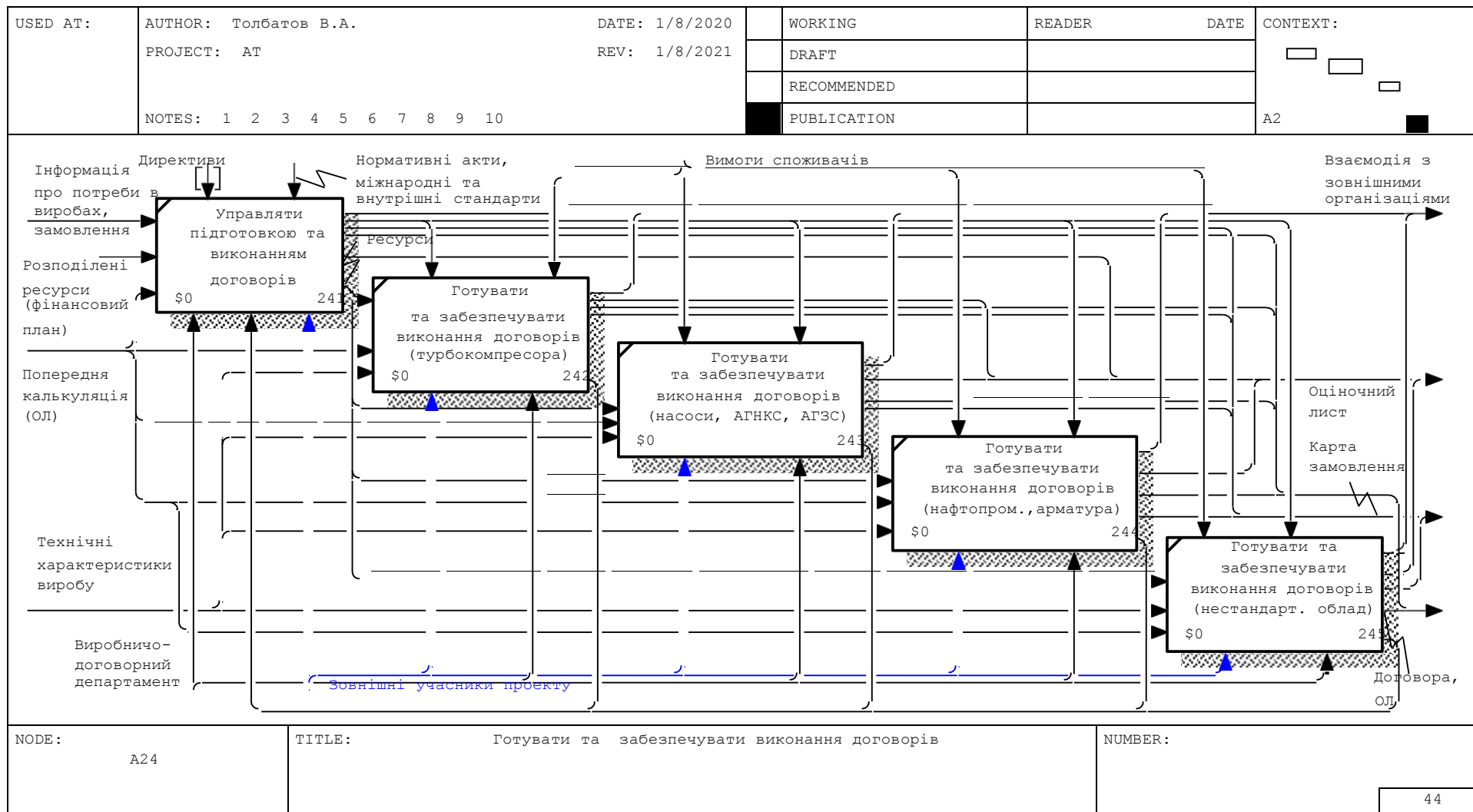


Рис.А.13. Діаграма А-24. "Готувати та забезпечувати виконання договорів"

