

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних систем і автоматики  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютерних систем управління  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи  
2АКІТ-20м

спеціальності 151 – Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва спеціальності)

Олександр Демчуков  
(ім'я та прізвище)

Керівник: д.т.н., професор каф. КСУ

Таїса Боровська  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. АІТ

Юрій Іванов  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри КСУ  
д.т.н., проф.

Володимир Дубовой  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет комп'ютерних систем і автоматики  
Кафедра комп'ютерних систем управління  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування  
Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри КСУ

д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ Володимир Дубовой

«01» 10 2021 року

## **З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Демчукову Олександрю Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» керівник магістерської кваліфікаційної роботи Боровська Таїса Миколаївна, д. т. н., професор.  
( прізвище, ім'я, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" вересня 2021 року № 277

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи 12.12.2021 року

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: кількість видів продуктів виробництва до 25, кількість робочих ліній (конвеєрів) - 5, тривалість життєвого циклу продуктів виробництва 1-5 років, критерії – спряжений випуск, витрати, управління інтегрованим виробництвом - оптимальне адаптивне, оперативне і стратегічне. Урахування впливу ринку – моделями - імітаторами. Урахування динаміки і статистики користувачів продукції моделями імітаторами лінійки продуктів з настроюванням параметрів ринку, методи оптимізації - оптимальне агрегування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) – 1- аналіз методів оптимального розподілу ресурсів на виробництво і розвиток; 2 – розробка математичних моделей «паралельні структури»; 3 – розробка і тестування програмного модуля для системи з урахуванням впливу розвитку;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 – розробка об'єкту в структурі регіональної системи; 2 – ресурсна структура, деталізація; 3 – Ізоморфне відображення блок-схеми системи у ДООА; 4 – моделі агрегування бінарних структур – паралельних і моделювання систем виробництва з паралельними структурами;

## 6 Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	доцент кафедри ЕПВМ, доцент, к.е.н. Кавецький В.В.		

## 7. Дата видачі завдання “\_01\_”\_10\_2021 року

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз та огляд сучасних систем управління	15.10.2021р.	
2	Аналіз моделей і методів оптимізації для паралельних ресурсних структур	22.10.2021р.	
3	Постановка і рішення задач динаміки оптимально агрегованих паралельних структур	27.10.2021р.	
4	Розробка програмних модулів оперативного управління виробництвом при довільних завантаженнях	29.10.2021р.	
5	Оптимальне агрегування і дослідження складних паралельних структур	15.11.2021р.	
6	Тестування створених програмних модулів	25.11.2021р.	
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	01.12.2021р.	
8	Захист МКР	22.12.2021р.	

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Олександр Демчуков \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Таїса Боровська \_\_\_\_\_

## АНОТАЦІЯ

Розглядається актуальна для практики і нова для теорії задача оптимального управління процесами оптимального розвитку виробничої системи з узагальненими паралельними структурами. Аналоги з цього напрямку базовані на класичній адитивній паралельній структурі. Розробка присвячена актуальній темі – оптимальному управлінню сучасним виробництвом як цілісною оптимальною, адаптивною системою що складається з підсистем: «розвиток», «виробництво», «рітейл», «рециклінг». з урахуванням динаміки оточення – користувачів і відповідних моделей рітейлу, ринків.

Вибрано методологію оптимального агрегування. Системи оперативного і стратегічного управління на базі методології оптимального управління. Відмінність розробки від аналогів – збирання моделей виробництва розвитку, рітейлу в одну інтегровану модель – функцію користувача з параметрами Інноваційний аспект розробки: - розширення класу паралельних структур виробництва: - узгодження часу виконання операцій в елементах комплексу паралельної структури, - урахування функцій попиту і життєвого циклу об'єктів і технологій виробництва. Методологія оптимального агрегування, знімає проблеми розмірності об'єктів – обчислювальні витрати зростають пропорційно розмірності. Робота є частиною комплексної теми. В другій частині теми розробляються і досліджуються послідовні ресурсні структури. Об'єднання результатів двох частин комплексної теми дозволяє отримувати оптимальне оперативне і стратегічне управління складною системою. Додаткова перевага вибраних методів і розроблених моделей - інформаційна ефективність багаторівневих систем на базі оптимального агрегування: - можливість інформаційного обміну між моделями різних рівнів ієрархії і підсистемами, вбудована можливість реконфігурації при відмовах. Наведено приклади моделювання систем з складним паралельними структурами. Наведено приклади моделювання складних паралельних структур.

**Ключові слова:** *оптимальний розвиток, оптимальне агрегування, інтегровані структури, виробнича система, паралельні структури, агреговані системи*

## ABSTRACT

The problem of optimal control of the processes of optimal development of the production system with generalized parallel structures, which is relevant for practice and new for theory, is considered. Analogues in this area are based on the classical additive parallel structure. The development is devoted to a topical issue - the optimal management of modern production as a holistic optimal, adaptive system consisting of subsystems: "development", "production", "retail", "recycling". taking into account the dynamics of the environment - users and relevant models of retail, markets. The methodology of optimal aggregation is chosen. Operational and strategic management systems based on optimal management methodology.

The difference between development and analogues - collecting models of production development, retail in one integrated model - user function with parameters Innovative aspect of development: - expansion of the class of parallel production structures: - coordination of execution time. Life cycle of facilities and production technologies. The methodology of optimal aggregation, removes the problems of dimensionality of objects - computational costs increase in proportion to the dimensionality.

The work is part of a complex topic. In the second part of the topic, consistent resource structures are developed and researched. Combining the results of the two parts of a complex theme allows you to get optimal operational and strategic management of a complex system. An additional advantage of the selected methods and developed models is the information efficiency of multilevel systems based on optimal aggregation: - the possibility of information exchange between models of different levels of hierarchy and subsystems, built-in possibility of reconfiguration in case of failures. Examples of modeling systems with complex parallel structures are given. Examples of modeling of complex parallel structures are given.

**Keywords:** *optimal development, optimal aggregation, integrated structures, production system, parallel structures, aggregate systems*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ РЕСУРСНИХ СТРУКТУР</b> .....	14
1.1 Аналіз однокрокової моделі та узагальнена задача оптимального агрегування .....	14
1.2. Агрегування довільних структур. Бінарні оператори оптимального агрегування .....	18
1.3. Постановка і рішення задач динаміки оптимально агрегованих паралельних структур.....	22
1.4 Перехід від статички до динаміки оптимально агрегованої системи.....	23
1.5 Динаміка оптимально агрегованої системи.....	26
1.6 Бінарне дерево оптимального агрегування властивості і використання в системі управління .....	29
1.7 Висновки до розділу 1 .....	30
<b>2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ПРИ ДОВІЛЬНИХ ЗАВАНТАЖЕННЯХ</b> .....	32
2.1 Розробка модуля "динаміка оптимально агрегованої виробничої системи" .....	32
2.2 Приклад побудови комп'ютерної моделі оптимального розвитку об'єкту на базі оптимального агрегування «виробництво, розвиток» .....	36
2.3 Приклади і узагальнення параметризованих функцій .....	42
2.4 Узагальнення задач оперативного управління.....	46
2.5 Постановка задачі оптимального розвитку .....	49
2.6 Висновки до розділу 2 .....	52
<b>3 ОПТИМАЛЬНЕ АГРЕГУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУКТУР</b> .....	54
3.1 Технологія оптимального агрегування паралельних структур .....	54
3.2 Узагальнення задач розвитку для паралельних ресурсних структур .....	57
3.3 Приклади і аналіз результатів моделювання розвитку об'єктів з паралельними ресурсними структурами.....	62

3.4. Оптимальне агрегування паралельних структур з елементів класу «виробництво, розвиток» .....	64
3.5 Аналіз параметричного зв'язку .....	67
3.6 Висновки до розділу 3 .....	73
<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>75</b>
4.1 Оцінювання наукового ефекту.....	75
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	78
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	78
4.2.2 Відрахування на соціальні заходи .....	81
4.2.3 Сировина та матеріали.....	81
4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	83
4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт .....	83
4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт .....	83
4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень .....	84
4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей .....	85
4.2.9 Службові відрядження.....	86
4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	86
4.2.11 Інші витрати.....	86
4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати.....	87
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	88
4.4 Висновки до розділу 4 .....	89
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>91</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>93</b>
Додатки.....	102
Додаток А(обов'язковий) .....	103
Додаток Б (лістинг програми).....	107
Додаток В (ілюстративна частина).....	108

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Сучасний стан світового виробництва: глобалізація, зростання ефективності за рахунок високих технологій і одночасно – нестійкі соціо-технологічні структури. Обмеження виробництва через насичення попиту – все це спричинене зростання продуктивності виробництва. Побічний наслідок автоматизації – спрощення вимог до інтелекту робочих місць. Фактично розвиток виробничих систем і професій некеровано і несвідомо спрямовується на спрощення задач робочих місць спеціаліста. Відомі технології розробки програм і програмних систем подаються як «чорні ящики». Спеціаліст стає оператором на своєму робочому місці, який твердо знає «що буде якщо». Персонал систем управління повинен знати «що зробити, щоб отримати..». Вибрана для виконання роботи методологія оптимального агрегування від спеціаліста вимагає і дає можливість доводити систему управління до рівня «що зробити, щоб отримати..». Методологія оптимального агрегування задовольняє цій вимозі. Подібний підхід формулюється як перехід «від навчання до розуміння».

Сучасне виробництво постійно автоматизується, часто в модель виробництва включаються витрати на виробників. Сьогодні змінилась структура суспільства: від «селяни – 50%, індустріальні виробники – 40%», соціум перейшов до «інші виробники – в обслуговуванні: доставка піци, домашні викладачі і тренери, робітники глобальних інформаційних структур». Розробки оптимальних адаптивних систем управління мають необмежене коло нових задач для складних і великих систем. Особливість таких розробок: отримання не тільки знань, але ще і розуміння моделей і методів оптимального агрегування. Вимога розуміння задач робочого місця інженера – загальна тенденція науки і техніки сьогодні. З цієї позиції подаємо огляд типових задач і методів комп'ютерного управління.

По тематиці даної магістерської роботи було виконано бакалаврську роботу з оптимального управління кредитними стратегіями. Ця робота дала необхідні знання з фінансових методів і стратегій як складової системи управління підприємством – важливий крок у виконанні магістерської за напрямом під-



готовки. Сьогодні управління фінансами необхідно інтегрувати з підсистемами виробництва, розвитку, постачання – це дозволяє реалізувати оптимальне адаптивне без пошукове управління без запізнень.

Головні проблеми науки в області управління глобалізованим виробництвом: розробка «твердих» математичних платформ» для методів оптимального адаптивного управління виробничими системами - від кондиціонера до державної економіки [5]. Судячи з суспільних і наукових публікацій, економісти і спеціалісти з управління ще не розробили моделі управління виробництвом в умовах насичених ринків і процесів «деглобалізації» виробництва у автономні кластери.

Ці відмінності можна бачити в нових термінах науково-технічних публікацій: «цифровий інжиніринг» – комп'ютерні методи розробки «безпілотних» систем управління, «цифрова копія» – імітаційна модель об'єкта придатна для заміни реального об'єкту у довгих ресурсних випробуваннях[6]. Головна проблема в названих змінах – відставання математичного і програмного забезпечення сучасних виробництв від зростання складності і динамічності сучасних виробництв. Зокрема в сучасних програмних системах недостатньо використовується векторизація та символічні обчислення.

Тема даної роботи – розробка комп'ютерної системи оптимального адаптивного управління системами виробництва і розвитку сучасними виробничими системами, для певного класу сучасних структур виробництва – паралельних: аддитивних, багатопродуктових, структур - комплектів. Природне питання – що може бути простіше паралельних структур з критерієм оптимізації «сума, накопичення»? Однак паралельні структури можуть бути складними при введенні обмежень на час виконання, фазу життєвого циклу, стан рітейлу продукту виробництва. Для таких складних паралельних структур потрібна розробка і дослідження[7].

Перша частина даної роботи – аналіз зовнішніх і внутрішніх аналогів. «Внутрішні» аналоги – дисертації, монографії, статті і попередні дипломні роботи, зокрема своя бакалаврська робота. Специфіка вибраної методології опти-

мального агрегування в тому, що вона потребує не тільки вивчення методів а ще і «розуміння». Останній термін трактується як здатність безкомп'ютерного прогнозування, передбачення.

Оптимізація виробництва ускладнюється високою розмірністю, динамічністю і суттєвою нелінійністю характеристик виробничих систем. Це потребує розробки нових моделей, методів і програм для нових автоматизованих систем управління.

Виробничі системи і техпроцеси виробництва як об'єкти моделювання і управління мають велике число змінних і параметрів. Складні нелінійні зв'язки між змінними, недостатність апріорної інформації про закономірності протікання процесів створюють значні труднощі при моделюванні технологічних процесів (ТП), якщо користуватись класичними методами оптимізації такими, як лінійне, випукле, цілочислове програмування. Головний недолік класичних методів – комбінаторне зростання обчислювальних витрат при зростанні розмірності задачі оптимізації, вимоги – лінійність, неперервність функцій і похідних, не вирішують проблему розмірності, крім того методи оптимізації є пошуковими і не гарантують отримання задовільного результату за гарантований час[8-10].

В другій частині поставлена і виконана задача оптимального агрегування і виконане рішення задачі виробництва і розвитку нових класів паралельних структур. В третій частині виконано розробку програмних модулів та інтерфейсів, подано приклади тестування і досліджень.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності управління сучасними системами проектів розвитку виробництва за рахунок розробки і використання узагальненої моделі оптимального виробництва і розвитку виробничих систем на базі методології оптимального агрегування та методів прикладного системного аналізу. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз стану розробки моделей систем виробництва з паралельними структурами класів «аддитивна» та «комплект» як динамічних систем і методів оптимального управління цими структурами;
- виконати аналіз типових структур сучасних виробничих систем як динамічних структур із ресурсними і часовими зв'язками;
- розробити узагальнену модель виробництва з паралельною структурою і розвитку виробничої системи як елемента інтегрованих систем «виробництво, розвиток, рітейл, рециклінг»;
- проаналізувати проблему узгодження в часі потоків елементів структури «комплект»;
- виконати моделювання тестової структури системи проектів.

**Об'єкт дослідження** – процеси функціонуванні розвитку виробничої системи з паралельними структурами.

**Предмет дослідження** – методи оптимального агрегування системи проектів з зв'язками «час виконання». «Часовий зв'язок» це: проект А повинен почати випуск продукту пА в момент Т1 для проекту Б, який може зупинитись через непостачання продукту пА. Для дотримання часового зв'язку вводиться управління моментом виконання.

**Методи дослідження:** методи прикладного системного аналізу в побудові моделей проектів, методи оптимального агрегування в управлінні проектами.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Розроблено новий оператор оптимального агрегування паралельної структури виробничих елементів і підсистеми розвитку, що не має прямих аналогів і дозволяє замінити таку паралельну структуру одним, оптимальним еквівалентним елементом, що дає змогу підвищити ефективність управління виробничою структурою з часовими зв'язками між елементами (вводиться в оператор змінна «стан структури»).

2. Покращено бінарний оператор оптимального агрегування паралельної структури класу «комплект», де в оператор оптимального агрегування вводиться

ся управління часом виконання елементів комплекту, що дає змогу підвищити ефективність функціонування паралельної структури «комплект».

**Практичне значення одержаних результатів** в першу чергу в отриманні програмної системи для вивчення і дослідження системи управління проектами. Сьогодні, по можливості, в склад розробки нової системи управління включають програмні засоби для отримання знань на «віртуальній реальності». Відмінність від існуючих стендів, що відтворюють існуючий об'єкт наша розробка відтворює нову розробку – «оптимальне управління виробництв з паралельними структурами». Оптимально агреговані моделі є задовільно адекватні через відсутність спрощень. Зокрема це такі програми для досліджень:

- модуль моделювання системи з адитивною паралельною структурою;
- модуль моделювання системи з багатопродуктовою структурою;
- модуль моделювання системи з структурою «комплект».

Всі розроблені програмні модулі успішно пройшли тестування, яке підтвердило коректність і ефективність нових математичних моделей оптимального агрегування.

**Особистий внесок магістранта.** Усі результати отримано автором самостійно. З робіт, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто магістрантом: [1] – розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком для об'єктів з узагальненими паралельними структурами; [2] – розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком для об'єктів з узагальненими послідовними структурами; [5] – система оптимального управління розвитком підприємства з урахуванням кредитів.

**Апробація результатів.** Основні положення та результати виконаних в магістерській роботі досліджень доповідались та обговорювались на конференціях:

- НТКП ВНТУ. Факультет комп'ютерних систем і автоматики, Ukraine, (2020, 2021)

**Публікації.** Результати теоретичних і експериментальних досліджень викладені і опубліковані в друкованих працях [1,2,4].

## **1 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ РЕСУРСНИХ СТРУКТУР**

Розділ присвячено дослідженню, огляду , аналізу і вибору методів оптимізації паралельних ресурсних структур – об’єктів аналізу і синтезу на базі аналогів. Мала кількість аналогів обумовлена складністю математичних моделей ресурсних структур. Тема актуальна та інноваційна.

### **1.1 Аналіз однокрокової моделі та узагальнена задача оптимального агрегування**

На рис. 1.1 подано порядок рішення базової однокрокової задачі оптимального агрегування для класичної задачі оптимального розподілу ресурсу. Бачимо постановку класичних задач нелінійного програмування – прямої і спряженої. В правому стовпчику подано пункти новизни. Оптимізація виконується безпошуковим алгебраїчним методом. Бінарні оператори оптимального агрегування асоціативні. Це дозволяє повторювати операцію агрегування і отримувати результати на базі стандартних структур. На рис. 1.1 подано також пункти новизни однокрокового оптимального агрегування[11,12].

<p><b>Модель ФВ</b> <math>y = f(x, Vp, k)</math>, де <math>y</math> - продукт; <math>x</math> - ресурс; <math>Vp</math> - вектор параметрів; <math>k</math> - клас ФВ.</p> <p><b>Пряма базова задача:</b> <math>y_i = f_i(x_i)</math>; <math>i = 1, \dots, N</math>, де <math>x_i</math> - ресурс, для <math>i</math>-го елемента; <b>Критерій, ціль оптимізації і обмеження:</b></p> <p><math>F(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N f_i(x_i) \Rightarrow \max</math>; <math>G(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N x_i - R = 0</math>. Змінні управління: <math>x_i</math>.</p> <p><b>Спряжена задача. Критерій, ціль оптимізації і обмеження:</b></p> <p><math>Gs(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N x_i \Rightarrow \min</math>; <math>Fs(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N f_i(x_i) - Ys = 0</math>.</p> <p><math>Ys</math> - заданий темп виробництва. Змінні управління <math>y_i = \hat{f}_i(x_i)</math>.</p> <p><b>Форма розв'язання задачі, вихід:</b> <math>Ys = fops(Xs)</math>; <math>x_i = Dop(Xs)_i</math>.</p> <p><b>Форма розв'язання бінарної задачі:</b> <math>y_2 = f2op(Xs)</math>; <math>x_1 = \alpha \cdot Xs</math>; <math>x_2 = (1 - \alpha) \cdot Xs</math></p> <p><b>Бінарний оператор оптимального розподілу</b> <math>f2op = F2d(f1, f2)</math> для заміни багатовимірної задачі системою одновимірних (приклад для <math>N = 4</math>) <math>fops = F2op(f1, F2op(f2, F2op(f3, f4)))</math>.</p>	<p><b>Н1</b> Форма рішення : <b>функція</b> від обмеження ресурсу</p> <p><b>Н2</b> Єдиний метод оптимізації для всіх класів ФВ – від гладких випуклих до розривних, ступінчатих.</p> <p><b>Н3</b> алгебра Еквівалентнісних Перетворень типових структур вс.</p> <p><b>Н4</b> інтеграція еквівалентнісних перетворень і оптимального розподілу ресурсу.</p> <p><b>М5</b> декомпозиція багатовимірної задачі оптимізації в систему одновимірних задач.</p>
---	--

Рисунок 1.1 — Метод оптимального агрегування, узагальнення. Однорікова задача

Розглянемо узагальнену задачу оптимального агрегування. На рис. 1.2 подана теорема щодо результату агрегування, теоретичні основи методу оптимального агрегування - узагальнену задачу оптимального агрегування – для об'єктів довільної розмірності. Це постановка абстрактної задачі і доведення її до прикладного рівня (далі подано приклад розробки відповідних програмних модулів)[13]. Подано також пару спряжених задач нелінійного програмування. Відзначимо відсутність модифікацій та спрощень задачі оптимального агрегування із зростанням її розмірності.

### МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ. ТЕОРІЯ

Введення вектор-функції оптимального розподілу ресурсу  $Dop(R)$ ,  $0 \leq R \leq R_{\max}$ , компоненти функції  $Dop(R)$  - оптимальний розподіл ресурсу між елементами ВС. Властивості  $Dop(R)$ : - для припустимих функцій виробництва (ФВ) елементів - при наявності у (ВС) хоч одного елемента з невиспуклою ФВ,  $Dop(R)$  - оптимальний розподіл ресурсу;  $\forall i \in 1..N : Dop(R)_i \geq 0$  матиме розриви. Вводиться оптимальна еквівалентна ФВ системи  $Yop(R) = \sum_{i=1}^N f_i(Dop(R)_i)$ .

Властивості  $Yop(R)$  з не строго-позитивними і не строго монотонними ФВ елементів:

- неперервність та не строга монотонність  $R_2 > R_1 \rightarrow Yop(R_2) \geq Yop(R_1)$ ; - точкам розриву вектор-функції  $Dop(R)$  відповідають розриви похідної  $\frac{d}{dR} Yop(R)$

Вводиться множина  $\alpha$ -функцій для двоелементної системи з ФВ класу «S-функції»:

$$fd_2(x, \alpha) = f(x - \alpha) + f(x \cdot (1 - \alpha)), \text{ де } f(\cdot) - \text{ФВ елементів.}$$

Теорема. Оптимальна еквівалентна ФВ системи з двох елементів з довільними ФВ (класу «не строго монотонні, не строго позитивні, обмежені») буде огинаючою системи  $\alpha$ -функцій. Функція  $fd_2(x, \alpha)$  є неперервною функцією змінних  $x$  та  $\alpha$ . Годограф цих точок - неперервний по  $x$ . Виділення огинаючої

$F_2 \circ \alpha(x) := \max(fd_2(x, \alpha_1), fd_2(x, \alpha_2), \dots)$  для деякої кінцевої множини значень  $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha, \dots, \alpha_K\}$ , що рівномірно покриває інтервал визначення  $\alpha$ , дає наближення оптимальної еквівалентної ФВ системи. Це наближення сходиться до ОФВ при  $K \Rightarrow \infty$ .

Рисунок 1.2 — Метод результат розробки – гарантована за результатом операція оптимального агрегування багатовимірної ресурсної довільної структури: результати агрегування обґрунтовано коректні

Розглянемо агрегування довільних структур – ізоморфне відображення структури об'єкта в бінарному дереві оптимального агрегування. Теорема про ізоморфне відображення ресурсної структури об'єкту в нову інформаційну структуру бінарне дерево оптимального агрегування утворення.

На рис.1.3 подано схему і структурну формулу оптимального агрегування довільної багаторівневої ресурсної структури. Це нова комплексна математична задача агрегування з формуванням асоціативної операції алгебри оптимального агрегування[14]. Подана тестова структура з паралельними, послідовними і зворотними ресурсними зв'язками. Подано також відповідну теорему і формулу оптимального агрегування заданої ресурсної структури. Узагальнемо



нестроги цю теорему з точки зору практика: незалежно від розмірності і структури об'єкта результат оптимального агрегування може бути поданим в двох формах: а) бінарне дерево оптимального агрегування; б) функція користувача з параметрами[15]. Математичний апарат для роботи з цими результатами не залежить від розмірності об'єкта. Ефективне виростання цих властивостей дає переваги в рішенні типових задач оптимізації.

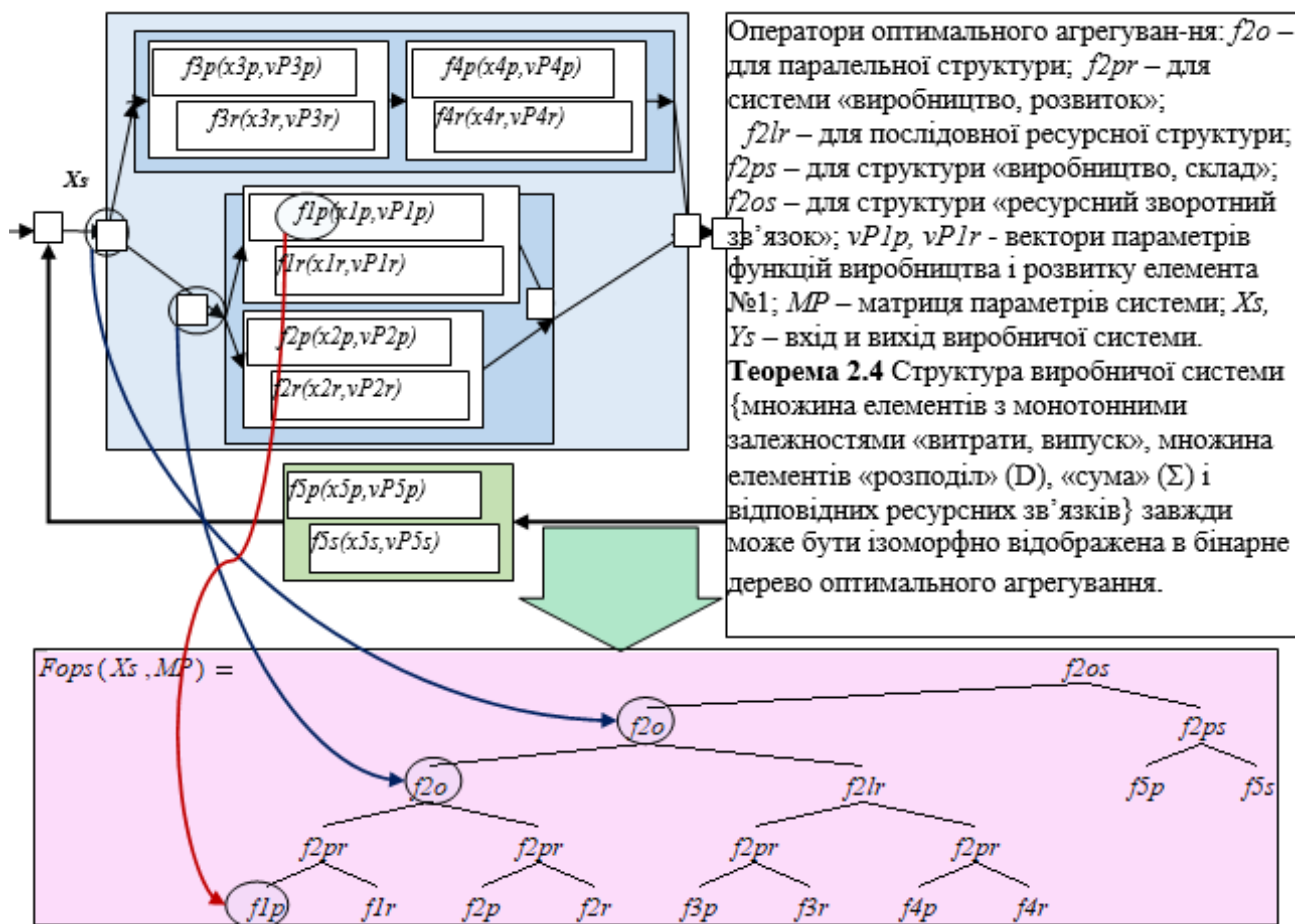


Рисунок 1.3 – Відображення структури виробничої системи в бінарному дереві оптимального агрегування

Звернемо увагу на структурну схему об'єкта і бінарне дерево оптимального агрегування. Ці об'єкти інформаційно тотожні. Це забезпечує виконання зворотних операцій. Таким чином алгебра оптимального агрегування має повноцінний логіко-математичний фундамент, що робить обчислення ефективними і надійними[16].

## 1.2. Агрегування довільних структур. Бінарні оператори оптимального агрегування

Відмінність операцій оптимального агрегування від класичних методів: обробка незмінними програмними модулями довільних нестрого монотонних функцій «витрати, випуск». На рис. 1.4 також подано – годографи максимумів критерію оптимальності розподілу ресурсу між елементами відповідної бінарної структури. Бачимо складний розривний характер функцій Гамільтона (змістовно: оптимальних розподілів ресурсу в функції сумарних витрат ресурсу). На рис. 1.4 подано графіки цільової функції – сумарний випуск в залежності від витрат ресурсу і оптимального розподілу. На 3Д – графіки накладені годографи максимумів – «функції Гамільтону». Звернемо увагу на розривність цих функцій. Подібні обчислення можливі для нелінійних невіпуклих математичних моделей.

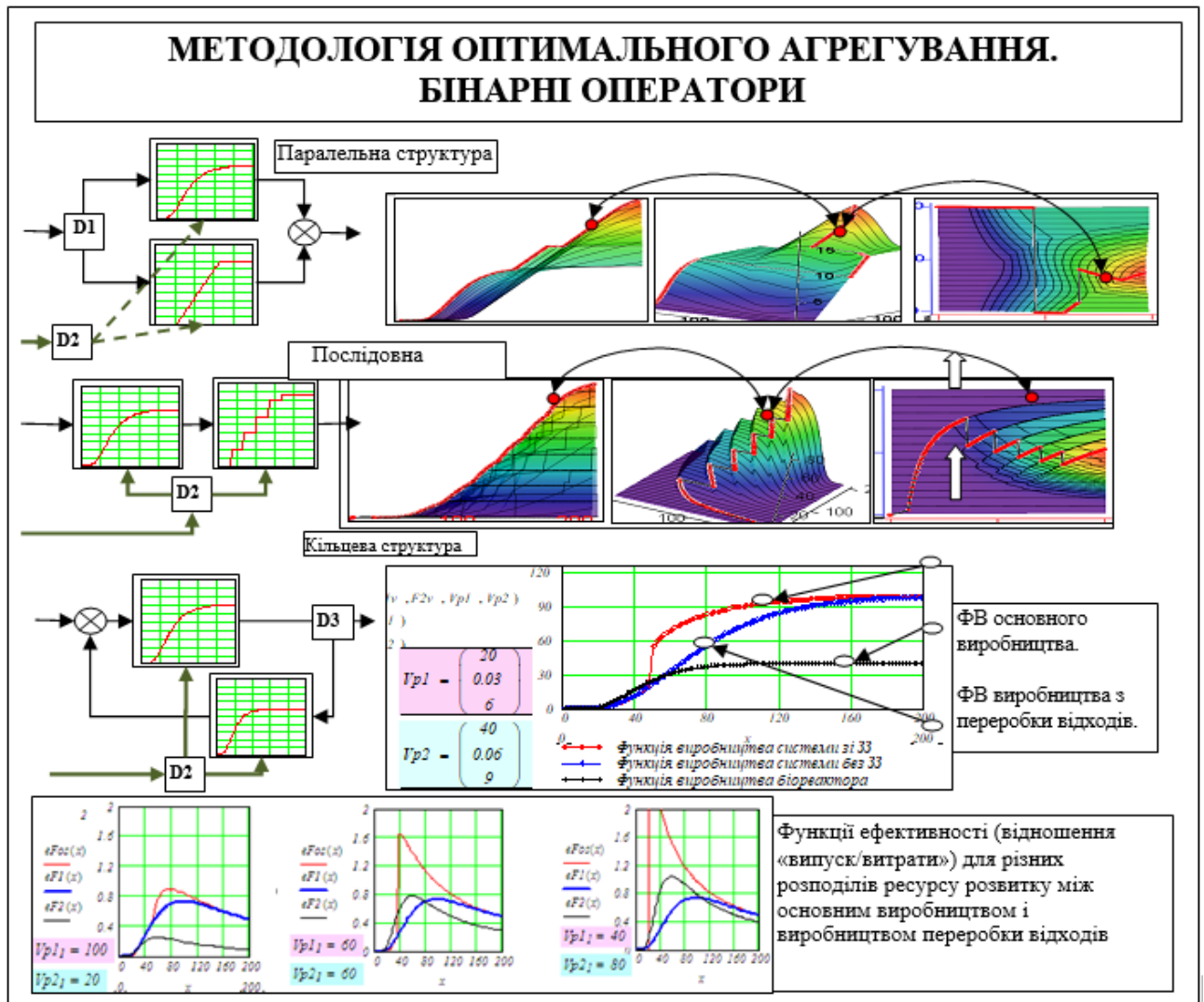


Рисунок 1.4 — Агрегування типових структур, побудова годографів максимумів виробничої системи

Розробки в області методології оптимального агрегування не мали аналогів і вперше були розроблені у монографіях [1,2,4] та дисертаціях, де нові наукові положення пройшли перевірку на новизну і коректність. На рис.1.4 подано приклади оптимального агрегування. Також продемонстровано типові бінарні структури, для яких розроблені і досліджені бінарні оператори для паралельних, послідовних і кільцевих ресурсних структур. Приклади агрегування подані на 3Д- графіках цільової функції, поданих вдвох проекціях[17-18]. Можемо бачити оптимальні еквівалентні функції виробництва бінарної системи. По осях 2Д графіків: величина ресурсу, розподіл ресурсу, значення критерія. Лінії на поверхності цільової функції – це годографи максимумів критеріїв.

По тематиці даної магістерської роботи було виконано бакалаврську роботу з оптимального управління кредитними стратегіями. Ця робота дала необхідні знання з фінансових методів і стратегій як складової системи управління підприємством – важливий крок для виконання магістерської за напрямом підготовки. Сьогодні управління фінансами необхідно інтегрувати з підсистемами виробництва, розвитку, постачання – це дозволяє реалізувати оптимальне адаптивне безпошукове управління неоднорідними соціо-техніко-економічними системами. Наприклад, агрегована система «виробництво, розвиток, торгівля, освіта, екологія». Спеціальність: 6.050202 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». В пошуку аналогів не знайдено формального визначення терміну «комп'ютерно-інтегровані технології» - що з чим інтегрується, що виробляється за комп'ютерно-інтегрованою технологією. Методи оптимального агрегування базовані на функціях операційної системи комп'ютера, на векторизації обчислень.

Головні проблеми науки в області управління глобалізованим виробництвом: розробка «твердих» математичних платформ» для методів оптимального адаптивного управління виробничими системами - від кондиціонера до державної економіки. Судячи з суспільних і наукових публікацій, економісти і спеціалісти з управління ще не розробили моделі управління виробництвом в умовах ринків з насиченим попитом (це зупиняє розвиток виробництва) і процесів «деглобалізації» виробництва у автономні кластери. індустріальної епохи[19-21]. Ці відмінності можна бачити в нових термінах науково-технічних публікацій:

- «цифровий інжиніринг» – комп'ютерні методи розробки «безпілотних» систем управління,
- «цифрова копія» – імітаційна модель об'єкта придатна для заміни реального об'єкту у довгих ресурсних випробуваннях.

Головна проблема в названих змінах – відставання математичного і програмного забезпечення сучасних виробництв від зростання складності і

динамічності сучасних виробництв. Зокрема в сучасних програмних системах недостатньо використовується векторизація та символічні обчислення.

Тема даної роботи – розробка комп'ютерної системи оптимального адаптивного управління системами виробництва і розвитку сучасними виробничими системами, для певного класу сучасних структур виробництва – паралельних: аддитивних, багатопродуктових, структур - комплектів. Природне питання – що може бути простіше паралельних структур з критерієм оптимізації «сума, накопичення».

Однак паралельні структури можуть бути складними при введенні обмежень на час виконання, фазу життєвого циклу, стан рітейлу продукту виробництва. Для таких складних паралельних структур потрібна розробка і дослідження.

Перша частина даної роботи – аналіз зовнішніх і внутрішніх аналогів. «Внутрішні» аналоги – попередні дисертації, монографії, статті і попередні дипломні роботи, зокрема власна бакалаврська робота.

Специфіка вибраної методології оптимального агрегування в тому, що вона потребує не тільки вивчення методів, а ще і «розуміння». Останній термін трактується як здатність безкомп'ютерного прогнозування, передбачення.

Оптимізація виробництва ускладнюється високою розмірністю, динамічністю і суттєвою нелінійністю характеристик виробничих систем. Це потребує розробки нових моделей, методів і програм для нових автоматизованих систем управління.

Виробничі системи і техпроцеси виробництва як об'єкти моделювання і управління мають велике число змінних і параметрів. Складні нелінійні зв'язки між змінними, недостатність апріорної інформації про закономірності протікання процесів створюють значні труднощі при моделюванні технологічних процесів (ТП), якщо користуватись класичними методами оптимізації такими, як лінійне, випукле, цілочислове програмування та інші пошукові методи[22]. Головний недолік класичних методів – комбінаторне зростання обчислювальних витрат при зростанні розмірності задачі оптимізації, вимоги – лінійність,

неперервність функцій і похідних, не вирішують проблему розмірності, крім того методи оптимізації є пошуковими і не гарантують отримання задовільного результату за гарантований час. Огляд моделей методів оптимального агрегування дозволяє ставити і аналізувати більш складні і більш важливі задачі, зокрема задачі динаміки оптимально агрегованих систем.

### 1.3. Постановка і рішення задач динаміки оптимально агрегованих паралельних структур

Розвиток програмно-апаратних комплексів, засобів контролю і вимірювання спричинив розвиток моделей і методів моделювання всього оточення: соціо-техніко-екологічних системи (СТЕС) привели до розробки реалістичних комп'ютерних моделей, здатних підвищувати ефективність технічних систем в прогнозуванні погоди, управлінні транспортними засобами, технологічними системами нафтопереробки, молокопереробки, прецизійної металургії та ін[24]. Об'єкти даної роботи – виробничі системи, системи виробників і користувачів - занадто складні з позицій сучасного стану науки (того, що увійшло в університетські програми). Управління проектами вже існувало в епоху пірамід, в старому і новому світах.

Методи оптимального агрегування сприятлива математична платформа для створення динамічних моделей прогнозування розвитку на довільних імітаційних моделях прогнозування розвитку економіки, енергетики, соціальних структур[25-26]. Наведемо приклади непрогнозованих і неочікуваних фундаментальних новацій. Певні результати розвитку виявились не прогнозованими:

- 1) минула наука не передбачила мобільні телефони і глобальні мережі та багато іншого;
- 2) наука не передбачала обмеження зростання економіки, науки, техніки і соціуму. – зокрема: продуктів харчування сьогодні виробляється більше потреб - вперше в історії людства;

3) наука не виробила проекти функціонування і розвитку для дивного нового світу, де: - робітники і селяни разом складають 10-12% населення, де масові робочі місця – в сфері обслуговування, де населення великих міст в третьому поколінні втрачає здібність до виконання серйозних проектів (дослідження комісії конгресу США). Великі проекти не досягали мети і раніше, малі проекти зазвичай закінчувались перевитратами відносно планових, науково обґрунтованих. Такий стан проблеми управління проектами взагалі, і зокрема науковими проектами поки не дав ефективних рішень. Моделі оптимального агрегування мають потенціал оптимізації і прогнозування розвитку виробничих систем.

#### 1.4 Перехід від статички до динаміки оптимально агрегованої системи

В попередніх розділах ми розглянули методи оптимального агрегування довільних ресурсних структур, зокрема, систем, складених з функцій "витрати, випуск". Результат агрегування - функція того ж класу (витрати, випуск).

Інтерпретації: - "максимальний випуск продукції при обмежених сумарних витратах ресурсу", або «мінімальні витрати ресурсів при обмеженому випуску»

$$finOp(Xs, DOA, Mps), \quad (1.2)$$

де  $Xs$  - вектор стану системи,  $DOA$  - бінарне дерево оптимального агрегування системи,  $Mps$  - матриця параметрів системи. Деталізуємо елементи формули:  $Xs$  - вектор стану системи ;  $DOA$  - бінарне дерево оптимального агрегування - скорочено це зібрані в матрицю вектори функцій "витрати, випуск" всіх елементів системи - ;  $Mps$  - матриця параметрів системи. Остання складова має такі інтерпретації: ціни продуктів і ресурсів, параметри функцій «витрати-випуск» елементів і все інше, що вибере і сформує «конструктор моделі» [27]. Конструктором оптимально агрегованої моделі може бути кожний, хто має намір конструювати моделі. Властивості оптимально агрегованої моделі – детально подаються в наступних розділах.