## Деревовидні діаграми А-2, А-21-А24.

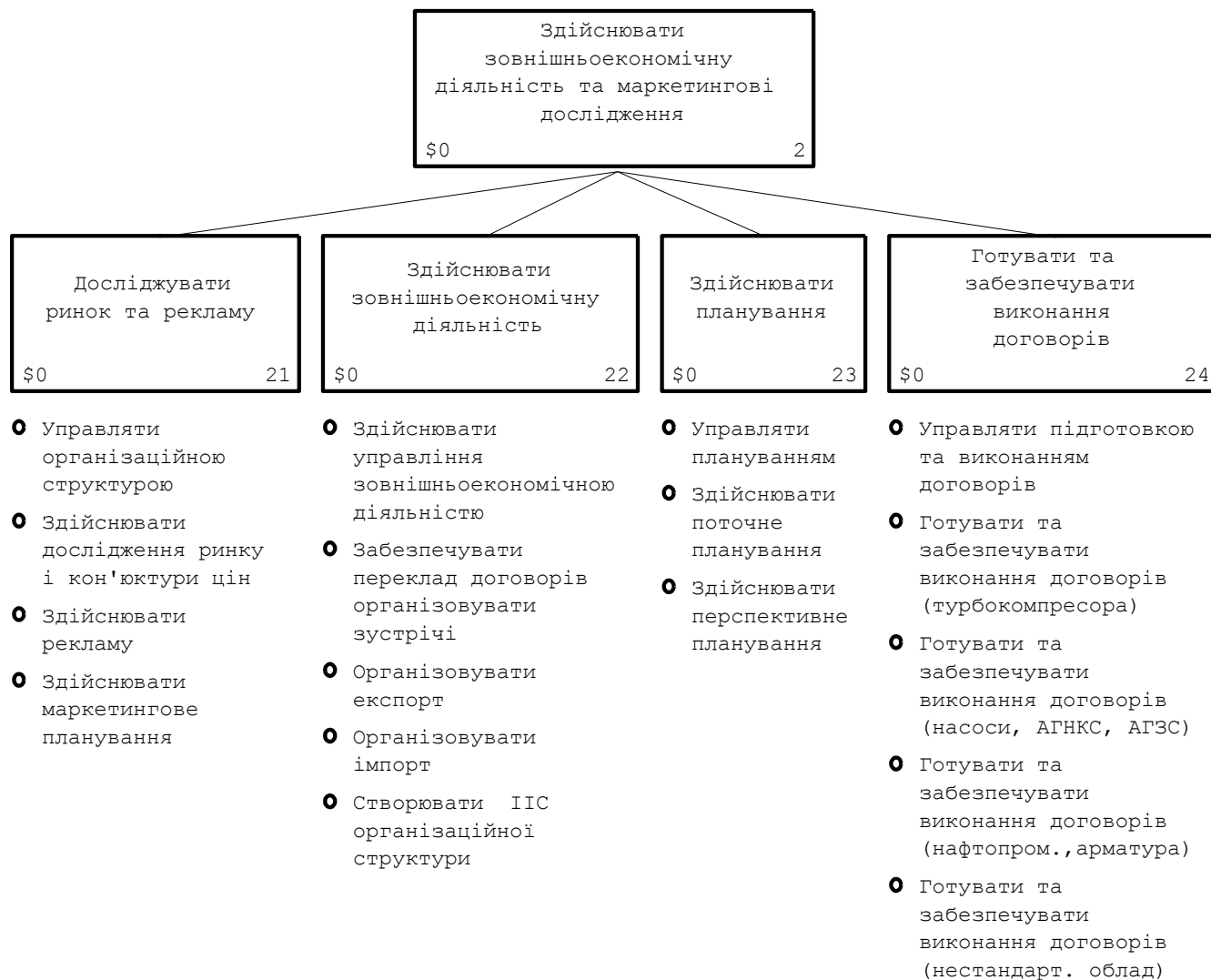


Рис.Б.1. Деревовидна діаграма А-2

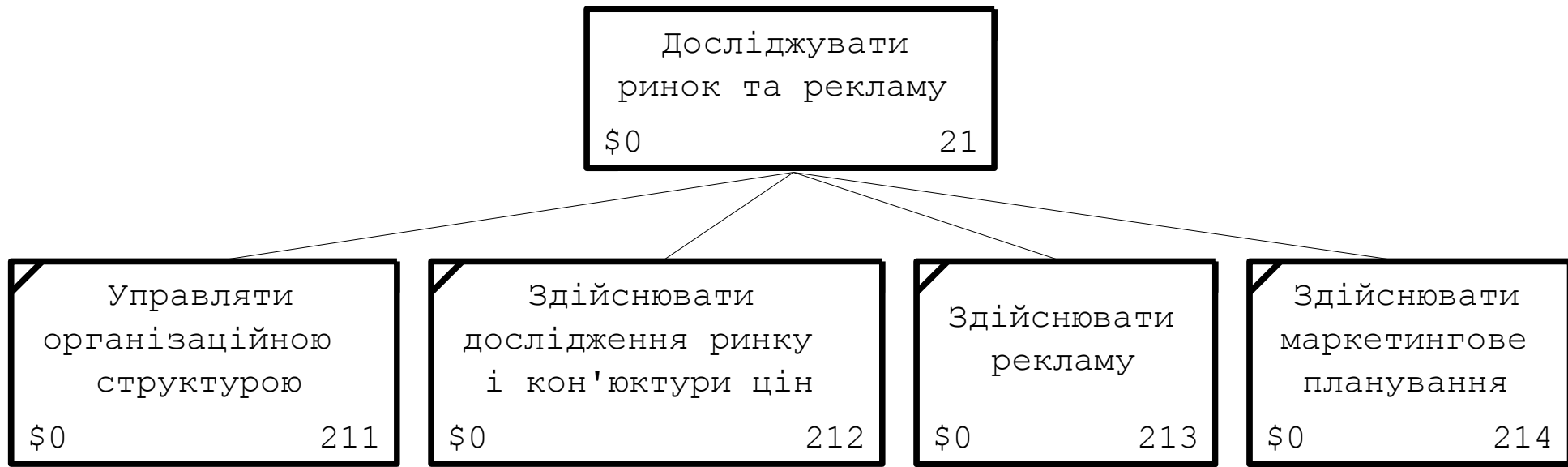


Рис.Б.2. Деревовидна діаграма А-21



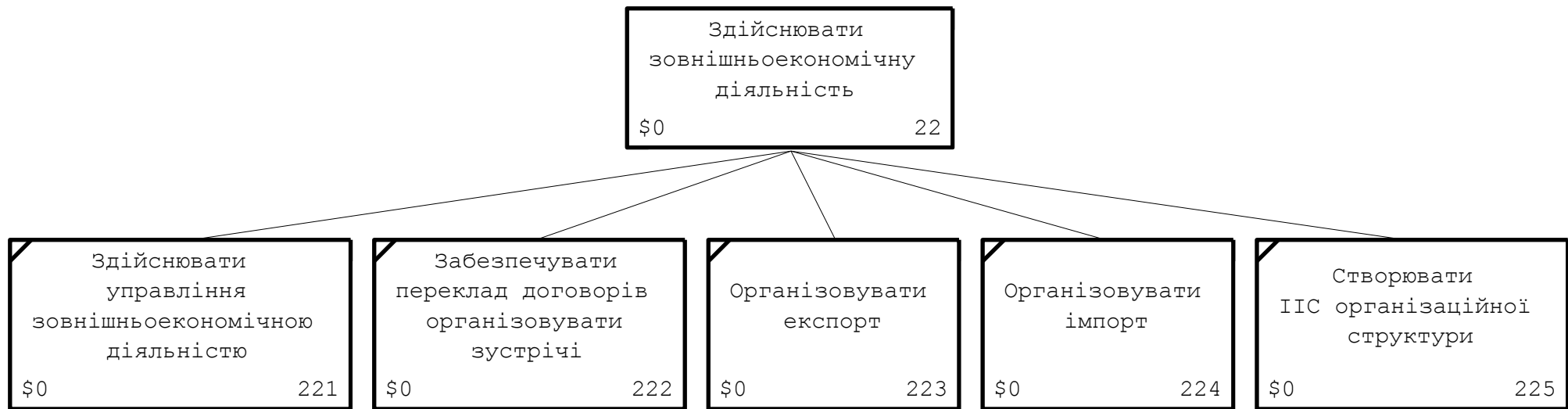


Рис.Б.3. Деревовидна діаграма А-22