Зробимо наступний крок – сформуємо модель динаміки для об’єкту поданого оптимально агрегованою системою, що є функцією користувача з параметрами:

$$finOp(Xs, DOA, Mps) \quad k = 1..K$$

Введемо дискретний час і запишемо рівняння динаміки

$$finOp(Xs, DOA, Mps)_{k+1} = DIN\left[finOp(Xs, DOA, Mps)_k, dt\right] \quad (1.3)$$

Викладемо рівняння (1.3) словесно: наступне значення певної функції  $finOp(..)$  в момент дискретного часу  $(k + 1)$  дорівнює оператору  $DIN$  (“дінаміка”) від значення значенні цієї функції  $finOp(..)$  на попередньому кроці дискретного процесу функціонування оптимально агрегованої системи.

Означення в рівнянні (1.3)  $k$  – номер кроку дискретизованого часу;  $DIN(...)$  – оператор динаміки дискретизованого процесу. Зауваження: далі будуть подані унікальні і працездатні приклади управління проектами і системами проектів. Людині зі сторони важко розібратись в нестандартних означеннях.

Абстракції задач динаміки подані спеціально для розуміння. Що до рівняння 1.3 – воно не є рішенням задачі управління. З ТАУ знаємо про прості задачі аналізу систем управління (це моделювання процесів у проекті розвитку). Знаємо і про надскладність задач синтезу – обчислення задовільного управління для нелінійного об’єкту великої розмірності.

На рис. 1.5 подано для порівняння альтернативні схеми моделювання процесів оптимального розвитку виробничої системи для аналога даної розробки.

Альтернатива 1: розробка і максимізація функції Гамільтона

Альтернатива 2: розробка і максимізація агрегованої функції «виробництво розвиток», «оптимальне агрегування».





Рисунок 1.5 — Альтернативні методи оптимального управління розвитком

Підведемо підсумки аналізу властивостей оптимально агрегованих систем.

1. Вибір методології оптимального агрегування для побудови моделей наукових проектів дозволив отримувати моделі як функції користувача «оптимальні еквівалентні функції» класу «витрати, випуск» - ОЕФВ

2. Неочевидна відповідь на питання – за якою змінною оптимізуємо ОЕФВ: за сумарними витратами та параметрами ОЕФВ

3. За рахунок властивостей алгебри оптимального агрегування можливо вводити додаткові змінні оптимізації – параметри (ціни ринку, параметри ефективності функцій виробництва, функцій життєвого циклу та ін. В підсумку маємо ОЕФВ як оптимізовану функцію сумарних витрат і параметрів за вибором розробника математичної моделі проекту.

4. Методологія оптимального агрегування дозволяє розробляти і досліджувати т.з. «наукові проекти».

### 1.5 Динаміка оптимально агрегованої системи

Один з пунктів новизни роботи - розробка варіанту модуля динаміки оптимально агрегованих систем для простої паралельної структури [28-29]. Словесний сценарій функціонування оптимально агрегованої виробничої системи (ПС):

-- крок 1: від ІОС отримується структура стану об'єкту – виробничої системи;

-- крок 2: виконується параметризоване оптимальне агрегування (згідно структурі стану);

-- крок 3: отримується ОЕФВ – функція «сумарні витрати, сумарний випуск»;

-- крок 4: згідно поточній задачі оптимізації (пряма, спряжена) отримується оптимальний розподіл – ресурсів, або навантажень і його компоненти подаються у відповідні підсистеми ДОА ;

-- крок 5: отримується локальні підсистеми управління відпрацьовують поточні завдання;

-- крок 6: інформація про поточні стан локальних САУ подається в глобальну ІВС для обробки.

В класичній теорії управління моделі динаміки об'єктів класифікують за складністю потрібних математичних методів аналізу і синтезу (побудови перехідних процесів та розрахунку параметрів законів управління) [30-31]. Подаємо моделі динаміки об'єкту упорядковані за складністю:

- Лінійна система, об'єкти  $x$ ,  $u$  - вектори стану і управління:

$$x_{k+1} = A \cdot x_k + B \cdot u_k . \quad (1.4)$$

- нелінійна система, об'єкти - матриці стану [посіб і моногр];

$$Mu_{k+1} = Mu_k + Nast(Mu_k, dMu_k) . \quad (1.5)$$

- нелінійна система, об'єкти - матриці стану,  $U_k, P_k$  - управління і збурення

$$Mu_{k+1} = Op(M_k, U_k, P_k) \quad (1.6)$$

В даній роботі, на рівні виробничої системи, зміст управління - розподіл ресурсів (пряма задача) чи навантаження (спряжена задача). Синтез управління - рішення задачі оптимального агрегування. В рамках класичних методів і класичної освіти об'єкти (1.5), (1.6) є занадто складними, в рамках методології оптимального агрегування ці об'єкти - вектори, що обробляються однаково для лінійних і нелінійних систем[32-33]. Розглянемо приклади типових динамічних систем:

- ДВЗ (двигун внутрішнього згоряння) реагує швидко на зміну подачі палива – змінює потужність;

- ГТД (газотурбінний двигун) на зміну подачі палива реагує повільно через велику масу роторів компресора і турбіни;

- Біореактор реагує на зміну подачі свіжого субстрату, температуру і концентрацію активних мікроорганізмів подібно ДВЗ і ГТД. Аналогічні реакції на управляючу дію в металургійних агрегатах, хімреакторах, системах виробництва хліба, кераміки. Ядерні реактори – приклади об'єктів з нестійким станом рівноваги[34]. Ідеально ефективний стійкий, надійно автоматизований об'єкт – тандир для випічки лаваш- хліба: хліб він падає, коли спечеться - не раніше і не пізніше. Тандир - для сучасних комп'ютерно інтегрованих систем: всі функції управління реалізовані конструкцією об'єкту. Типові способи регулювання темпу виробництва - зміна добового навантаження, кількості паралельно працюючих агрегатів. Для конвеєрів це - регулювання темпу випуску в залежності від зміни темпу руху конвеєру.

Ще один спосіб регулювання темпу виробництва - "сгладжування" потоку потреб в продуктах виробництва за рахунок буферних складів.

Загальним у всіх техпроцесах виробництва матеріальної продукції є монотонна залежність "витрати ресурсів - випуск продукції"[35]. В першому наближенні розглянемо дві моделі динаміки виробництва: - інерційне запізнення і часове запізнення.

Сформуємо тестову модель динаміки багатопродуктового виробництва. Маємо розімкнуту систему, де задається рівень сумарного ресурсу виробництва, а система управління повинна оптимально розподілити цей ресурс між підсистемами (виробництвами окремих продуктів). Нехай підсистема витрачала  $x_d$  ресурсів і випускала продукт у кількості  $y_d = fn(x_d, vP_n)$ , де  $n := 1..N$  - індекс продукту виробництва,  $d := 2..D$  - індекс дискретного часу[36]. З моменту  $d + 1$  підсистема отримує  $x_{d+1} \neq x_d$  ресурс якщо знехтувати запізненням то випуск на наступному кроці квантування буде  $y_{d+1} = fn(x_{d+1}, vP_n)$ .

Відобразимо інерційність лінійним диференціальним рівнянням першого порядку:

$$Tpn \cdot \frac{d}{dt} x(t) = a \cdot x(t) + b \cdot (xtr(t) - x(t)) \quad (1.7)$$

Записуємо еквівалентну дискретну модель:

$$(t_d - t_{d-1} = \Delta t; \frac{Tpn \cdot (x_d - x_{d-1})}{\Delta t} = a \cdot x_d + b \cdot (xtr_d - x_{d-1})); \quad (1.8)$$

Після перетворень отримуємо

$$\begin{aligned} & \cdot Tpn \cdot (x_d - x_{d-1}) = a \cdot x_d \cdot \Delta t + b \cdot (xtr_d - x_{d-1}) \cdot \Delta t; \\ \Rightarrow & (Tpn - a \cdot \Delta t) \cdot x_d = Tpn \cdot x_{d-1} + b \cdot (xtr_d - x_{d-1}) \cdot \Delta t; \end{aligned} \quad (1.9)$$

Розв'язуємо відносно  $x_d$  і отримуємо

$$x_d = \frac{Tpn \cdot x_{d-1}}{(Tpn - a \cdot \Delta t)} + \frac{b \cdot (xtr_d - x_{d-1}) \cdot \Delta t}{(Tpn - a \cdot \Delta t)} \quad (1.10)$$

В усталеному стані темп виробництва повинен дорівнювати номінальному. Задаємо тестові дані  $a := 1$  (коэф. підсилення);  $\Delta t := 2$  (крок квантування),  $Tpn := 10$  (інерційність). Ідеальне навантаження виробничих потужностей: режим максимальної ефективності на протязі досить довгого періоду часу.

Для великих і потужних систем головним компонентом розробки систем управління суттєвий компонент розробки – програми тестування[37-38]. Натурні експерименти на великих системах – тривалі, витратні, небезпечні. В даній роботі сформовані модулі тестування, що подані в розділі 3 разом з програмами оперативного управління.

## 1.6 Бінарне дерево оптимального агрегування властивості і використання в системі управління

Дослідження і розробка програмних модулів дозволили поставити і вирішити завдання (проблему) оперативного управління виробництвом в неномінальних умовах. В розділах 1.4 - 1.5 поставлені і вирішені задачі параметризації. Параметризація дозволяє просто вирішувати задачі оперативного управління виробництвом в неномінальних умовах. Наявність двох ОЕФР можна інтерпретувати як стани системи до відмови і після відмови праворуч – зміни в параметрах оперативного управління. В роботах доведена теорема про ізоморфне відображення ресурсної структури об'єкту в бінарне дерево оптимального агрегування (ДОА). Виконання ДОА згідно правилам алгебри оптимального агрегування у оптимальне еквівалентну функцію виробництва (ОЕФВ). Збираємо з головного документа комплект функцій виробництва (рис. 1.12):  $f_1(x_1, Vp_1)$ ,  $f_2(x_2, Vp_2)$ ,  $f_3(x_1, Vp_3)$ ,  $f_4(x_2, Vp_4)$ ;

Виконуємо операції оптимального агрегування :

$$Fopr2_j := f2po(vP1, vP2)_{j,2}; Fopr2_j := f2po(vP1, vP2)_{j,2};$$

$$Fopr2_j := f2po(vP1, vP2)_{j,2} Fopr2_j := f2po(vP1, vP2)_{j,2}.$$

Аналізуємо структурні властивості, - приклади обчислень в розділі 3.

На рис. 1.8 подано варіанти послідовного виконання операції оптимального агрегування «монолітні і розбиті на рівні». Можемо бачити, в багаторівневих схемах, що результати агрегування підсистем дозволяють незалежно оперувати з підсистемами. Глобальну задачу управління виробничою системою можна розбити на локальні задачі управління підсистемами[39-40]. В структурі бінарного дерева підсистеми одного рівня ієрархії пов'язані через загальний ресурс і випуск. На структурі і функціях бінарного дерева оптимального агрегування побудоване оперативне управління для довільних оперативних управлінь.

## 1.7 Висновки до розділу 1

Виконано аналіз сучасних моделей і методів для побудови динаміки оптимально агрегованих процесів функціонування і розвитку систем з варіантами функціонування і розвитку систем з узагальненими паралельними структурами. Провели аналіз стану розробки моделей систем виробництва з паралельними структурами класів «аддитивна» та «комплект» як динамічних систем і методів оптимального управління цими структурами. Виконали аналіз типових структур сучасних виробничих систем як динамічних структур із ресурсними і часовими зв'язками.

Методи оптимального агрегування сприятлива математична платформа для створення динамічних моделей прогнозування розвитку на довільних імітаційних моделях прогнозування розвитку економіки, енергетики, соціальних структур. Були наведені приклади непрогнозованих і неочікуваних фундаментальних новацій. Певні результати розвитку виявились не прогнозованими:

1) минула наука не передбачила мобільні телефони і глобальні мережі та багато іншого;

2) наука не передбачала обмеження зростання економіки, науки, техніки і соціуму. – зокрема: продуктів харчування сьогодні виробляється більше потреб - вперше в історії людства;

3) наука не виробила проекти функціонування і розвитку для дивного нового світу, де: - робітники і селяни разом складають 10-12% населення, де масові робочі місця – в сфері обслуговування, де населення великих міст в третьому поколінні втрачає здібність до виконання серйозних проектів.

Підведено підсумки аналізу властивостей оптимально агрегованих систем.

1. Вибір методології оптимального агрегування для побудови моделей наукових проектів дозволив отримувати моделі як функції користувача «оптимальні еквівалентні функції» класу «витрати, випуск» - ОЕФВ

2. Неочевидна відповідь на питання – за якою змінною оптимізуємо ОЕФВ: за сумарними витратами та параметрами ОЕФВ

3. За рахунок властивостей алгебри оптимального агрегування можливо вводити додаткові змінні оптимізації – параметри (ціни ринку, параметри ефективності функцій виробництва, функцій життєвого циклу та ін. В підсумку маємо ОЕФВ як оптимізовану функцію сумарних витрат і параметрів за вибором розробника математичної моделі проекту.

4. Методологія оптимального агрегування дозволяє розробляти і досліджувати т.з. «наукові проекти».

## 2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ПРИ ДОВІЛЬНИХ ЗАВАНТАЖЕННЯХ

Розвиток програмно-апаратних комплексів, засобів контролю і вимірювання спричинив розвиток моделей і методів моделювання всього оточення: соціо-техніко-екологічних систем (СТЕС). Це привело до розробки реалістичних комп'ютерних моделей, здатних підвищувати ефективність технічних систем в прогнозуванні погоди, управлінні тр анспортними засобами, технологічними системами нафтопереробки, молокопереробки, прецизійної металургії та ін. Об'єкти даної роботи – виробничі системи, системи виробників і користувачів - занадто складні з позицій сучасного стану науки (того, що увійшло в університетські програми) [41].

### 2.1 Розробка модуля "динаміка оптимально агрегованої виробничої системи"

В попередніх розділах обґрунтовано і досліджено математичні моделі і програми статички виробничої системи. На цьому рівні підсистеми виробничої системи характеризуються функціями класу «витрати випуск». Сучасне виробництво обросло численними сервісами – фінанси, логістика, маркетинг, рітейл і масове обслуговування[42]. Все це може бути ураховано введенням у виробничу функцію – відповідних параметрів – векторів цін ресурсів і продуктів, технологічних параметрів та ін.

Вибрані методи оптимального агрегування дозволяють ставити і вирішувати задачі оптимізації виробничих систем. Фінальний крок у розробці комп'ютерної системи оперативного управління - розробка математичних моделей і програм оперативного управління станом виробничої системи[43]. Далі подано програмні модулі і приклади моделювання процесів для номінальних і неномінальних умов.



Формальна постановка задачі: задана структура виробничої системи (ВС), функції виробництва (ФВ) і функції ресурсних зв'язків між підсистемами, вирішена задача оптимального агрегування:

$$Y_s = Fops(X_s, vP_s, vC) \quad (2.1)$$

де  $X_s$  - сумарні витрати ресурсів,  $Y_s$  - сумарний випуск продукції, вектор параметрів ВС -  $vP_s$  та цін ресурсів і продуктів -  $vC$ . Вираз для  $Y_s$  - для розуміння, методи оптимального агрегування - для створення відповідних програмних модулів.

Потрібно на кожному інтервалу часу для заданого обмеження сумарного ресурсу знайти його оптимальний розподіл між підсистемами. Простіший критерій оптимізації - сумарне виробництво. Формальна математична задача - для кожного інтервалу знайти вектор оптимального розподілу ресурсу з урахуванням змінних  $X_s, vP_s, vC$ . Далі подано рішення задачі на конкретному прикладі. Змістовна постановка задачі [44,45]. Задача є нерозв'язальною в рамках класичних методів нелінійного програмування і рутинною в рамках методології оптимального агрегування. Задаємо вхідні дані тестового прикладу розробки модуля динаміки (система з чотирьох підсистем):

На рис. 2.1 подано структури (матриці) що подають результати оптимального агрегування виробничої системи - рішення задачі оптимізації: оптимального розподілу ресурсу (навантаження для заданої системи з 4-ох підсистем) :

$$Opa := Paramagr(mP)^T \quad (2.2)$$

- коротке ім'я результату оптимального агрегування. Бачимо, що в  $Opa$ , перший рядок - сумарне виробництво, сума 2-5-го рядків = одиниця ("1") – це нбормований розподіл ресурсів.

Бачимо також - різні матриці параметрів породжують різні результати оптимального агрегування. Проаналізуємо важливий для виконання розроблених програм аспект оптимізації. Запишемо ОЕФВ в звичному вигляді:

$$Y_s = Fops(X_s, vP) - \text{випуск сумарний} = \text{функція від сумарного ресурсу і}$$

вектора параметрів. Це результат оптимізації розподілу ресурсу за критерієм сумарного випуску. Цей максимум необхідно знаходити для сітки значень величини сумарного ресурсу і сітки значень кожного елемента вектора параметрів  $vP$ . Тобто маємо багатовимірну оптимізацію. Головний результат для користувача програми, що оптимальне агрегування виконується для певного значення сумарного ресурсу  $Xs,i$  з урахуванням вектора параметрів  $vP$ . Потрібні додаткові обчислювальні витрати залежать від структури комп'ютерної системи і ефективності прикладної програми. Тестування програм оптимального агрегування параметризованих структур показало їх ефективність за умови розробки раціональних програм. На рис. 2.1 поданий модуль «динаміка оптимально агрегованої ВС» [46-48].

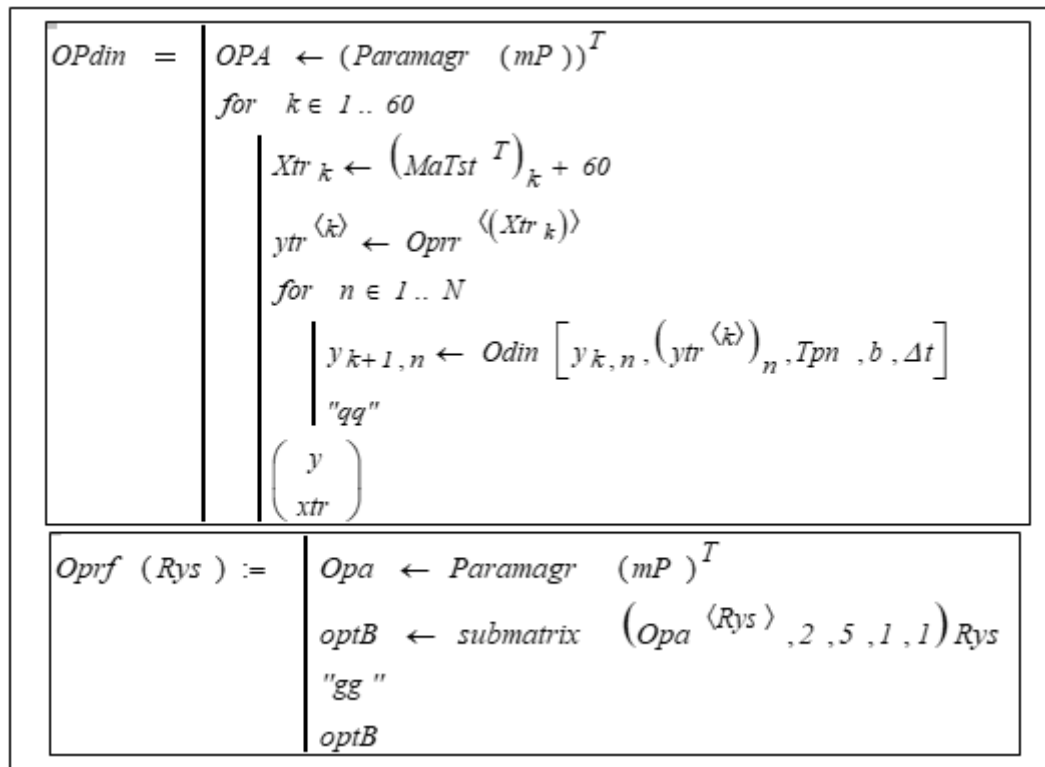


Рисунок 2.1 — Модуль «динаміка підсистем» оптимально агрегованої виробничої системи

В програмі на рис 2.1 два цикли: зовнішній - час процесу, внутрішній - підсистеми. Можлива швидка - векторизована версія для структур великої розмірності. На рис. 2.2 подана версія «Блок формування даних для побудови графіків».