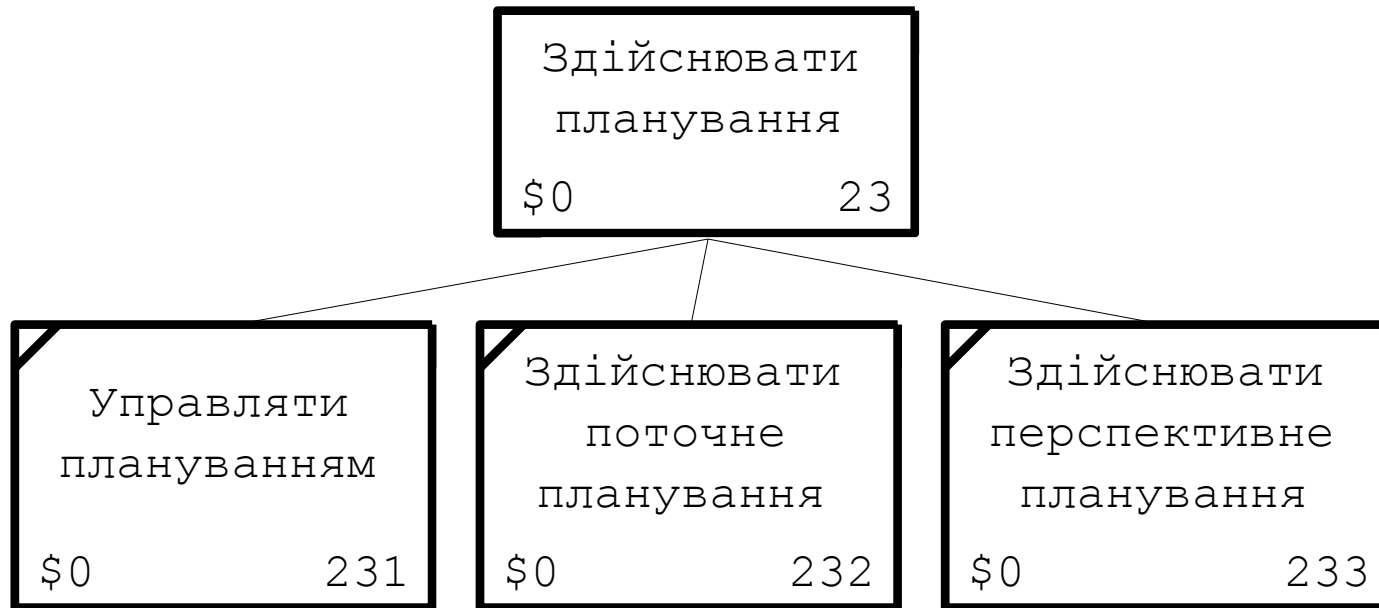


Рис.Б.4. Деревовидна діаграма А-23

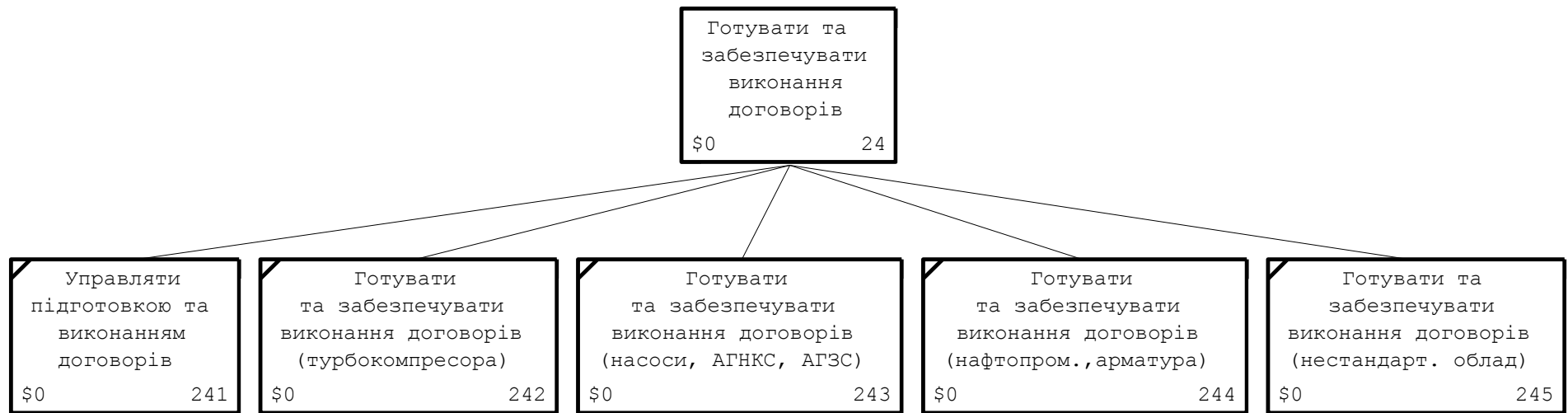


Рис.Б.5. Деревовидна діаграма А-24

## Додаток В

## Фрагмент організаційної моделі АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – Інжиніринг».

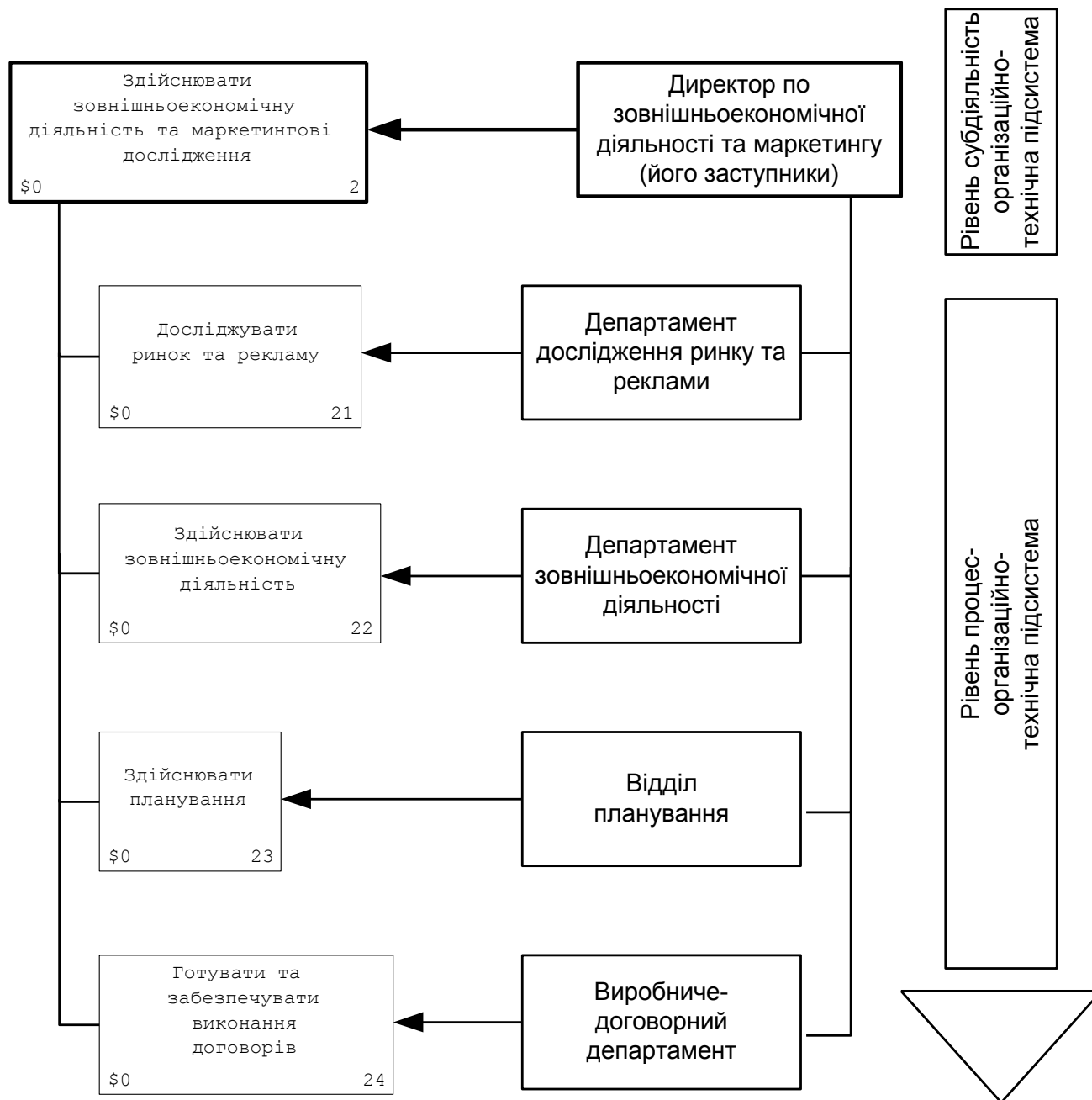


Рис.В.1. Перехід від функціональних блоків деревовидної діаграми А-2 до відповідної організаційної структури з використанням блоків організаційно-технічної структури (ієрархії механізмів)