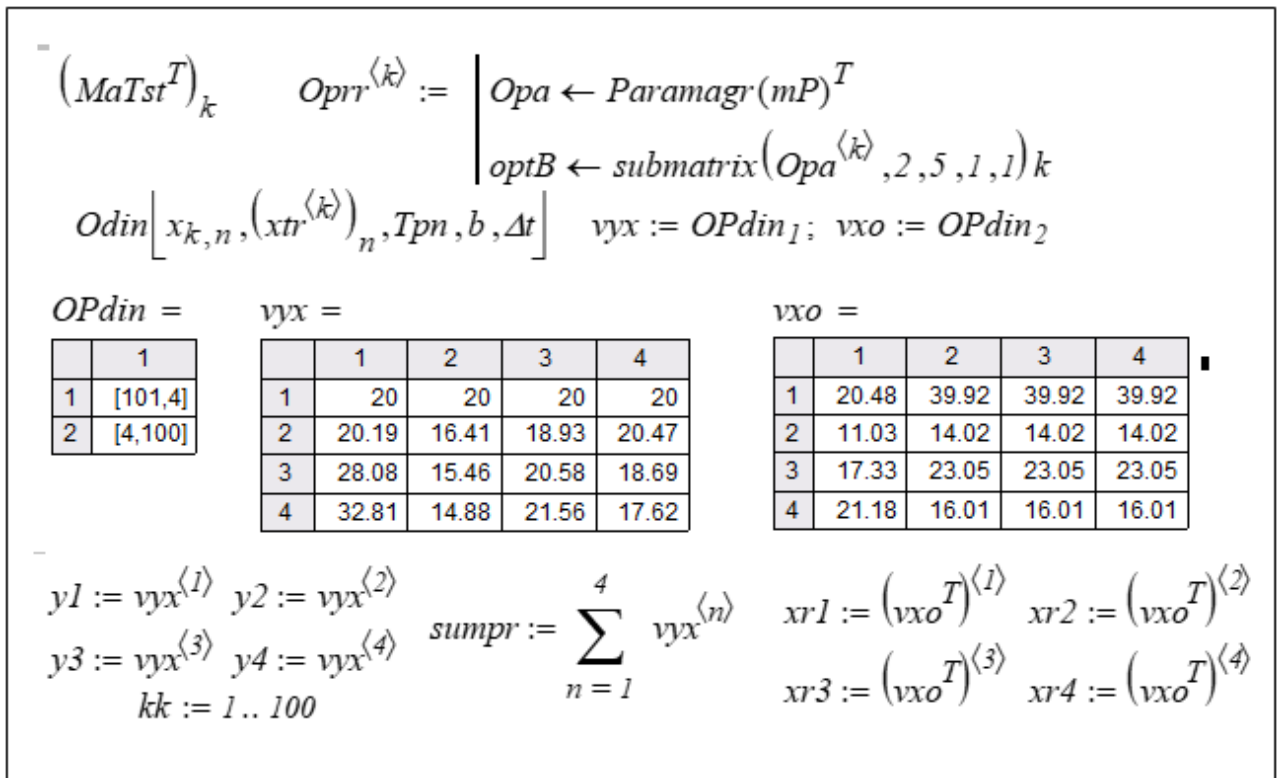


Рисунок 2.2 — Дані для побудови графіків процесів виробництва

На рис. 2.3 подано приклад: - моделювання процесів виробництва для тестової системи. Подано також реалізацію процесів функціонування виробничої системи.

Графіки входу реалізують такий випадковий сценарій вхідної дії: потік замовлень на партію продукту і термін виконання.

Вгорі подано: вхід загальний і його оптимальний розподіл між підсистемами.

В нижній частині: вихід сумарний і його складові – випуск окремих підсистем.

Праворуч подано функції виробництва підсистем і дві реалізації ОЕФВ – при зміні матриці параметрів

На рис 2.3 подано дві кнопки – випадкова зміна потоку замовлень на продукти виробництва; і випадкова змвна матриці параметрів матриці параметрів ВС[49].

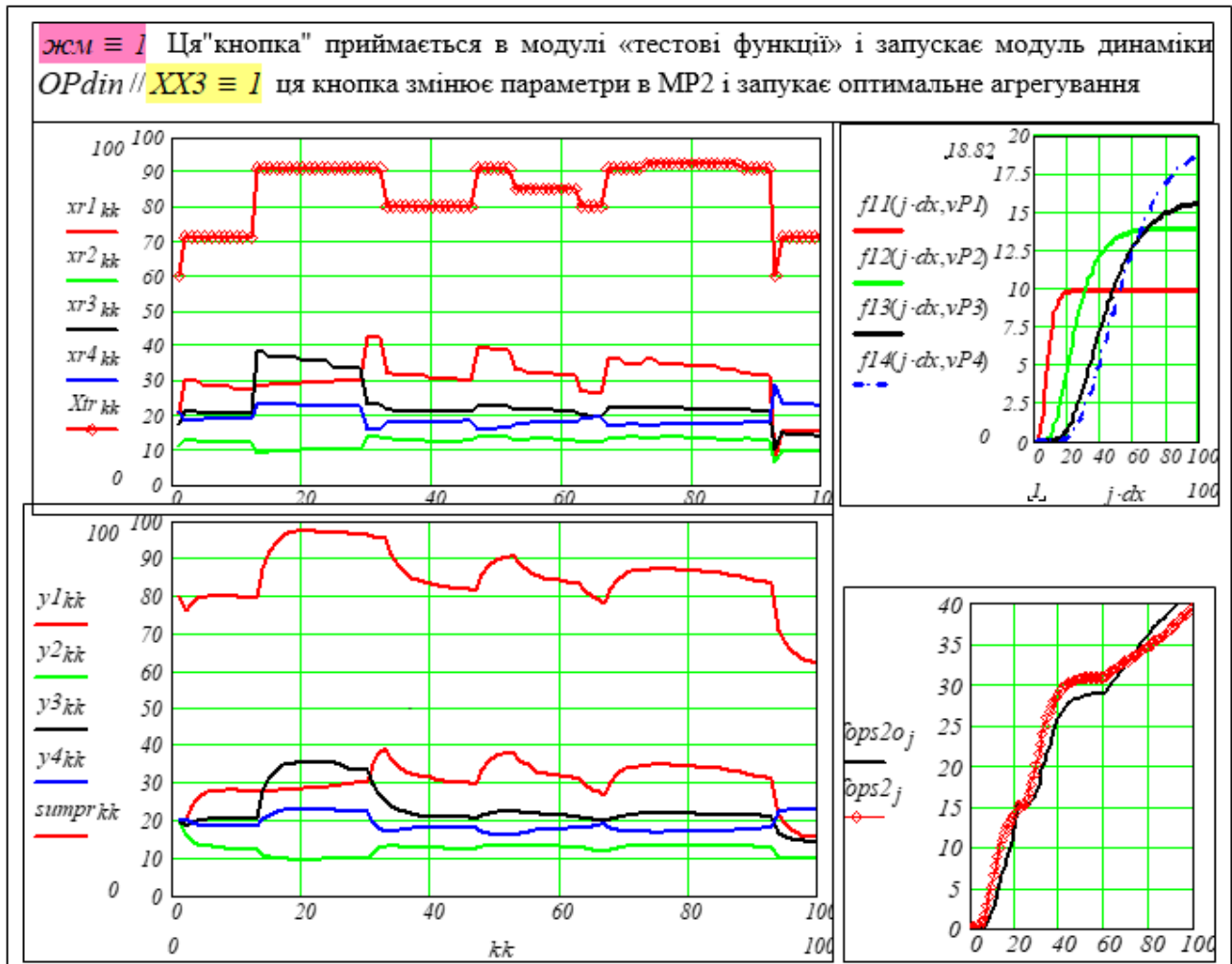


Рисунок 2.3 — Тестування модуля «динаміка процесів» в підсистемах і виробничій системі

Бачимо, що оптимальне агрегування має досить складний вхід - потік замовлень, і ще складніший оптимальний розподіл навантаження між підсистемами (рис. 2.3) [50]. Візуальне осмислення процесів є важливим елементом навчання персоналу – і керівників і виконавців.

2.2 Приклад побудови комп'ютерної моделі оптимального розвитку об'єкту на базі оптимального агрегування «виробництво, розвиток»

В підрозділі 1.5 було розглянуто теоретичні основи динаміки оптимально агрегованих систем. Термін «стратегічне управління» - загальновідомий і загально очевидний. Визначимо об'єкт стратегічного управління. Пошук і аналіз літератури з історії відомих наукових проєктів свідчить про відсутність цілісної

математичної бази. Дана робота орієнтована на створення – твердої математичної бази оптимальних процесів розвитку. Це системи для виробництва певного продукту (послуги) з певним очікуваним попитом продукту – «твердим математичним фундаментом» для очікувано-перспективної галузі виробництва. Приклад – проект «графен» - плівки товщиною в одну молекулу графіту.

В даному підрозділі розглядаємо математичний фундамент для сучасних виробництв – засобів і продукції, малих, великих, понадскладних, глобальних систем. «Тверда» математична база проектів - алгебра оптимального агрегування, елементами («носіями») якої є такі елементи: «ресурси, продукти, процеси, а також освіта і навчання» [51,52]. Базовий елемент алгебри – не число, а функція класу «витрати, випуск». Ці елементи утворюють систему, що бере ресурси і видає продукти в результаті певних процесів виробництва. Поняття виробництво не має формалізованих границь, приклад – «виробництво послуг», «виробництво програмних послуг». Функція виробництва – це залежність «випуску» від «витрат». В реальних моделях виробництва фізичні витрати і випуск «обро-стають» цінами, податками та ін. Підхід «витрати, випуск» - поки найкращій з точки зору побудови адекватних моделей виробництва і розвитку[53-55]. На базі моделі «витрати, випуск» побудовано за методологію оптимального агрегування, особливість якої – відсутність обмежень на розмірність, лінійність, опуклість.

На рис. 2.4 подано схему комп'ютерної системи оперативного управління в номінальних умовах. На відміну від аналогів в даній розробці враховуються збурення від конкурентів, ринку необхідні дані для управління отримуються від стандартних джерел інформації, а також від імітаційних моделей, що дозволяють прогнозувати стан оточення. Моделі на базі оптимального агрегування дозволяють розширювати своє коло задач. Бажано вже знати, що оптимально агреговані моделі просто модифікувати для аналізу невизначеностей, збурень. Спеціаліст може моделювати це для типових негаусівських статистик[56,57]. Ще одна проблема просто вирішується в оптимально агрегованих моделях – живучість, відмовостійкість, а також модель «один на фоні всіх» (подано далі).

«Один на фоні всіх» - це імітаційна модель системи виробників галузі, сегмента, серед яких ми виділяємо одного виробника і досліджуємо його успіхи в натуральному конкурентному середовищі. Взагалі, управління складними системами має окремі розділи для таких задач: - метамодель, - один на фоні всіх, - стійкість регіональних систем, процеси з розгалуженнями, живучість і відмовостійкість проектів[58]. Стисло охарактеризуємо типові агреговані системи з ресурсними зв'язками до функціональної схеми сучасної типової системи (рис. 2.4)

В нижній частині рис. 2.4 подано послідовність кроків (1...5) розробки системи оперативного управління в номінальних умовах. Розробка оперативного управління в неномінальних умовах виконується за аналогічною схемою, де враховуються фактори надійності та структурної стійкості[59]. Теорія живучості нестатистична (ймовірнісна) гілка теорії ймовірності.

Простий приклад структурної стійкості ферма моста: при зламі одних елементів міст руйнується, при зламі інших елементів – міст функціонує. Оптимальне агрегування базується на бінарному дереві оптимального агрегування - структурі з властивостями відмовостійкості.

Простий приклад структурної стійкості ферма моста: при зламі одних елементів міст руйнується, при зламі інших елементів – міст функціонує[60]. Оптимальне агрегування базується на бінарному дереві оптимального агрегування - структурі з властивостями відмовостійкості.



Рисунок 2.4 — Схема розробки комп'ютерної системи оперативного управління виробництвом і проектами в номінальних умовах

Параметризація оптимально агрегованих функцій виробництва має інші функції порівняно з параметрами в звичайній алгебрі.

Алгебра оптимального агрегування оперує з функціями класу «витрати, випуск». Входами і виходами операцій агрегування є не числа, а функції [61,62]. В комп'ютерній системі всі обчислення дискретизовані, і функції виробництва (ФВ) теж дискретизованими – тобто векторами.

Зауважимо, що важкі проблеми функцій виробництва втрачають проблемність. На рис. 2.5 подано типові графіки функцій. Звернемо увагу на ступінчасту функцію: вона теж обробляється єдиним для всіх класів функцій оператором оптимального агрегування [63]. Усі моделі «витрати, випуск» - крім обсягу витрат можуть бути параметри. Це зручно для побудови моделей адаптивного управління із змінними параметрами.

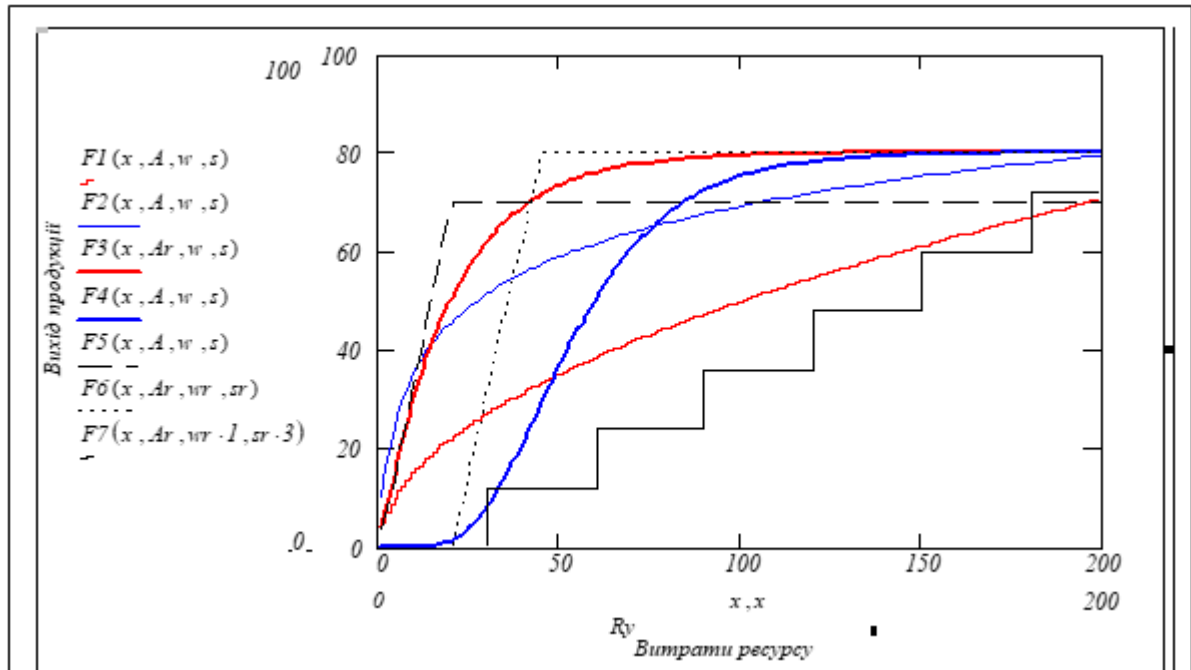


Рисунок 2.5 — Бібліотека типових параметризованих функцій класу «витрати, випуск».

Модулі введення, виводу для прикладу подаємо для системи з трьох підсистем, які випускають чотири різних продукти виробництва[64]. Подаємо також введення структури зв'язків і функцій виробництва підсистем тестової моделі виробничої системи Функції виробництва (ФВ) підсистем вважаємо такими, що належать до одного параметричного класу – математичні модулі їх мають різні значення параметрів:

$$f11(x, vP1) := f4(x, vP1), f12(x, vP2) := f4(x, vP2), \quad (2.3)$$

$$f13(x, vP3) := f4(x, vP3), f14(x, vP4) := f4(x, vP4),$$

де  $x$  - витрати ресурсів,  $vP1, vP2, vP3, vP4$  - вектори параметрів. Задаємо тестові значення параметрів ФВ:

$$vP1 := \begin{pmatrix} 1 \\ 0.3 \\ 6 \end{pmatrix}; vP2 := \begin{pmatrix} 1.4 \\ 0.1 \\ 7 \end{pmatrix}; vP3 := \begin{pmatrix} 1.6 \\ 0.06 \\ 8 \end{pmatrix}; vP4 := \begin{pmatrix} 1.7 \\ 0.05 \\ 9 \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

Дискретизуємо ФВ, вводимо ранжовану змінну число інтервалів дискретизації  $Nf := 100$   $j := 1..Nf$  і крок дискретизації  $dx := 1$  Будуємо графіки (рис. 2.6):

Бачимо, що саме змінюють параметри у функціях «витрати, випуск»



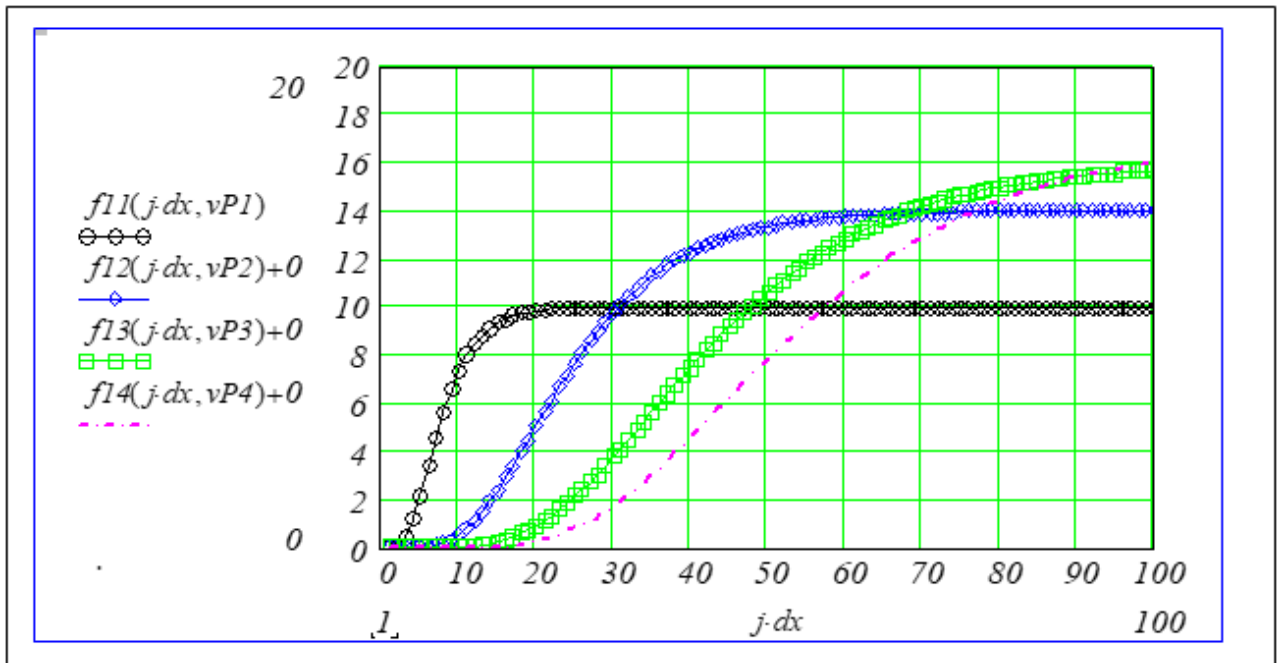


Рисунок 2.6 – Функції виробництва для тестової системи з ФВ одного класу

Тестування. Параметризоване агрегування системи з 4-ьох елементів

Збираємо вектори параметрів в матрицю  $mP := \text{augment}(vP1, vP2, vP3, vP4)$

$$vP1 = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 1 \\ \hline 2 & 0.3 \\ \hline 3 & 6 \\ \hline \end{array} ; vP2 = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 1.4 \\ \hline 2 & 0.1 \\ \hline 3 & 7 \\ \hline \end{array} ; vP3 = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 1.6 \\ \hline 2 & 0.06 \\ \hline 3 & 8 \\ \hline \end{array} ; vP4 = \begin{array}{|c|c|} \hline & 1 \\ \hline 1 & 2 \\ \hline 2 & 0.05 \\ \hline 3 & 9 \\ \hline \end{array} .=>$$

$$mP = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1 & 1.4 & 1.6 & 2 \\ \hline 2 & 0.3 & 0.1 & 0.06 & 0.05 \\ \hline 3 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline \end{array}$$

Створюємо дві матриці параметрів: контрольну і "стохастичну":

$$mP2o := \begin{pmatrix} 1.4 & 1.5 & 1.6 & 1.7 \\ 0.2 & 0.1 & 0.06 & 0.011 \\ 12 & 5 & 5 & 6 \end{pmatrix} mP2 := \begin{pmatrix} 1.4 & 1.5 & 1.6 & \text{norm}(1,1.7,0.2)_1 \\ 0.06 & 0.1 & 0.2 & 0.011 \\ 12 & 5 & 5 & 6 \end{pmatrix} \cdot XX3 \quad (2.5)$$

Виводимо результати. Бачимо елемент (1 і 4) при переобчисленнях змінюється – там генератор випадкових чисел.

$$mP2o = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1.4 & 1.5 & 1.6 & 1.7 \\ \hline 2 & 0.2 & 0.1 & 0.06 & 0.01 \\ \hline 3 & 12 & 5 & 5 & 6 \\ \hline \end{array} \quad mP2 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1.4 & 1.5 & 1.6 & 1.56 \\ \hline 2 & 0.06 & 0.1 & 0.2 & 0.01 \\ \hline 3 & 12 & 5 & 5 & 6 \\ \hline \end{array}$$

## 2.3 Приклади і узагальнення параметризованих функцій

Методи оптимального агрегування оперують з дискретизованими функціями виробництва. Тобто функції подані векторами. Всі операції з функціями виконуються над векторами. Векторизація, розпаралелювання – фундамент високої ефективності методів оптимального агрегування. Ще раз нагадаємо, що головні зусилля класичної науки концентруються на лінеаризації, пошуку особливих точок – нулів, максимумів, переключень. В методах оптимального агрегування ці проблеми зняті (відсутні) [65]. Однак виникає програмне ускладнення – параметризація векторів. Розглянемо одну з альтернатив вирішення проблеми параметризації. Ускладнення мають місце і в програмуванні і у виконанні програми.