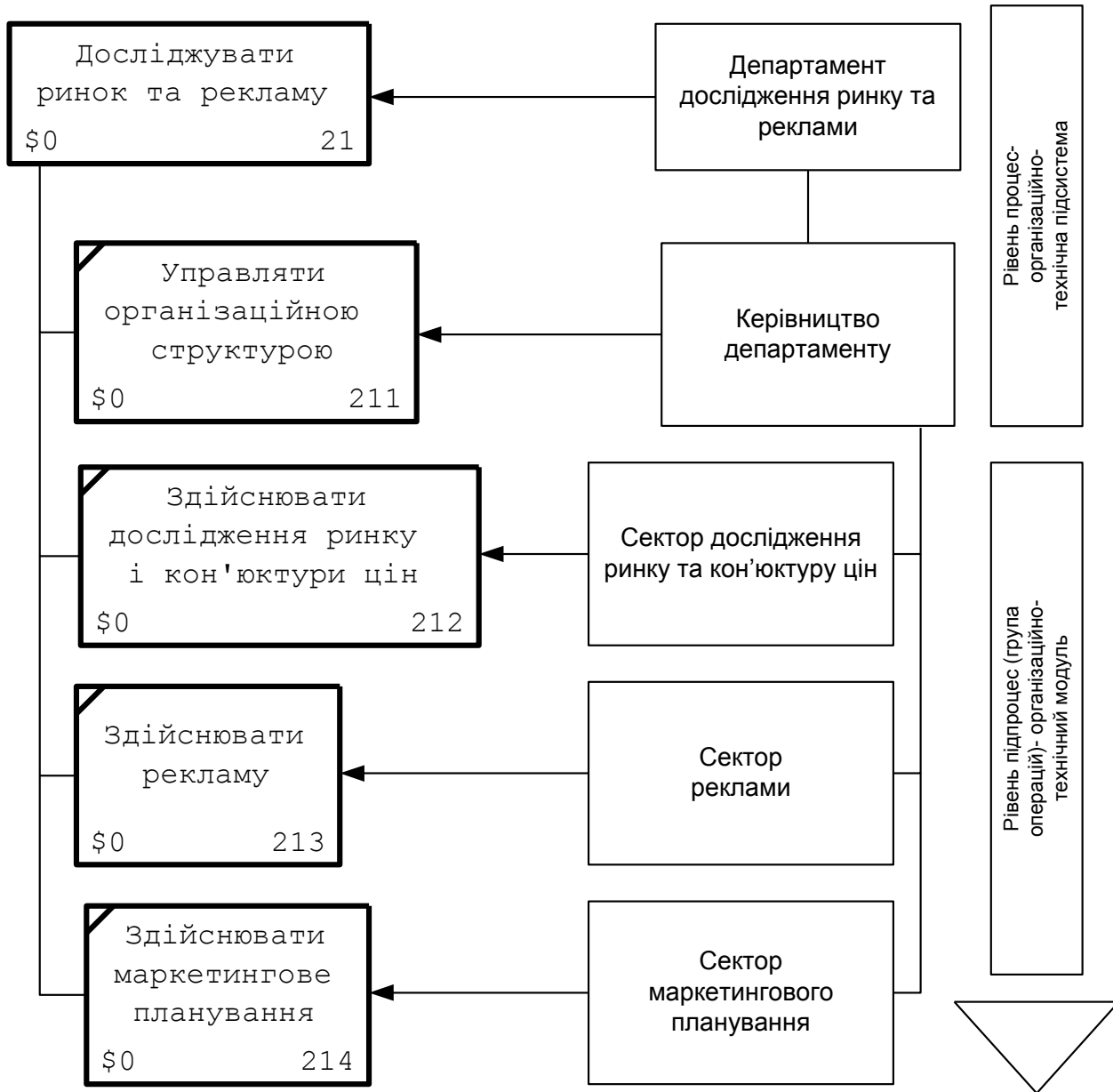


Рис.В.2. Перехід від функціональних блоків деревовидної діаграми А-21 до відповідної організаційної структури з використанням блоків організаційно-технічної структури (ієрархії механізмів)

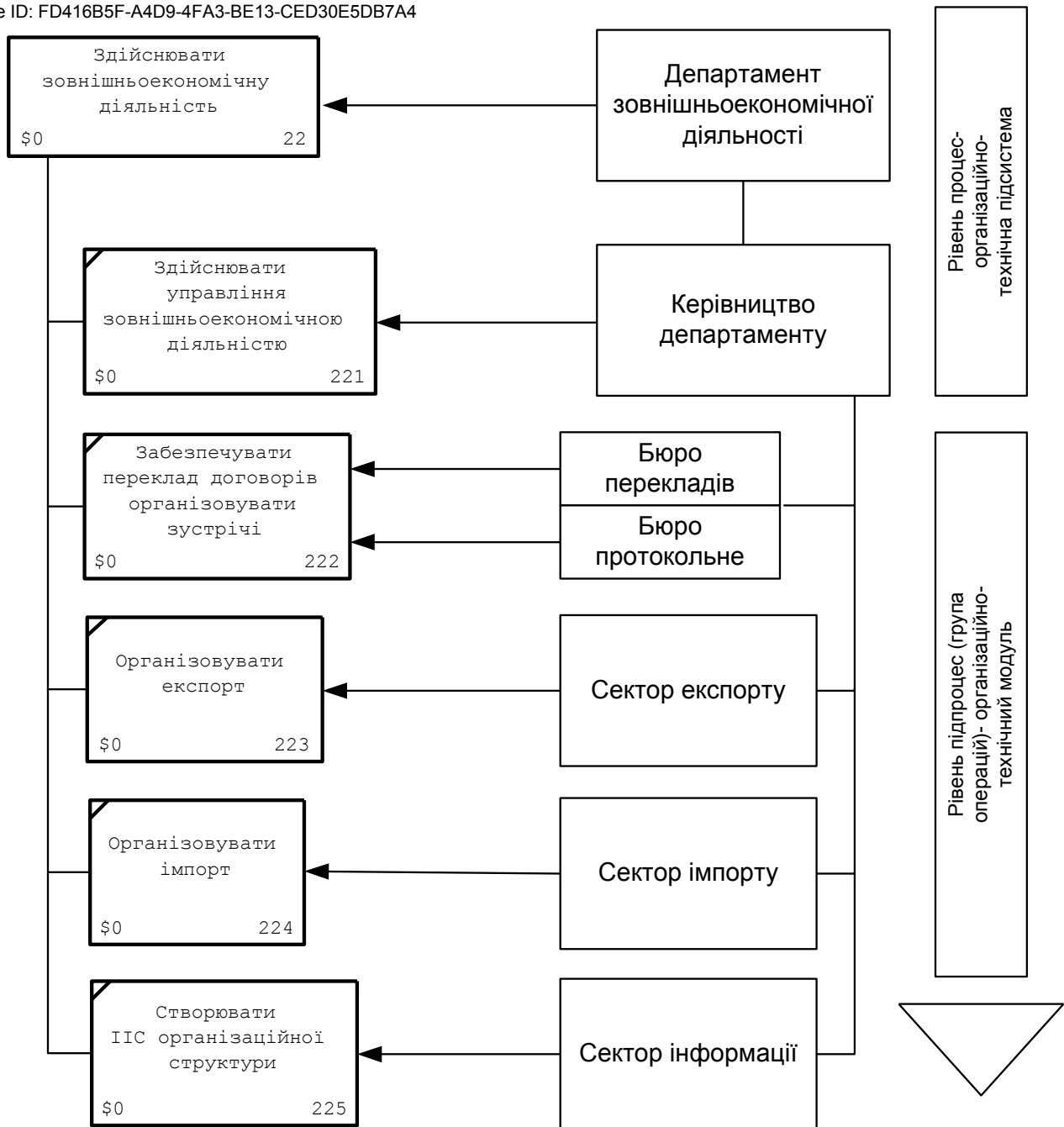


Рис.В.3. Перехід від функціональних блоків деревовидної діаграми А-22 до відповідної організаційної структури з використанням блоків організаційно-технічної структури (ієрархії механізмів)