В програмуванні певну підпрограму в main можна подати як функцію з параметрами, наприклад:

$f_6(x, vP1) \quad f_6(x, vP2)$  - ВФ класу  $f_6$  з параметрами  $vP1$ , и  $vP2$ . Приклади актуальних параметрів: вектори технологічних параметрів – температура, швидкість, ефективність, економічні: вектори цін продуктів і ресурсів виробництва, банківські проценти та ін.

В програмно-математичному аспекті параметри можуть бути: - функціями часу, генераторами випадкових чисел с заданими розподілами ймовірностями, та ін[66]. Далі розглянуті приклади оптимального агрегування параметризованих функцій. Порівняємо формули оптимального агрегування:

-  $f_2o(операнд1, операнд2)$ : загальний вираз, операнди матричні структури - дискретизовані функції ,та інша інформація,

V1:  $f_2o(f1, f2)$  - операнди - дискретизовані функції визначені в програмі .

V2:  $f_2po(vP1, vP2)$  - операнди – вектори параметрів у визначеннях функцій

$f1, f2: f1o(vP1, vP1) ; f2po(vP1, vP2)$  порівняємо ці вирази – у другому інший оператор.

Для ресурсних структур ВС довільної розмірності можливо визначити результат оптимального агрегування (оптимальну еквівалентну функцію виробництва (ОЕФВ) як функцію параметрів усіх підсистем:

$$F_s(MPSt) = FSo(mSt, MPSt), \quad (2.6)$$

де  $MPSt$  - матриця параметрів ВС,  $F_s(MPSt)$  - ОЕФП ВС,  $mSt$  - матриця опису структури ресурсних зв'язків ПС,  $FSo(mSt, MPSt)$  оператор оптимального агрегування ВС.

На кожному графіку три функції «витрати, випуск» - операнди ФВ підсистем та результат агрегування[67]. Для спеціаліста з конкретного класу систем це важлива інформація. На рис. 2.7 подано два тестових приклади системи з 4-ох підсистем.

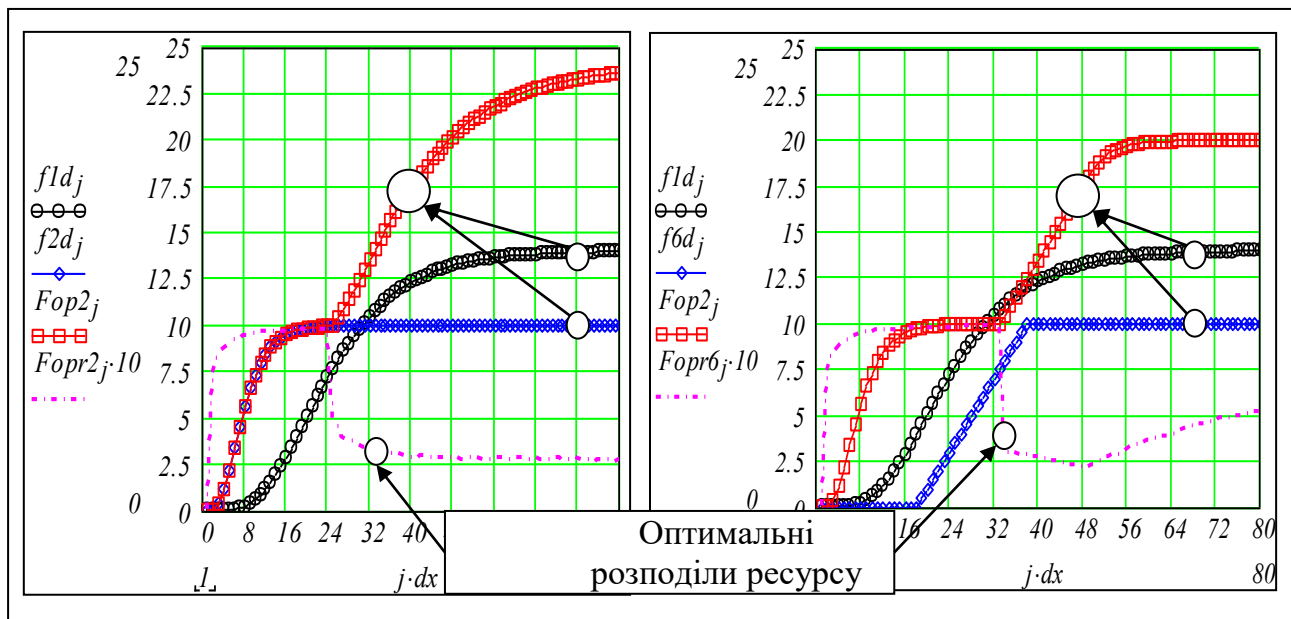


Рис. 2.7 Оптимальне агрегування для двох пар виробничих функцій

В сучасних системах управління імітаційна модель об'єкту може бути не тільки моделлю для обчислення управління, як в класичних САУ, але і як модель-пре-диктор, модель для досліджень на «віртуальній реальності». Останнє все частіше входить в практику розробки, особливо для великих систем, де дорогі і небезпечні натурні експерименти. В класичних АСУ, АСУП існують окремі підсистеми оперативного і стратегічного управління, базовані на різних математичних моделях.

Запропонована в даній роботі модель виробництва на базі оптимального агрегування є імітаційною і відкритою для модифікацій, а також не має математичних обмежень і пошукових процедур. Параметризація рішення задачі оптимального агрегування дозволяє в онлайні переобчислювати оптимальне управління за результатами поточного вимірювання і оцінки. Об'єкти досліджень і розробки даної роботи є суттєво нелінійними. Дослідженням нелінійних систем в підручниках виділялося 10-15% в останньому розділі. Для таких систем візуальне подання матеріалу є необхідним

Виконаємо порівняння оптимально агрегованих параметризованих систем з різними класами моделей виробництва. Ситуації виробництва певного продукту за різними технологіями виникають коли заявляються нові технології з іншими функціями виробництва.

Реальні виробничі системи складаються з тисяч підсистем нижнього рівня, однак виробництво має раціональну багаторівневу ієрархічну структуру, тому не раціонально доводити управління з верхнього рівня до нижнього і, відповідно, інформацію про стан підсистем нижніх рівнів передавати на верхній. В методології оптимального агрегування ці умови задаються структурою операнду результату агрегування: алгебра оптимального агрегування сформована так, що результат агрегування містить дані стосовно попередніх операцій агрегування[67]. На рис. 2.8, 2.9 подано результати оптимального агрегування системи з чотирьох ФВБ також подані по дві ОЕФВ - для різних значень векторів параметрів. В правих частинах рис. 2.8 подано відповідні цим значенням оптимальні розподіли ресурсів нормовані. Порівняємо оптимальні еквівалентні функції виробництва (ОЕФВ): введення в систему одного елемента з кусочно лінійною функцією ускладнює характер ОЕФВ і вектор-функції оптимального розподілу ресурсу – таке неможлива спрогнозувати приблизними методами.

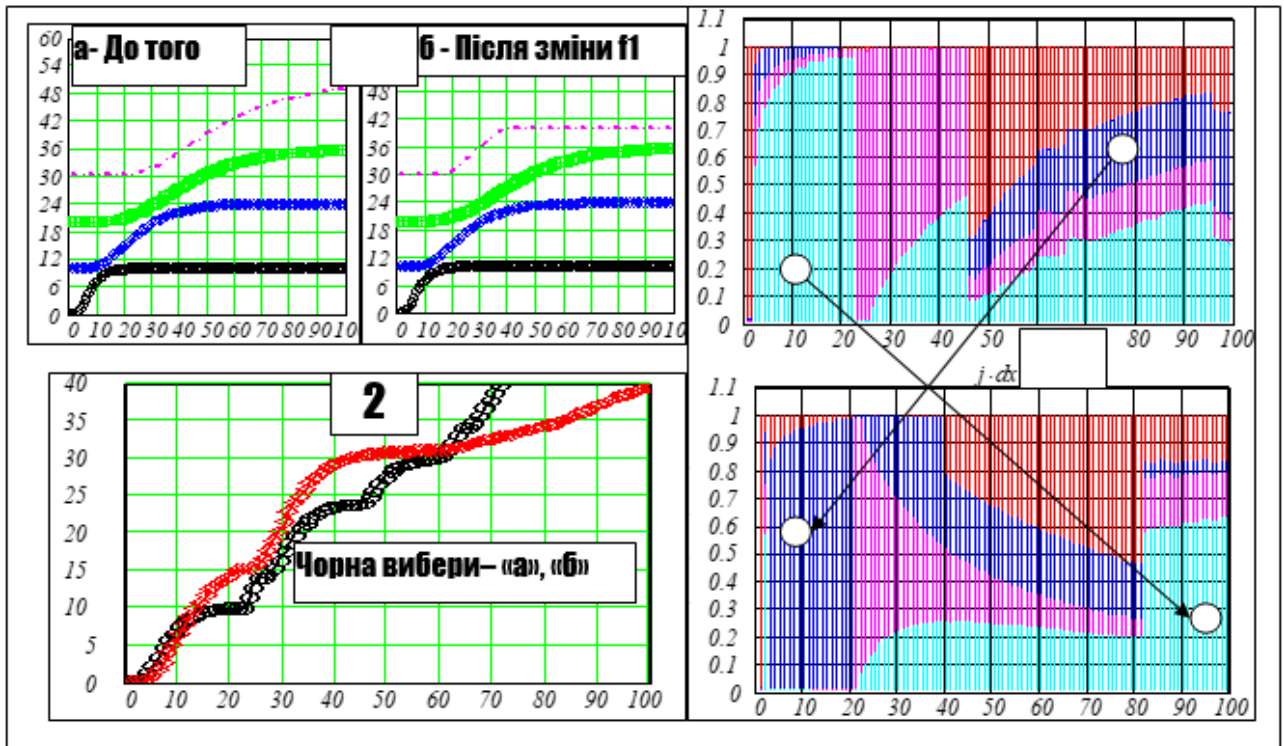


Рисунок 2.8 — Оптимальне агрегування для системи з ФВ двох класів: увігнуто-випуклих і однієї кусочно-лінійної

Коротко подаємо те, що бачимо на рис 2.8, 2.9.

1- Задано ФВ системи з 4-йох підсистем – до зміни і після зміни параметрів однієї з підсистем (верхня).

2 – Виконано агрегування для двох структур. Природне питання (контроль розуміння) – де на кадрі 2 подано результат заміни

3 – подано оптимальні розподіли ресурсу який з розподілів віднесемо до ситуації б

Між іншим: розподіли ресурсу між 4-ма підсистемами суттєво розривні. Класичними методами вирішити таку задачу міг тільки Р. Беллман (оптимальна стратегія – ділянки: «все в розвиток, Ейлерева ділянка, все в накопичення»).

На рис.2.9 подано оптимальний розподіл ресурсу в системі між чотирма підсистемами.

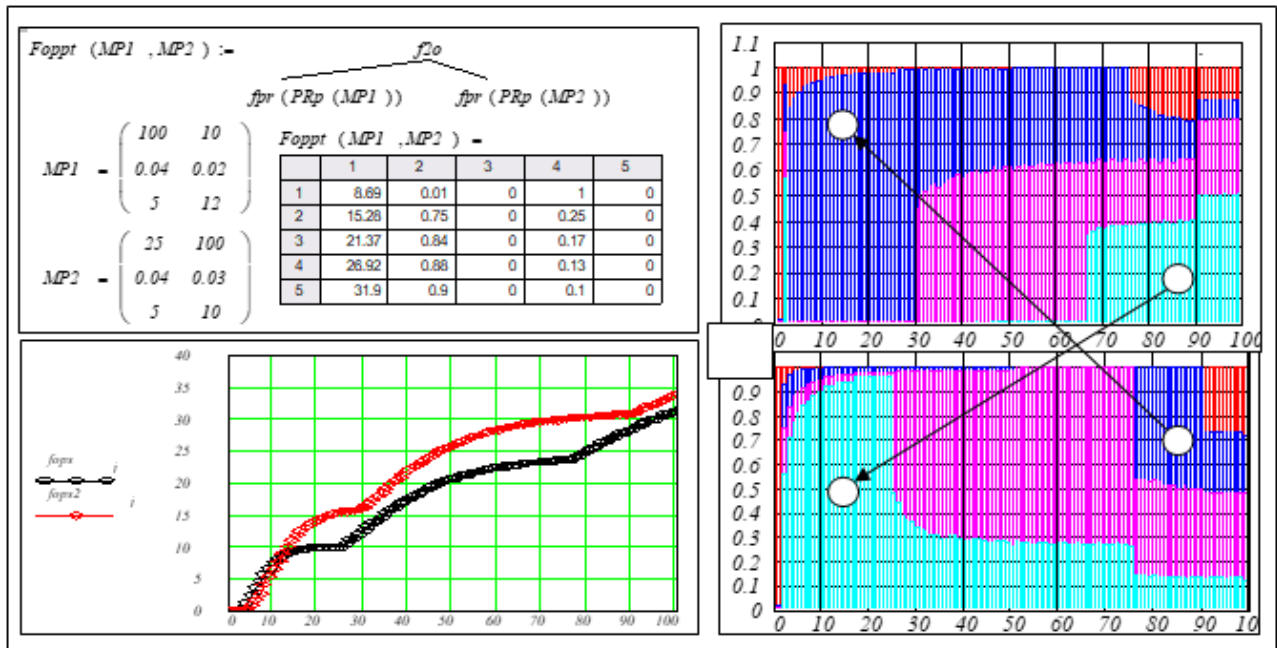


Рисунок 2.9 — Оптимальне агрегування для системи ФВ одного класу

Що до обсягів обчислень, то при збільшенні розмірності системи з 4 до 40 обсяги обчислень збільшаться тільки в десять разів.

## 2.4 Узагальнення задач оперативного управління

Подаємо заплановані альтернативні моделі динаміки для раціональних і оптимально агрегованих виробничих систем, для яких ця розробка – прототип:

М1. Базова модель елемента класу "ви трати, випуск": ( $u_k := 0$  ;  $Vpe := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ );  $y_{k+1} = Fde(y_k, x_k, Vpe, u_k)$ , де  $y_k$  - "випуск",  $x_k$  - "витрати",  $Vpe$  - вектор параметрів моделі,  $u_k$  - управління елементом (відрізняємо : - управління ресурс  $x_k$  і регулювання  $u_k$  дії на верстати, агрегати, конвеєри).

М2. Модель оптимально агрегованої виробничої системи,

$Ys_{k+1} = FdS(Ys_k, Xs_k, Mps, Us_k)$ , де  $Ys_k$  - вектор виходів ("випуск") ВС,  $Xs_k$  - вектор входів ("витрати"),  $Mps$  - матриця параметрів системи,  $Us_k$  - управління (оптимально агрегованою одновимірною системою)

Моделі векторизовані та псевдо одновимірні:

$(Y_{m,n})_{k+1} = Fdv[(Y_{m,n})_k, X_k, Vpe, U_k]$ , де  $Y_{m,n}$  - елемент матриці стану системи  $M$  виробників,  $N$  - продуктів виробництва,  $MN$ - система - сегмент виробництва і відповідний ринок, актуальний клас моделей динамічних систем. Методи управління підприємством в оточенні конкурентів і множини користувачів.

Робоча модель для складних соціо- техніко- екологічних систем

$Ystr_{k+1} = Fds(Ystr_k, Xstr_k, VPstr_k, VEstr_k)$ , де  $Ystr_k, Xstr_k, VPstr_k, VEstr_k$  - матрично-векторні структури: "стан", "вхід", "параметри", "збурення",  $Fds$  - оператор переходу між станами. М4 - САУ з спостерігачами стану і параметрів на елементах бінарного дерева оптимального агрегування.

Нашій моделі динаміки «все одно» що розраховувати - номінальний чи збурений процес. Проаналізуємо проблеми розвитку технічних систем. Сьогодні неможливо розробляти технічні системи без урахування зворотних зв'язків: "зробили новий компютер, продали, купили комплектуючих; і зробили вже 5 компютерів, продали; отримали замовлення на 40 компютерів взяли кредит, зробили, продали... - це дійсна історія корпорації Apple започаткованої двома техніками (Стівом Джобсом і Стівом Возняком) [68]. Досить драматична історія розвитку Apple - це ланцюг нових програмних систем, нових моделей компютерів, нових технологій і підприємств. В наших суворих умовах для стандартного бізнесу фірма виживає тільки завдяки тому, що постійно шукає нові напрямки діяльності - "проекти". Середня тривалість такого проекту - 2-5 років. Тому для фірми корисною є певна програма для прогнозування і моделювання розвитку проектів.

Специфічна проблема для такої задачі – «псевдоміждисциплінарність»: фактично ця задача не під силу "традиційним" інженерам та економістам. Це не тільки наша локальна хвороба, подібні проблеми вважають катастрофічними для бізнесу у Великобританії. Індикатором цього є те, що великих успіхів у бізнесі добиваються особи, що не обтяжені вищими освітами, і не користуються експертними системами для підтримки рішень. умовах таких "провальних" перспектив ми все ж пропонуємо систему підтримки рішень - але не на базі

виключно статистики і "досвіду експертів", а на базі моделювання механізмів розвитку технічних систем (зростання з обмеженням), таких же фундаментальних, як і закони механіки чи термодинаміки. Ми живемо в унікальні часи, коли "економісти" пишуть вказівки для програмістів - як визначити ціну на розробку прикладної програми, коли прикладну програму називають "додатком", коли і на вході, і на виході є тільки "вихідні дані", коли ціну продукції визначає не конструктор і споживач, а розраховує "по методиці" "економіст"[69]. Найбільш страшною є ситуація, коли інженер не має права проектувати якийсь продукт одночасно з процесом розвитку і завершення виробництва цього продукту, тому що тут продукт перетворюється в гроші, а гроші - в розвиток виробництва. Тому вважається, що це справа економіста і фінансиста. В умовах сучасного реального бізнесу новачені «наукою підручників» інженери і економісти не живуть.