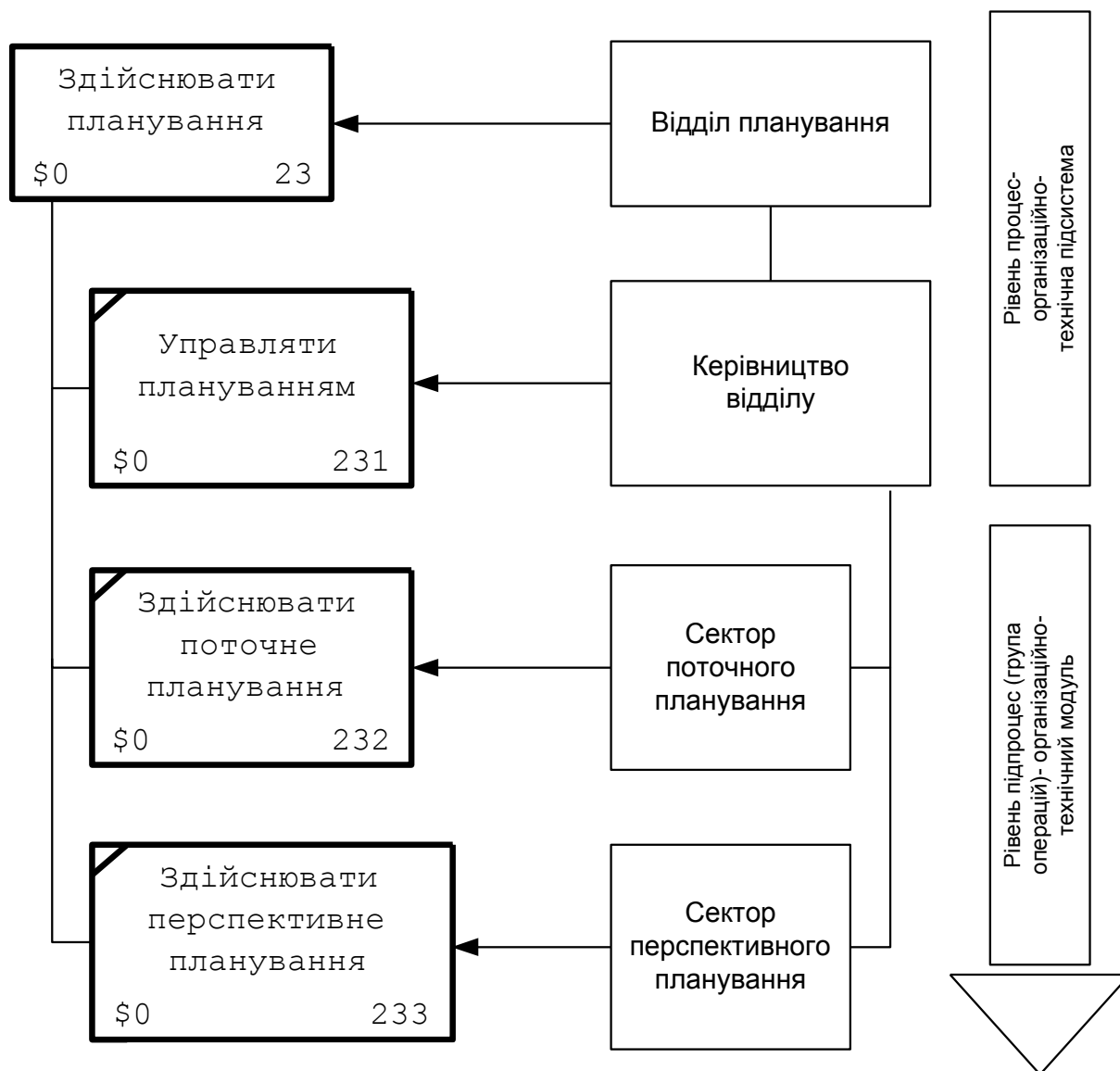


Рис.В.4. Перехід від функціональних блоків деревовидної діаграми А-23 до відповідної організаційної структури з використанням блоків організаційно-технічної структури (ієрархії механізмів)