Змістовна постановка задачі. Розглянемо задачі планування і прогнозування розвитку виробничих систем. Термін виробництво сьогодні є досить розмитим - це і матеріальне виробництво, і надання послуг, нарешті інформаційне виробництво і виробництво знань[70]. Певна територія (місто, регіон) має певний потенціал споживання послуги. Для надання послуг треба прокласти комунікаційні лінії, пункти, засоби підключення клієнтів та ін. - створювати узагальнені виробничі фонди. Різні частини території характеризуються різною віддачею інвестицій в створення фондів. Природна ціль будь-якого бізнесу - максимізація прибутку за певний період часу. Коли визначені технології узагальненого виробництва і технології розширення виробництва, можна поставити задачу максимізації накопиченого прибутку за рахунок оптимального розподілу власних і зовнішніх ресурсів між накопиченням та інвестиціями, а також розподілу інвестицій між напрямками розвитку мережевої системи.

Мета розробки - система моделювання процесу розвитку для підтримки рішень. На базі теоретичних моделей варіаційної задачі розподілу розробляємо інструмент, що дозволяє знаходити оптимальну стратегію управління процесом розвитку і одночасно моделювати цей процес розвитку. Моделювання



процесу розвитку системи повинно в певній мірі замінити принципово відсутню статистику - сучасне виробництво має горизонт статистичного прогнозування 1-3 роки. Формалізуємо задачу розвитку. Розглянемо типовий інвестиційний проект створення нового виробництва (з фінансово-економічної точки зору не має значення якого саме: виробництва телевізорів, електроенергії, продажу кави чи надання послуг) [71]. Одним з вирішальних моментів проекту є початок виробництва: починається потік доходів. Припустимо, що виробництво одразу є прибутковим незалежно від обсягу (звичайно це не так). На етапі від початку виробництва до закінчення планового періоду, коли потенціал ринку даного продукту, існують дві проблеми - з якого стартового рівня починати виробництво і яку частку прибутків вкладати в розширення виробництва в кожний момент часу? Остання проблема - це визначення оптимальної стратегії розвитку виробничої системи. Цей етап інвестиційного проекту є вирішальним - саме тут повертаються витрати і отримується прибуток. Практика дає підстави припустити, що малі помилки в стратегії розвитку можуть приводити до великих втрат прибутку.

## 2.5 Постановка задачі оптимального розвитку

Маємо виробничу систему, де виробляються  $N$  видів продукції. Темпи випуску продукції дорівнюють  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$ , ...,  $x_N(t)$  (одиниць вимірювання продукції за місяць, квартал, рік).

Темп виробництва - це синонім (поки вважаємо, що виробничі потужності використовуються повністю) терміну виробнича потужність. Рівняння динаміки

виробничих потужностей  $\frac{d}{dt}x(t)_i = \text{fin}(y(t)_i, i) = \text{fin}(x_s(t) \cdot u_i, i)$ , де

$\text{fin}(y(t)_i, i)$  - функція інвестицій для  $i$ -го виробництва, що належить до класу монотонно зростаючих функцій;  $x_s(t) = \sum_j x(t)_j$   $j = 1..N$ ; - сумарне виробництво (в грошових одиницях) в момент  $t$ ;  $0 \leq u(t)_i \leq 1$  - управління, змiстовно,

це частка сумарних поточних ресурсів, що виділяється для розширення виробничих потужностей по  $i$ -му продукту. Для управління виконується умова нормування:

$$\sum_j u(t)_j + unak(t) = 1, \text{ де } unak(t) - \text{ частка ресурсів, що йде в накопичення.}$$

Потрібно визначити оптимальну стратегію інвестицій, що максимізує сумарний прибуток за певний період:

$$JN = \int_0^T xs(t) \cdot unak(t) dt \quad (2.7)$$

Урахування остаточної вартості фондів. В розглянутій постановці задачі ніяк не ураховується цінність створених виробничих фондів - в критерій входить тільки накопичений за плановий період прибуток. Тобто, в данному випадку, якщо ми хочемо врахувати в критерії вартість фондів, то слід взяти її з мінусом, - як витрати на підготовку земельної ділянки під наступний проект. Сьогодні побудувати нове виробництво на території заводу 60-х років набагато дорожче ніж у чистому полі. Запишемо вираз для наближення функції Гамільтона  $H(x, u)$  при урахуванні вартості фондів в кінці планового періоду.

$$JN = \int_0^T [x(t) \cdot (1 - u(t)) + fin(x(t) \cdot u(t)) \cdot pricovar] dt$$

$$\overline{H(x, u) = x(t) \cdot (1 - u(t)) + fin(x(t) \cdot u(t)) \cdot (T - t + pricovar)}. \quad (2.8)$$

$$\overline{H(x, u) = x(t) \cdot (1 - u(t)) + fin(x(t) \cdot u(t)) \cdot (T - t)}$$

У виразі для критерія під інтегралом з'явилась додаткова складова - це прирощення виробничих потужностей помножене на  $pricovar$  - приведений коефіцієнт вартості фондів. Якби ми були схильні до марксизму-економізму, ми б вивели вартість фондів із витрат на їх створення. Однак, в сучасному світі Ваші витрати цікавлять конкурентів і податківців, але не покупців. Тому ми виходимо з вартості продукції, що можуть давати ці фонди. Приведений коефіцієнт характеризує, скільки ще продукції можуть дати фонди до утилізації (включно).

Використання зовнішніх ресурсів. Вище розглянуто задачу максимізації сумарного прибутку від певного виробництва за певний період. Незавжди перевірити (за допомогою програми моделювання), що при малому стартовому рівні виробництва, розвиток за рахунок власних ресурсів занадто затягується. Для випадку увігнуто-випуклих інвестиційних функцій взагалі існує порог стартових виробничих потужностей, коли взагалі не вигідно інвестувати у розвиток виробництва. Завжди було відомо, що в таких випадках слід брати кредити. Але слід визначити оптимальну кредитну стратегію - скільки брати кредитів на кожному кроці, як віддавати борги, так щоб отримати максимальний сумарний прибуток. Тепер в оптимізаційній задачі розвитку буде дві змінних управління: - поточний розмір кредиту  $xkr(t)$  і доля поточних коштів  $ul(t)$ , що йде в інвестиції. Треба знайти дві функції часу  $ulop(t)$ ,  $xkrop(t)$ , такі, що дають максимум сумарного прибутку за термін  $T$ . Це теж варіаційна задача, але з двома невідомими функціями. Використовуємо ту ж методологію приблизного розв'язання, що і для задачі без кредитів: конструємо функцію, що дає "проекцію" поточних управлінь на кінцевий результат. Тепер на кожному кроці максимізуємо замість функції (2):  $H(x, u) = x \cdot (1 - u) + f(x, p) \cdot (T - t)$  таку функцію двох змінних:

$$\boxed{H(x, u, xkr) = xs \cdot (1 - u) + fin(xs \cdot u, p) \cdot (T - t + prcv) - xkr \cdot [1 + prc \cdot (T - t)]} \quad (2.9)$$

де  $xs(t) = x(t) + xkr(t)$  - сумарні поточні ресурси;  $x(t)$  - поточні виробничі потужності (грн\_продукції/рік);  $u(t)$  - поточна доля коштів у інвестиції;  $xkr(t)$  - поточний кредит (=темп кредитів);  $prc$  - кредитний процент (=ставка кредиту);  $fin(.)$  - функція віддачі інвестицій (грн.виробничих потужностей/грн. інвестицій за рік);  $T$  - плановий період;  $prcv$  - приведений коефіцієнт остаточної вартості фондів. Подаємо текст програми рішення варіаційної задачі розвитку (рис. 2.10)

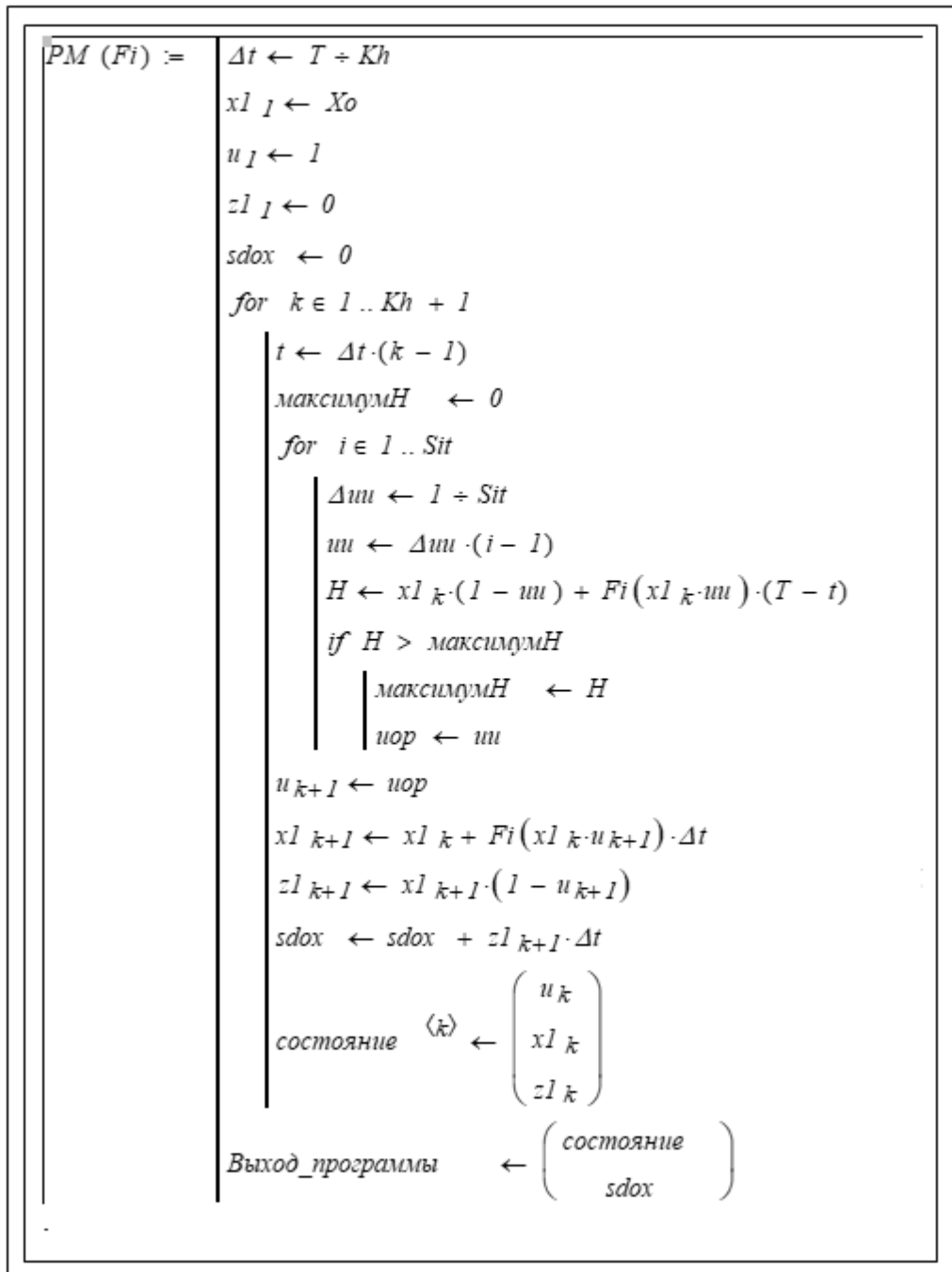


Рисунок 2.10 — Базова програма розрахунку процесів оптимального розвитку

## 2.6 Висновки до розділу 2

Виконано порівняльний аналіз існуючих математичних моделей статичної і динамічної оптимальної оперативної управління для сучасних багатопродуктових, багатоканальних систем з варіантами паралельних структур поданих як завдання в розділі 1- «паралельна багатопродуктова», «паралельна комплект».

Проаналізовано та промодельовано два варіанти управління багатовимірними системами: - оптимальне управління на базі рішення варіаційної задачі розвитку та на базі оптимального агрегування класу «виробництво, розвиток» динаміка оперативного управління. Розроблено технологію побудови комп'ютерних систем управління з використанням альтернативних методів оптимізації і для довільних моделей динаміки об'єктів управління. В цілому розроблено і промодельовано модуль оптимального адаптивного оперативного управління для двох класів паралельних структур. Проведено аналіз процесів оптимального управління при невизначеннях і збуреннях.

### 3 ОПТИМАЛЬНЕ АГРЕГУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУКТУР

В даному розділі виконується згідно комп'ютерно інтегрованої технології повний цикл рішення задач розробки оптимальних систем управління процесами розвитку і кінцевим станом для систем з новими паралельними ресурсними структурами. Послідовно подаються рішення задач технології: - оптимального агрегування та статички і динаміки статички і динаміки систем. Як останній крок виконують рішення варіаційних задач розвитку з інтегральними і термінальними критеріями. Головна проблема – великий обсяг тестування складного програмного модуля оптимального агрегування з вбудованою операцією оптимального розподілу узагальнених ресурсів[71]. В базовій версії бінарного оператора оптимального агрегування вбудована підпрограма «пам'ять попередніх операцій оптимального агрегування». Остання підпрограма з одного боку – забезпечує асоціативність алгебри оптимального агрегування, з іншого - можливість закрити доступ до підсистем нижнього рівня.

#### 3.1 Технологія оптимального агрегування паралельних структур

Подаємо короткий опис структур (розділи 1, 2)

**паралельна аддитивна // паралельна багатопродуктова \ \ паралельна комплект**

**паралельна аддитивна // паралельна багатопродуктова \ \ паралельна комплект**

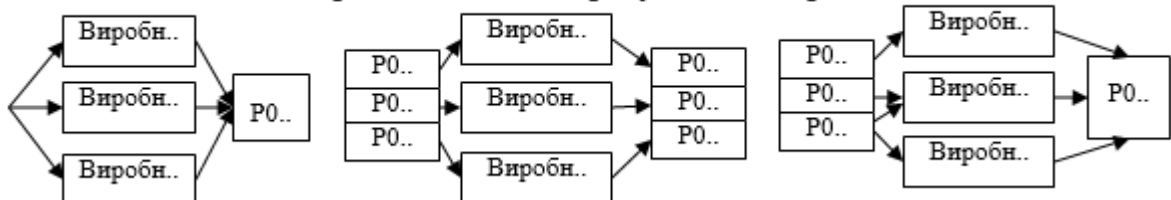


Рисунок 3.1 — Базові паралельні ресурсні структури роботи

Подаємо словесний опис об'єктів дослідження - паралельних структур. Ми розглядаємо ресурсні структури в двох аспектах: - як алгебраїчні об'єкти, - як технологічні об'єкти – системи, підсистеми певних виробничих систем. І на кожному аспекті повинні враховуватись ефективності функціонування і

ефективності як елемента комп'ютерно інтегрованої систем. Нагадуємо ще один важливий третій аспект – ефективне відображення в «цифровій копії» - імітаційній моделі. Сьогодні значна частина витрат проектування виробничих систем виконується в режимі «комп'ютерної симуляції» - тобто дослідженнях на імітаційних моделях.

Виконуємо перший крок оптимального агрегування - ізоморфне відображення функціональної структури в ресурсну - подаємо повну схему на рис. 3.2



Рисунок 3.2 — Оптимальне агрегування структури «паралельна багатопродуктова»

На рисунку бачимо багатопродуктову схему, бінарне дерево оптимального агрегування для прикладу системи з чотирьох підсистем[72]. Приклад практичного застосування такої структури:

- класична паралельна структура: паралельно працюючі «верстати» видають продукти однієї марки;

- багатопродуктова структура: паралельно працюючі «верстати» видають кожен свій продукт, які продаються в роздріб або комплектно (меблі для кухні, одяг, посуд). Відповідно цьому розробляємо бінарний оператор оптимального агрегування  $f2mp$  - багатопродуктової.

Перші кроки оптимального агрегування подібні прикладному системному аналізу. На рис. 3.3 подана аналогічна схема для структури «паралельна комплект»



Рисунок 3.3 — Оптимальне агрегування структури «паралельна багатопродуктова»

На рис. 3.3 подана подібна схема оптимального агрегування для структури «комплект». Ця математична модель має теж багато інтерпретацій і, відповідно – практичних застосувань в управлінні процесами виробництва.



### 3.2 Узагальнення задач розвитку для паралельних ресурсних структур

Обсяг обчислень швидко зростає з ростом розмірності задачі - кількістю виробничих елементів (або напрямків розвитку, або видів продукції). Якщо робити все "правильно" для задачі з двома виробництвами треба шукати на кожному кроці процесу максимум функції двох змінних, для системи з 22-виробництвами - екстремум. Для зменшення обсягу обчислень можна застосувати інтелектуальні алгоритми - із змінним кроком, навчанням і гарантованим неуспіхом[63]. Причина - дуже незручна функція Гамільтона (максимум якої треба знаходити на кожному кроці процесу) - невивукла, багатоекстремальна.

У свій час у нас розробляли кібернетичну машину для збирання помідорів яка розпізнавала помідори, оцінювала колір, м'яко зривала і складала. В США вивели сорт, що вистигав одразу, мав плоди стандартного розміру і кольору, дерев'яні за консистенцією, і смаком теж[73]. Збирала ці помідори дуже неінтелектуальна машина, що просто висмикувала і обтрусювала куці на конвеєр.

Розіб'ємо задачу оптимізації на дві:

- спочатку замінимо окремі елементи одним еквівалентним:
- потім будемо на кожному кроці:
  - а) ділити оптимально поточні ресурси між розвитком та накопиченням;
  - б) ділити, теж оптимально, ресурси виділені для розвитку між елементами системи.

Для розв'язання першої задачі (заміни системи еквівалентним елементом) використаємо метод оптимального агрегування, розроблений молодим науковцем І.Колесник. Цей метод є декомпозиційним: задача знаходження максимуму аддитивної функції замінюється послідовністю задач задач знаходження максимуму функції однієї змінної [74]. Метод є неінтелектуальним в тому сенсі, що дає гарантовані результати в гарантований час.

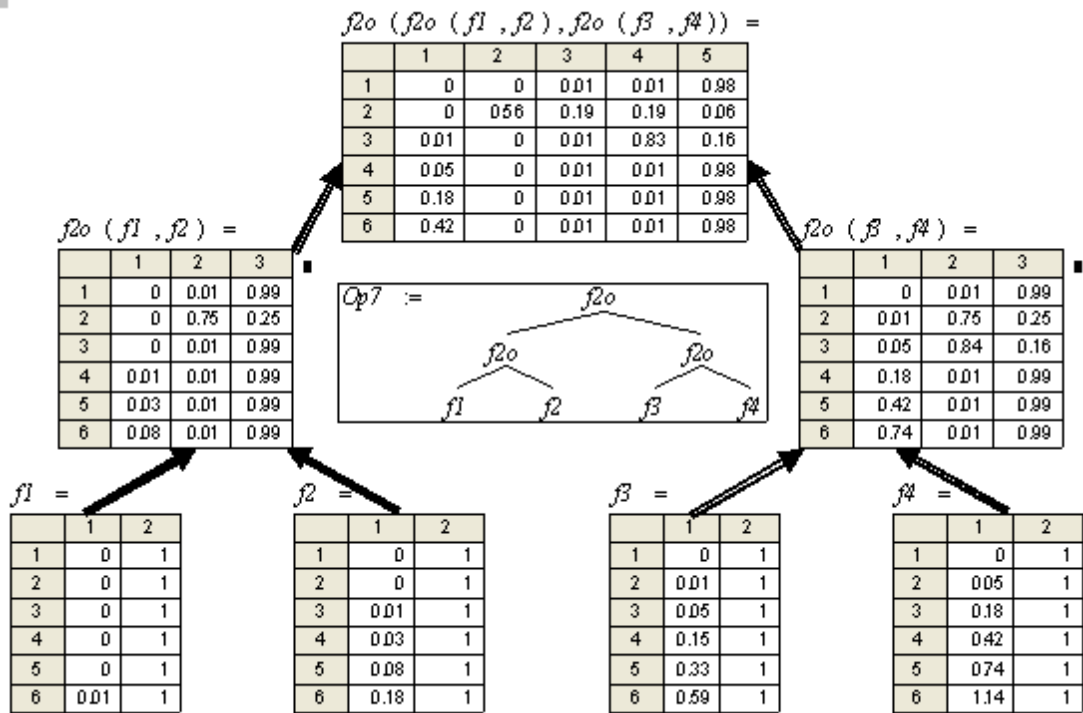


Рисунок 3.3 — Оптимальне агрегування: еквівалентне перетворення виробничої системи

Дивимось на рис. 3.3, бачимо в середині робочу формулу агрегування (для 4-ьох елементів), а навколо - структури даних, що відповідають етапам агрегування (знизу вгору). Можемо побачити простоту і самоочевидність реалізації методу.

Основа методу програмний модуль  $f2o(mf1, mf2)$ , що бере два вектори  $mf1$  та  $mf2$  - дискретизовані функції розвитку (= віддачі інвестицій) і повертає вектор значень оптимальної функції розвитку і відповідний масив вектор-функції оптимального розподілу ресурсу.

```

f2o(mf1, mf2) :=
  Xto ← rows(mf1)
  dλ ←  $1 \div Xto$ 
  klev ← cols(mf1)
  kpra ← cols(mf2)
  rlev ← submatrix(mf1, 1, Xto, 2, klev)
  rpra ← submatrix(mf2, 1, Xto, 2, kpra)
  for i ∈ 1.. Xto
    |
    | mak ← 0
    | for j ∈ 1.. Xto
    |   |
    |   |  $i1 \leftarrow \max\left(\text{round}\left(\frac{j-i}{Xto}, 0\right), 1\right)$ 
    |   |  $i2 \leftarrow \max[(i - i1), 1]$ 
    |   |  $Vs \leftarrow mf1_{i1,1} + mf2_{i2,1}$ 
    |   | if  $Vs > mak$ 
    |   |   |
    |   |   |  $jm \leftarrow j$ 
    |   |   |  $mak \leftarrow Vs$ 
    |   |  $Vyxod^{(i)} \leftarrow \text{stack}(mak, jm \cdot d\lambda)$ 
    |  $Vyx \leftarrow Vyxod^T$ 
    |  $rnlev \leftarrow \text{dop}(rlev, Vyx^{(2)})$ 
    |  $rnpra \leftarrow \text{dop}[rpra, (1 - Vyx^{(2)})]$ 
    |  $Vyd \leftarrow \text{augment}(Vyx^{(1)}, rnlev, rnpra)$ 
    | Vyd

```

Рисунок 3.4 — Оптимальне агрегування узагальнених паралельних структур

Подаємо приклад оптимального агрегування паралельної структури.

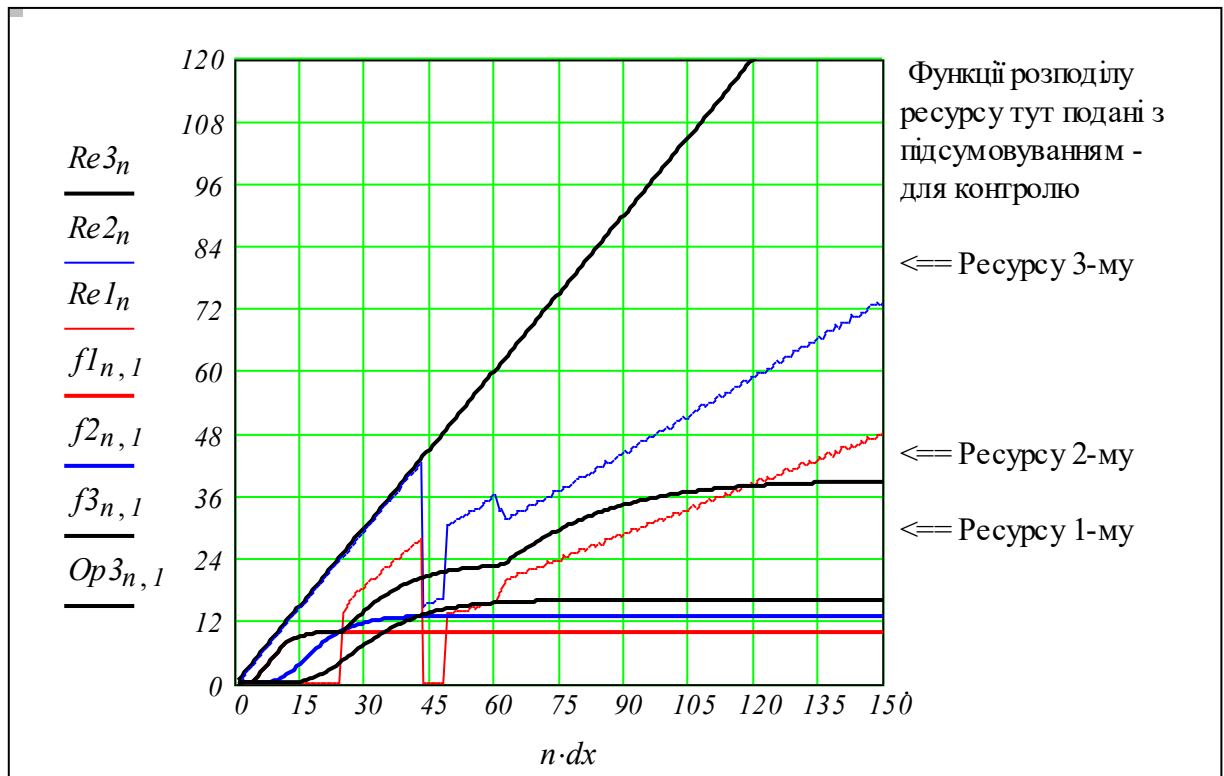


Рисунок 3.5 — Оптимальне агрегування паралельної структури

На рис. 3.6 подано текст базового модуля рішення задачі оптимального розвитку. Цей модуль розроблено на базі матеріалів розділів 1 і 2.

Фактично поданий програмний модуль приймає оптимально агреговану ресурсну структуру. Як підпрограми входять модулі «функція Гамільтона, кредити невизначеності». Модуль на рис. 3.5 має 4 параметри:  $(F, pr, pd, Tpl)$

Виникає питання про розвиток цього модуля в напрямку більших: швидкодії та нових можливостей[73]. Це можливо, тому що модуль не має обмежень обчислювального характеру.

Модуль має специфічний недолік - після отримання працездатної версії потрібно великий час на експериментальні дослідження на «віртуальній реальності» - відомі методи досліджень на моделях «не працюють» на суттєво нелінійних об'єктах. Зокрема, проблема створення нових операторів оптимального агрегування витратна не тільки за часом, але і за розумінням об'єкту.

$KM(F, pr, pd, Tpl) :=$	$\Delta t \leftarrow Tpl \div Kk$ $x1_1 \leftarrow X1_0$ $borg_1 \leftarrow brgo$ $Okp \leftarrow X1_0$ $u1op \leftarrow 1$ $xkrop \leftarrow 20$ $u_1 \leftarrow 1$ $z1_1 \leftarrow 0$ $sdox \leftarrow 0$ $skred \leftarrow 0$ $vskrd \leftarrow 0$ $\Delta u \leftarrow 1 \div Sit$ $\Delta kr \leftarrow Ymx \div sitkr$ $\text{for } k \in 1.. Kk$ <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <math display="block">t \leftarrow \Delta t \cdot (k - 1)</math> <math display="block">maHm \leftarrow 0</math> <math display="block">xs \leftarrow (x1_k - borg_k)</math> <math display="block">\text{for } q \in 1.. sitkr</math> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <math display="block">Xkr \leftarrow \Delta kr \cdot (q - 1)</math> <math display="block">xv \leftarrow xs + Xkr</math> <math display="block">\text{for } i \in 1.. Sit + 1</math> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <math display="block">uu \leftarrow (i - 1) \cdot \Delta u</math> <math display="block">bopzS \leftarrow Xkr \cdot [1 + pr \cdot (Tpl - t)]</math> <math display="block">Futy \leftarrow \min(F(xv \cdot uu), F(Rma))</math> <math display="block">fH1 \leftarrow Futy \cdot (Tpl - t + prcv) \cdot e^{-pd \cdot t}</math> <math display="block">fHm \leftarrow fH1 + (1 - uu) \cdot xv - bopzS</math> <math display="block">ym \leftarrow maHm &lt; fHm</math> <math display="block">maHm \leftarrow maHm \cdot (1 - ym) + fHm \cdot ym</math> <math display="block">u1op \leftarrow u1op \cdot (1 - ym) + uu \cdot ym</math> <math display="block">xkrop \leftarrow xkrop \cdot (1 - ym) + Xkr \cdot ym</math> </div> </div> </div> $u_{k+1} \leftarrow u1op$ $xkr_{k+1} \leftarrow xkrop$ $borg_{k+1} \leftarrow borg_k + \frac{xkr_k [1 + pr \cdot (Tpl - t)]}{Tpl - t} \cdot \Delta t$ $Okp \leftarrow x1_k + xkr_{k+1} - borg_k$ $x1_{k+1} \leftarrow x1_k + F(Okp \cdot u_{k+1}) \cdot \Delta t$ $z1_{k+1} \leftarrow Okp \cdot (1 - u_{k+1})$ $sdox \leftarrow sdox + z1_{k+1} \cdot \Delta t$ $skred \leftarrow skred + xkr_k \cdot \Delta t$ $vskrd \leftarrow vskrd + borg_k \cdot \Delta t$ $vys \leftarrow (u_k \ x1_k \ z1_k \ xkr_k \ -borg_k)$ $vyx^{(k)} \leftarrow vys^T$ $Vys \leftarrow (vyx \ sdox \ skred \ vskrd)$ $Vyx \leftarrow Vys^T$
-------------------------	---

Рисунок 3.6 — Базовий модуль рішення задачі оптимального розвитку

### 3.3 Приклади і аналіз результатів моделювання розвитку об'єктів з паралельними ресурсними структурами

Аналізуємо паралельні структури в процесах розвитку. На рис. 3.7 подано приклад дослідження результатів.

Модуль розвиток після аналізу і узагальнення заданих в роботі паралельних ресурсних структур розглянемо приклади тестування програмних модулів[74].

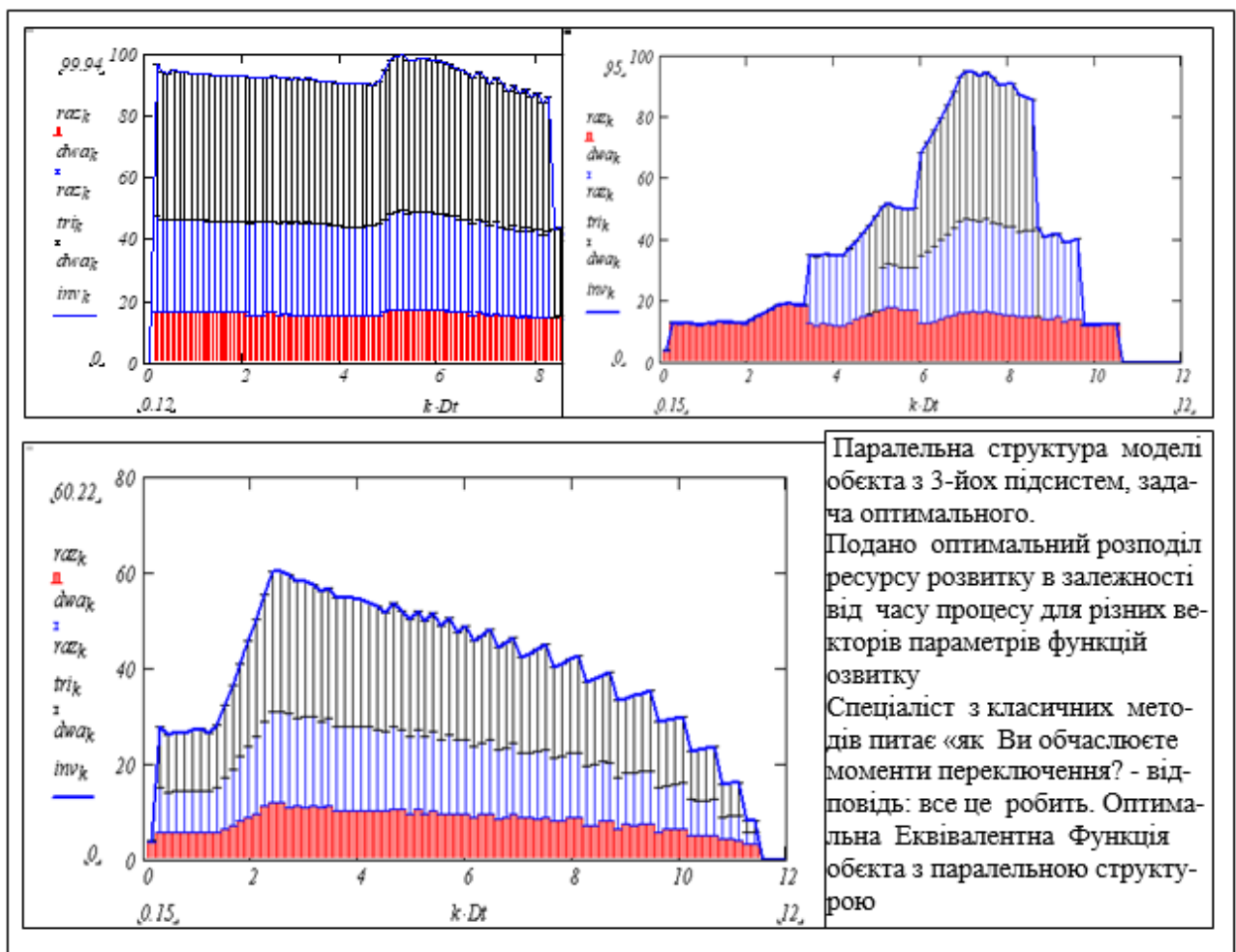


Рисунок 3.7 — Оптимальний розподіл ресурсу між підсистемами розвитку паралельної структури

На рис. 3.8 подано приклад двох процесів оптимального розвитку з ставками кредитів 4% і 24%. На графіках подано детальна інформація для

користувача . Пона така інформація для аналітика: синій графік «очікувані результати». Верхні графіки - для ставки 4%, нижні для 24%.

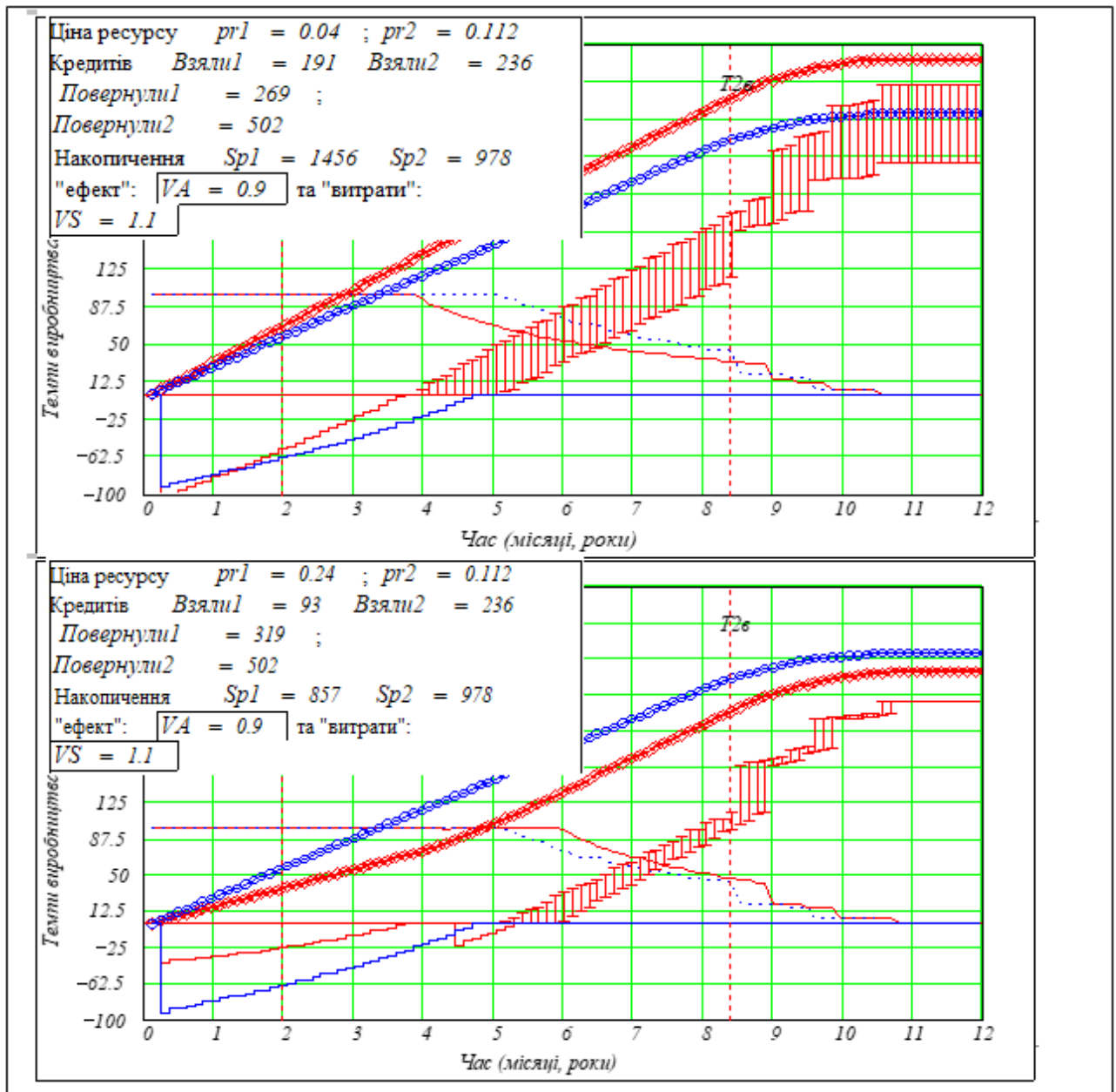


Рисунок 3.8 — Порівняння двох процесів розвитку з ставкою кредитів

Резюме: Якщо зміниться ставка кредиту з  $pr1 = 24\%$  на  $pr2 = 11.2\%$ , порогові витрати (увігн.) на  $dS = 10\%$  ефективність (ампл.) на  $dA = -10\%$  буде ось

що: накопичений прибуток зміниться на  $(Sp2 - Sp1) \div Sp1 = 14.2\%$ , обсяг витрат по кредитах зміниться на  $1 - \left| \frac{\text{Повернули}2 - \text{Повернули}1}{\text{Повернули}1} \right| = 42.8\%$ , якщо управління буде оптимальним. Важко не зробити висновок : використана і розроблена теорія і практика не тільки має новизну, але і працездатна.

### 3.4. Оптимальне агрегування паралельних структур з елементів класу «виробництво, розвиток»

В сучасних виробничих системах процеси виробництва і розвитку виробництва інтегровані. Структури, в яких функції виробництва і розвитку збільшуються за часткою. Це обумовлено можливостями їх реалізації і потребами ринку, якому бажано мати верстати і конвеєри що самоконтролюються, обслуговуються власними програмістами, що оновлюють програмне забезпечення обробних центрів. Це потребує витрат, однак підвищує ефективність виробництва. За результатами аналізу включаємо таку актуальну ресурсну структуру прискоренням процесів розвитку[75]. Специфіка таких структур в тому підсистемі розвиток присутні не на всіх елементах в підсистемах. В моделі це відображається нульовим рівнем підсистемі розвитку. Зазвичай зараз підсистем розглядаються в аспектах виробництва, розвитку і освоєння.