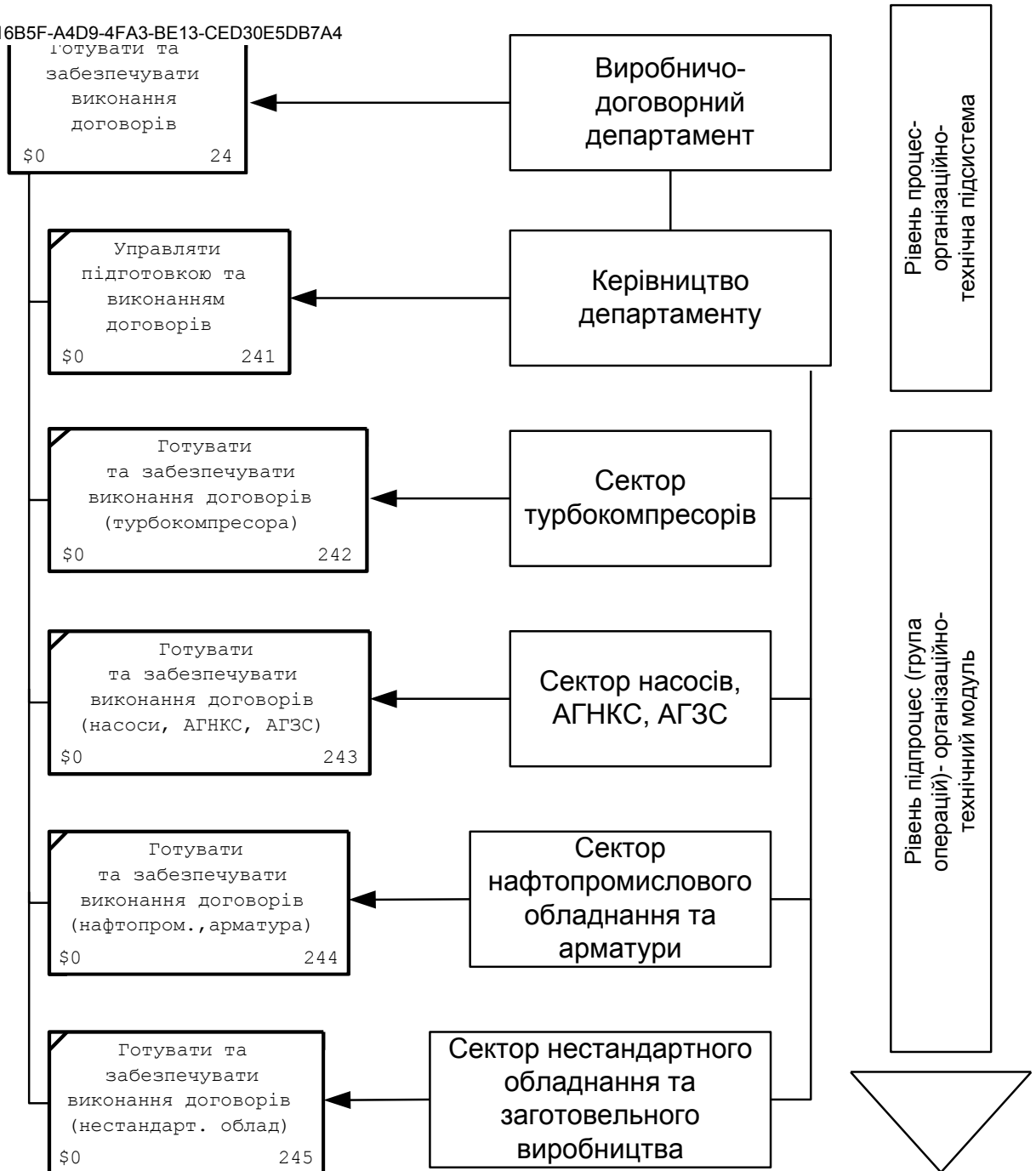


Рис.В.5. Перехід від функціональних блоків деревовидної діаграми А-24 до відповідної організаційної структури з використанням блоків організаційно-технічної структури (ієрархії механізмів)



## СХЕМА УПРАВЛІННЯ підрозділами директора по зовнішньоекономічній діяльності та маркетингу

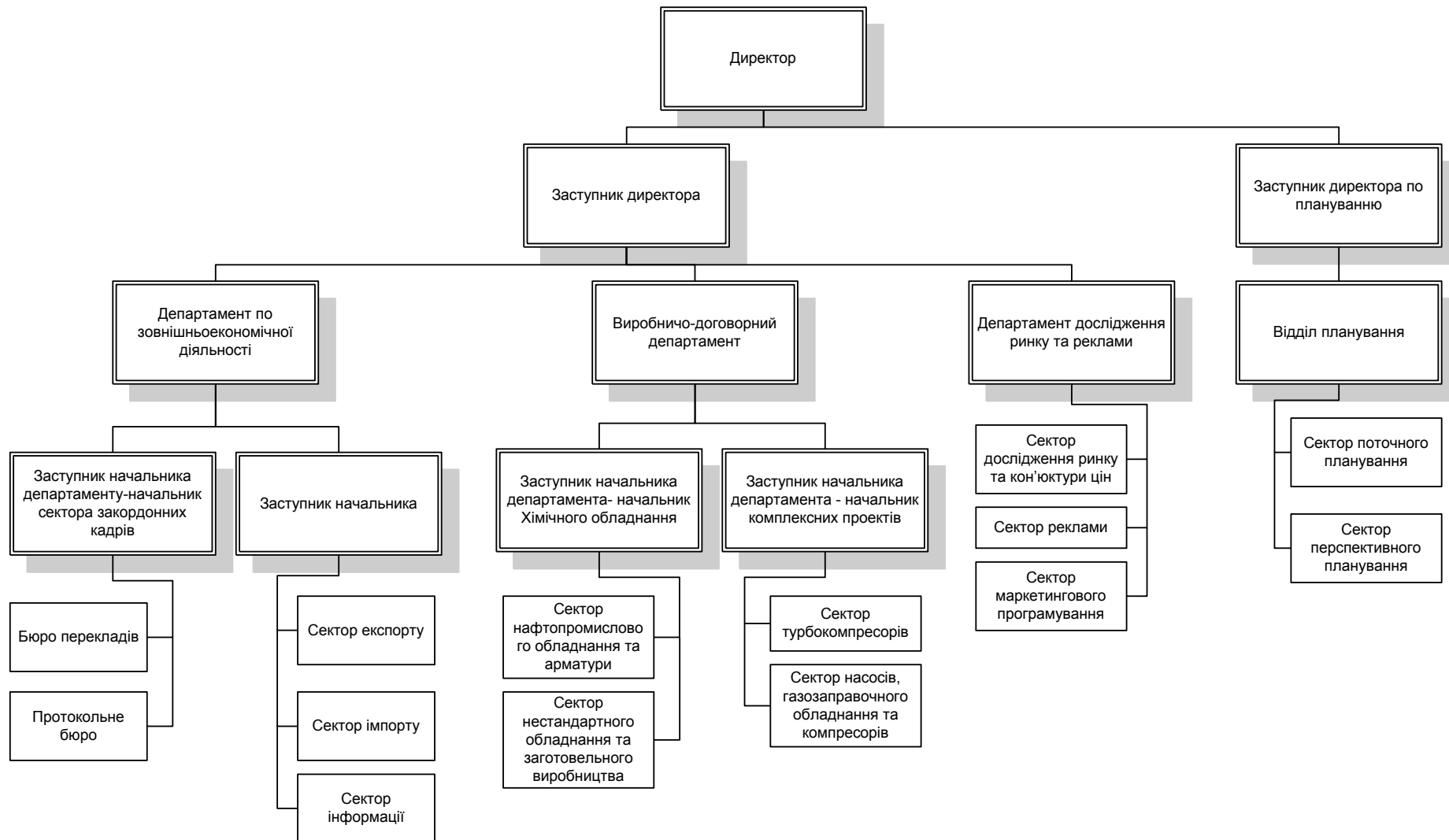


Рис.В.6. Організаційна модель підрозділів зовнішньоекономічної діяльності.

## Програмна реалізація математичної моделі технологічних процесів.

```

CLS
PRINT "Input number of stations"
INPUT m
PRINT "Input time of component's aquisition"
INPUT Tn

DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
INPUT #1, P(i, j)
NEXT j: NEXT i

OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
INPUT #2, C(i, j)
NEXT j: NEXT i

FOR i = 1 TO m
a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

FOR k = 0 TO m
IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1 NEXT k

l(i) = a4

mu(i) = 1 / P(i, 1)
ro(i) = l(i) / mu(i)
Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

FOR d = 1 TO P(i, 3)

a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

FOR h = 1 TO d
a21 = h * a2: a2 = a21
NEXT h

a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

```

NEXT d

```

P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
Tw(i) = Nw(i) / l(i)
Ts(i) = Ns(i) / l(i)
Tpr(i) = P0(i) / l(i)

```

```

PRINT USING "####.###"; i; mu(i); l(i); Con(i); P0(i); Nw(i); Ns(i); Tw(i); Ts(i); Tpr(i)
PRINT #3, USING "####.###"; i; mu(i); l(i); Con(i); P0(i); Nw(i); Ns(i); Tw(i); Ts(i);
Tpr(i)

```

```

DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

```

```

OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
INPUT #1, P(i, j)
NEXT j: NEXT i

```

```

OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

```

```

FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
INPUT #2, C(i, j)
NEXT j: NEXT i

```

```

FOR i = 1 TO m
a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

```

```

FOR k = 0 TO m
IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1 NEXT k

```

```

l(i) = a4

```

```

mu(i) = 1 / P(i, 1)
ro(i) = l(i) / mu(i)
Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

```

```

IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

```

```

FOR d = 1 TO P(i, 3)

```

```

a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```



```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```



```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```



```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

FOR h = 1 TO d
  a21 = h * a2: a2 = a21
NEXT h

a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

NEXT d

P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
Tw(i) = Nw(i) / l(i)
Ts(i) = Ns(i) / l(i)
Tpr(i) = P0(i) / l(i)

DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
INPUT #1, P(i, j)
NEXT j: NEXT i

OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
INPUT #2, C(i, j)
NEXT j: NEXT i

FOR i = 1 TO m
a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

FOR k = 0 TO m
IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1 NEXT k

l(i) = a4

mu(i) = 1 / P(i, 1)
ro(i) = l(i) / mu(i)
Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

FOR d = 1 TO P(i, 3)

a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```



```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
1      NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```

      FOR h = 1 TO d
        a21 = h * a2: a2 = a21
      NEXT h

      a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

    NEXT d

    P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
    Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
    Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
    Tw(i) = Nw(i) / l(i)
    Ts(i) = Ns(i) / l(i)
    Tpr(i) = P0(i) / l(i)

    DIM P(m + 1, 3), C(m + 1, m + 1), l(m + 1), mu(m + 1), ro(m + 1), Con(m + 1)
    DIM P0(m + 1), Nw(m + 1), Ns(m + 1), Tw(m + 1), Ts(m + 1), Tpr(m + 1)

    OPEN "res.dat" FOR OUTPUT AS #3
    OPEN "P.bas" FOR INPUT AS #1
    FOR i = 0 TO m: FOR j = 1 TO 3
      INPUT #1, P(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    OPEN "C.bas" FOR INPUT AS #2
    PRINT " #SO mu l Con P0 Nw Ns Tw Ts Tpr"

    FOR i = 0 TO m: FOR j = 0 TO m
      INPUT #2, C(i, j)
    NEXT j: NEXT i

    FOR i = 1 TO m
      a1 = 1: a3 = 0: l(0) = 1 / Tn: a4 = 0

      FOR k = 0 TO m
        IF C(k, i) = 0 THEN GOTO 1
        a41 = C(k, i) * l(k) * (1 - P(k, 2)) + a4: a4 = a41
      1 NEXT k

      l(i) = a4

      mu(i) = 1 / P(i, 1)
      ro(i) = l(i) / mu(i)
      Con(i) = ro(i) / P(i, 3)

      IF Con(i) = 1 OR Con(i) > 1 THEN PRINT i; Con(i): END

      FOR d = 1 TO P(i, 3)

        a11 = d * a1: a1 = a11: a2 = 1

```

```
FOR h = 1 TO d
  a21 = h * a2: a2 = a21
NEXT h

a31 = a3 + (ro(i) ^ d) / a2: a3 = a31

NEXT d

P0(i) = 1 / (1 + a3 + (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1)) / (a1 * (P(i, 3) - ro(i))))
Nw(i) = (ro(i) ^ (P(i, 3) + 1) * P0(i)) / (P(i, 3) * a1 * ((1 - ro(i) / P(i, 3)) ^ 2))
Ns(i) = Nw(i) + ro(i)
Tw(i) = Nw(i) / l(i)
Ts(i) = Ns(i) / l(i)
Tpr(i) = P0(i) / l(i)

NEXT i
END
```