Розглянемо базову модель освоєння, що відображує результат розподіленого, неформалізованого процесу освоєння, а саме – зменшення витрат виробництва на одиницю виміру продукції. Наводимо для порівняння головний аналог – модель зменшення витрат (собівартість з часом. Модель подана як різницеве рівняння першого порядку (3.1). Також подана спрощена модель.

$$cv_{t+1} = cv_t + \left( vv \cdot \frac{xp_t \cdot \ln(po)}{\ln(2) \cdot Sp_t} \cdot po^{\frac{\ln(Sp_t)}{\ln(2)}} - \frac{vp}{xp(t)^2} \cdot Dxp_t \right) \cdot Dt; \quad (3.1)$$

$$cv_{t+1} = cv_t + \left[ K1 \cdot \left[ (Sp_t)^{-1} \right] + K2 \cdot Dxp_t \right] \cdot Dt. \quad \text{ORIGIN} := 1$$



В цих виразах  $cv_t$ ,  $xp_t$  – поточні собівартість і темп випуску, відповідні змінні еквівалентної дискретної моделі,  $Sxp_t$  – накопичений випуск – інтеграл в

неперервній моделі:  $\int_0^t xp(\tau) d\tau \Rightarrow Sxp_t = \sum_{\tau=1}^t xp_{\tau}$ ,  $\frac{d}{dt}xp(t) \Rightarrow Dxp_t = \frac{xp_t - xp_{t-1}}{Dt}$ .

Назвемо цю модель освоєння ціною і перейдемо до нової розробки даної роботи – «ресурсною моделлю освоєння». Розглянемо, «предметно», «в числах» ресурсну структуру «виробництво, розвиток» з параметричним зв'язком.

Задаємо величину кванту ресурсу, пропорцію розподілу та вектори параметрів виробництва й розвитку. Записуємо аналітичні наближення для цих функцій.

$$\Delta xs := 150; \alpha := 0.5 \quad vPp := \begin{pmatrix} 150 \\ 0.05 \\ 5 \end{pmatrix} \quad vPr := \begin{pmatrix} 60 \\ 0.03 \\ 20 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

$$fr(x, vPr) := vPr_1 \cdot (1 - e^{-vPr_2 \cdot x})^{vPr_3}; \quad fp(x, vPp) := vPp_1 \cdot (1 - e^{-vPp_2 \cdot x})^{vPp_3}$$

Записуємо узагальнену модель параметричного зв'язку «виробництво, розвиток» і підставляємо значення параметрів, що відповідають типовим виробничим системам, виводимо приклад функції впливу підсистеми розвитку на параметри результатів[75]. Вектор параметрів функції основного виробництва залежить від витрат в підсистемі «розвиток» ресурсів  $\alpha \cdot \Delta xs$

$$VP1(\alpha, \Delta xs) := \begin{bmatrix} fr(\alpha \cdot \Delta xs, vPr) \\ vPp_2 \cdot (1 - 0.002 \cdot fr(\alpha \cdot \Delta xs, vPr)) \\ vPp_3 \cdot ((1 + 0.03 \cdot fr(\alpha \cdot \Delta xs, vPr))) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} "Ap: приращение ПМ произв" \\ "w изменение параметра fp" \\ "s изменение параметра fp" \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

На рисунку 3.9 подано тестування моделі з параметричним зв'язком «виробництво, розвиток».

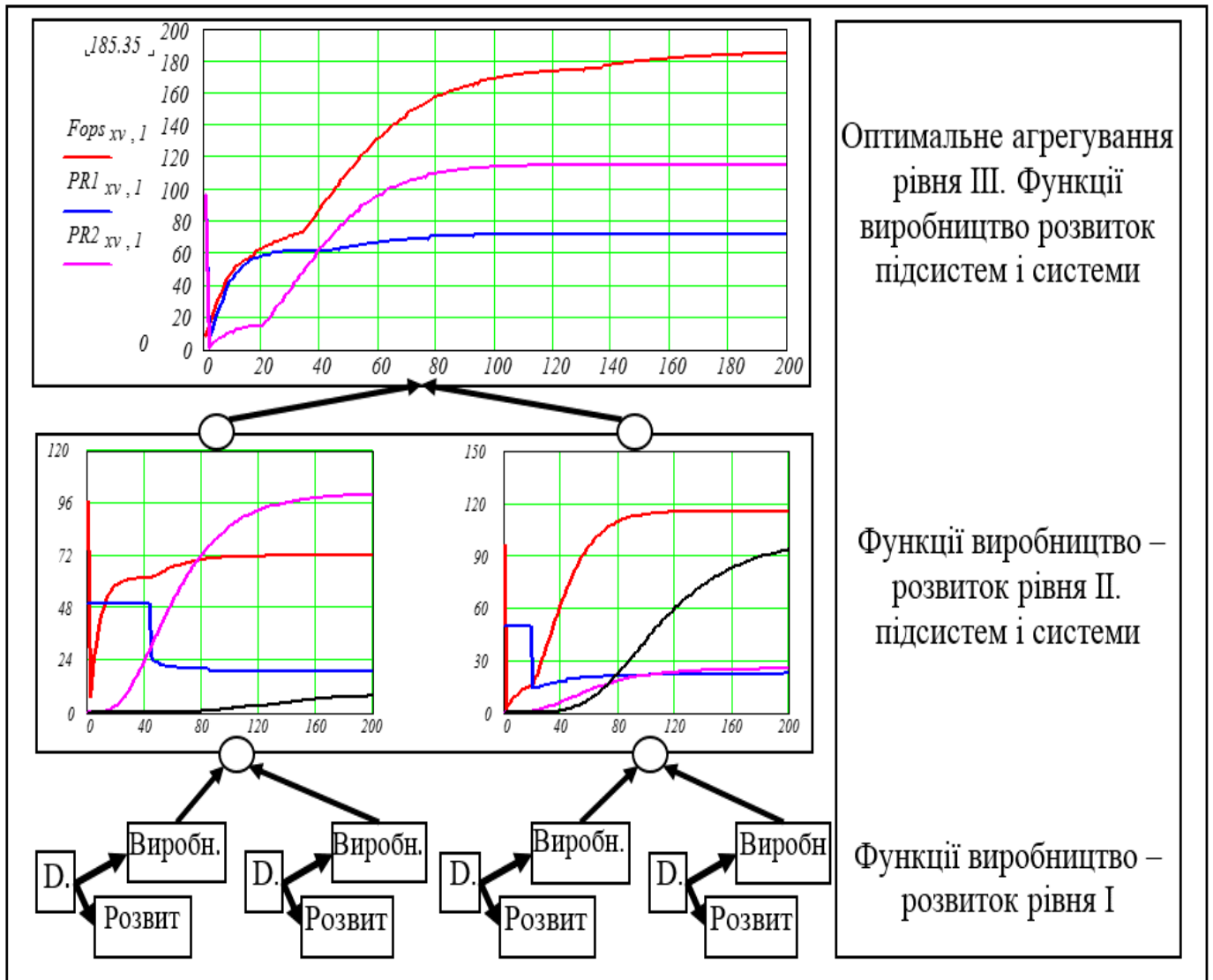


Рисунок 3.9 — Оптимальне агрегування ресурсної паралельної структури.

Дворівневе агрегування системи з елементів «виробництво, розвиток»

Звернемо увагу на ресурсну структуру на рис. 3.9: кожен елемент нижнього рівня складається з двох частин: «виробництво» і «розвиток». Ресурси системи розподіляють між витратами розвитку і виробництва згідно математичній моделі багаторівневого оптимального агрегування[74].

### 3.5 Аналіз параметричного зв'язку

На рисунку 3.9 подано аналіз параметричного зв'язку. Параметричний зв'язок подається функцією  $VPI(\alpha, \Delta x_s)$ , що бере величину кванту ресурсу  $\Delta x_s$  і частку цього кванту, виділеного (системою оптимального управління) на розвиток. На рисунку 3.5 представлені два набора функцій виробництва при варіації параметрів  $\Delta x_s$  і  $\alpha$ . Ці припущення функцій виробництва обумовлені витратами частки  $\alpha$  кванту ресурсу  $\Delta x_s$ . Розглянемо альтернативні підходи (сценарії) до вибору моделі освоєння: «глибоке освоєння», «покращення», «запуск в серію».

Розглянемо види і рівні розвитку.

1) Глибоке освоєння. Виробнича система випустила декілька поколінь продукції певного цільового призначення, є в середньому успішною (мала і переборювала певні кризи). Накопичені в обладнанні, документації і розумно обновлюваних кадрах знання створюють умови для евристики – знаходження принципово нових рішень та серендіпності (serendipity) – знаходження рішень, що не шукалися. Витрати виробництва можуть зменшуватись не на проценти а в рази. В книзі Кевіна Келлі "Нові правила для нової економіки" наведено гіпотезу про "гіперосвоєння" для мережевих продуктів і технологій: "сумарні витрати на випуск 100.000.000 виробів можуть бути меншими, ніж сумарні витрати на випуск 1.000.000 виробів. Задача Келлі вирішується методами оптимального агрегування. Однак, такі ефекти виникають в організаціях, що існують не менше 20- 30 років і має нерозривний інформаційний зв'язок між поколіннями[75].

2) «Покращення»: класична модель – налагодження і настроювання обладнання, пошукова локальна оптимізації технологічних процесів, доробка недоробок і випалювання дефектів; Зрапишем математичну модель освоєння:

Диференційне рівняння моделі освоєння:  $Trо \cdot \frac{d}{dt} x(t) = a \cdot x(t) + b \cdot (x^{tr}(t) - x(t))$

Отримаємо еквівалентне різницеве рівняння:  $k := 2..100, \Delta t, t_k - t_{k-1} = \Delta t$

$$\begin{aligned}
\frac{Tpo \cdot (x_k - x_{k-1})}{\Delta t} &= a \cdot x_k + b \cdot (xtr_k - x_{k-1}) \Rightarrow \\
Tpo \cdot (x_k - x_{k-1}) &= a \cdot x_k \cdot \Delta t + b \cdot (xtr_k - x_{k-1}) \cdot \Delta t \Rightarrow \\
(Tpo - a \cdot \Delta t) \cdot x_k &= Tpo \cdot x_{k-1} + b \cdot (xtr_k - x_{k-1}) \cdot \Delta t; \\
x_k &= \frac{Tpo \cdot x_{k-1}}{(Tpo - a \cdot \Delta t)} + \frac{b \cdot (xtr_k - x_{k-1}) \cdot \Delta t}{(Tpo - a \cdot \Delta t)} \quad (3.4)
\end{aligned}$$

В усталеному стані рівень виробничих потужностей повинен дорівнювати номінальному. Задаємо тестові дані  $a := 1$ ;  $\Delta t := 2$ ;

$$\begin{aligned}
xtr_k &:= xtr_{k-1} + \neg mod(k, 10) \cdot rnd(20) \quad b := 2; \quad Tpo := 10 \\
x_k &:= \frac{Tpo \cdot x_{k-1} + b \cdot (xtr_k - x_{k-1}) \cdot \Delta t}{Tpo - a \cdot \Delta t} \cdot 0.8 \quad (3.5)
\end{aligned}$$

3) «Запуск»: запізнення запуску – нова модель – технологічна система має вже оптимізовані підсистеми і автоматизовану систему контролю і адаптації, зміст освоєння – персонал повинен адаптуватись до нових виробничих потужностей, забезпечити потрібне організаційно-фінансове "підключення" до всіх сервісів – охорони, енерго- і ресурсо- забезпечення[76]. Максимальна продуктивність вже закладена в сучасні технологічні системи та її елементи – просто неможливо підвищити температуру чи тиск – вони вже оптимізовані. Система повинна бути виведена на паспортні дані. Таким чином, нова підсистема починає видавати продукцію з певним запізненням. Зробимо тестову модель для процесів освоєння класу «запуск». Записуємо функцію, що визначає початок інтервалу. Отримуємо модель послідовності "квантів" ресурсів для розвитку, що визначаються оптимальним розподілом чергового кванту ресурсу на: 1) виробництво, 2) розвиток, 3) накопичення кванту ресурсу на початку інтервалу (див. розд 2). Вектор  $vt$  вказує моменти і величину ресурсу, що виділено на розвиток.  $mo := 8$

$$\begin{aligned}
K(\delta x, mo, i) &:= \neg mod(i, mo) \cdot \delta x \quad (3.6) \\
\text{zapazd:} \quad Kz(\delta x, mo, i) &:= \neg mod(i - 4, mo) \cdot \delta x \\
vec_i &:= K(\delta x, mo, i) \quad vt := vec^T
\end{aligned}$$

$$vt =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0

Робимо аналогічну модель – вектор  $X_{tr}$ , що вказує моменти зміни і величину сумарних виробничих потужностей ВС (аналогічно моделі «покращення» (3.6) ). Величина запізнення "запуску" (відносно моментів у векторі  $vt$ ) може бути детермінованою і стохастичною (звичайно в сторону збільшення часу на запуск відносно номінального). Задаємо тестові дані  $mo := 8$

$$\delta x_{r_k} := (25 + trunc(rnd(10))) \cdot (-mod(k, mo))$$

Записуємо модель процесу розвитку (нарощення та ін.) виробничих потужностей.

$$X_{tr_k} := X_{tr_{k-1}} + K(\delta x_{r_k}, mo, k) \quad (3.7)$$

де  $\delta x_{r_k}$  – прирощення виробничих потужностей на  $k$ - кроці моделювання процесу;  $mo := 5$  – це фактично кількість кроків процесу в інтервалі витрачання кванту ресурсу. Вводимо в модель (3.7) часове запізнення. Задаємо його в кроках моделювання  $zp := -6$   $mo := 13$  запізнень в програмі

$$Kz(\delta x, mo, k) := -mod(k, mo) \cdot \delta x$$

$$X_{zr_k} := X_{zr_{k-1}} + Kz(40, mo, k + 0) \quad X_{zz_k} := X_{zz_{k-1}} + Kz(38, mo, k + zp) \cdot (k > mo)$$

Розглянуті вище моделі освоєння класів "покращення" і "запуск" не вичерпують всіх можливих реальних процесів освоєння. Специфіка процесів освоєння залежить від специфіки технологій і продуктів виробництва, а також масштабів та інноваційності проекту. Це тема окремого дослідження. Стосовно великих інноваційних проектів є певні приклади і певна статистика. Зокрема, з практики відомі такі правила проектних витрат: – реальні витрати на проект розвитку перевищують в 5-7 раз планові; – останні 5% запланованих робіт беруть 90% витрат і часу виконання проекту. Ці правила діють і у сучасних великих проектах, але це не афішується, по можливості.

Узагальнена модель, що розробляється – модульна, розрахована на розробку нових модулів. Для даної моделі розроблені і проходять тестування такі модулі:

- модель оптимального агрегування структур «виробництво, розвиток» з урахуванням ресурсних зворотних зв'язків;
- модель оптимального агрегування структур «виробництво, розвиток» з урахуванням коливань цін ресурсів і продуктів виробництва.

$\Delta y_p(\Delta x_s, \alpha, MP_o, xp_0) :=$	$vPp_0 \leftarrow MP_o^{(1)}$ $vPr \leftarrow MP_o^{(2)}$ $yp_0 \leftarrow fp(xp_0, vPp_0)$ $xp \leftarrow xp_0 + \alpha \cdot \Delta x_s$ $xr \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \Delta x_s$ $yr \leftarrow fr(xr, vPr)$ $vPp \leftarrow VP2(\alpha, \Delta x_s, vPp_0, vPr)$ $yp \leftarrow fp(xp, vPp)$ $Jpr \leftarrow yp - yp_0$ $\begin{pmatrix} Jpr \\ vPp \end{pmatrix}$
---	---

Рисунок 3.10 – Реалізація моделі оптимального агрегування інтегрованих структур «виробництво, розвиток».

Складаємо модуль інтерфейсу з трьох частин:

- аналіз функцій виробництва й розвитку;
- аналіз оптимальних еквівалентних функцій «виробництво-розвиток» (ОЕФВР);
- аналіз оптимальної еквівалентної функції для пари ОЕФВР.

Складемо модуль, що реалізує бінарний оператор оптимального агрегування. Використаємо модуль відображення витрат ресурсів на розвиток в зміні параметрів функції виробництва (згідно технологіям, що відповідають вибраному сегменту виробництва).

Методологія оптимального агрегування «вбудована» в програмні платформи пакетів моделювання. Але це не «програмування», а математика, яка реалізована програмно[76]. Відмінність від «паперової математики» – висока якісна ефективність. Кількісна ефективність – прискорення обчислень.

Визначену в середовищі пакету функцію (виробництва, розвитку, інновацій, попиту, пропозиції – класу «витрати, виробництво» можна показати слідуючим чином:

$$f(x); f(x_1, x_2, 2p_1, p_2); f(Vx, Vp), f(Mx, Mp)$$

Функція в математиці та функція користувача в програмній платформі – поняття не тотожні. В цій роботі об'єкти – функції, оператори, операнди.

В методах оптимального агрегування операнди – дискретизовані функції підсистем виробничої системи класу «витрати, випуск». Результати вирішення оптимізаційних задач нелінійного програмування представляються також функціями того ж класу – оптимальними еквівалентними функціями виробництва» (ОЕФВ) виробничої системи. Особливість операндів оптимального агрегування – «пам'ять» попередніх операцій оптимального агрегування. Фактично результат оптимізації – це значення ОЕФВ і оптимальний розподіл ресурсу по всіх елементах виробничої системи; операнд результату подібний до запису у базі даних[75]. Крім оптимального розподілу ресурсу, операнд може містити нові значення параметрів підсистем. Оператор оптимального агрегування може бути параметризованим: визначеним, як функція користувача від параметрів підсистем, зовнішніх і внутрішніх збурень. Ці аспекти застосування методів оптимального агрегування розглянуті далі.

Тестування паралельної структури з інтегрованих підсистем «виробництво, розвиток» («ВР»). Розглядаємо деякий клас виробничих систем із підсистеми «ВР». Можлива інтерпретація – багатопродуктове виробництво із достатньо різноманітними технологіями та продуктами виробництва. Кожна підсистема «обростає» своїми сервісами ремонту і розвитку. Очевидним буде виконання операції агрегування «ВР» в цих підсистемах, а потім агрегувати паралельну структуру. Формуємо тестовий об'єкт – зручний для аналізу і актуальний для практики. На рисунку 3.11 і 3.12 подано два варіанти формул рішення задачі.

Перший варіант: спочатку виконується оптимальне агрегування «виробництво, розвиток», а потім агрегуємо результати.

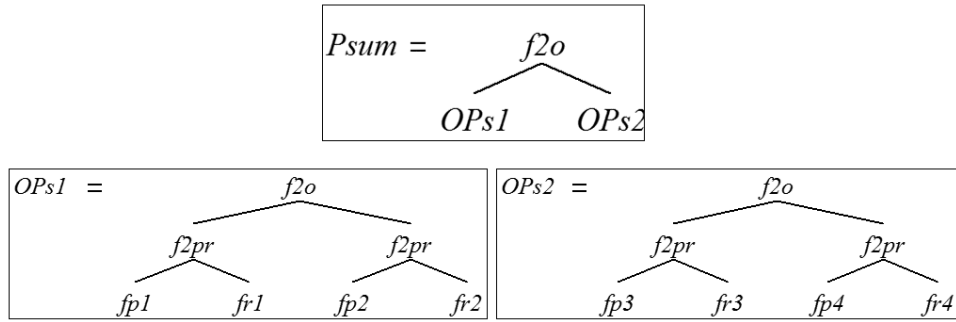


Рисунок 3.11 — Оптимальне агрегування «виробництво, розвиток» та результатів

Другий варіант – одразу виконуємо агрегування усіх восьми елементів.

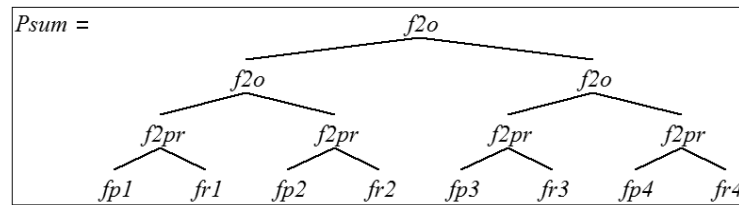


Рисунок 3.12 – Перехід від агрегування «виробництво, розвиток» до агрегування паралельної структури – зміна формату операнду

Візуальний аналіз: порівнюємо формати результатів виконання операцій:  $fpr(PR1)$ ,  $PR1$ ,  $F2opr(MP1, xp01)$ . Операнди алгебри оптимального агрегування мають певну подібність до записів реляційних баз даних. Операнди можуть отримуватись в параметризованій формі – тобто як функції певних параметрів.



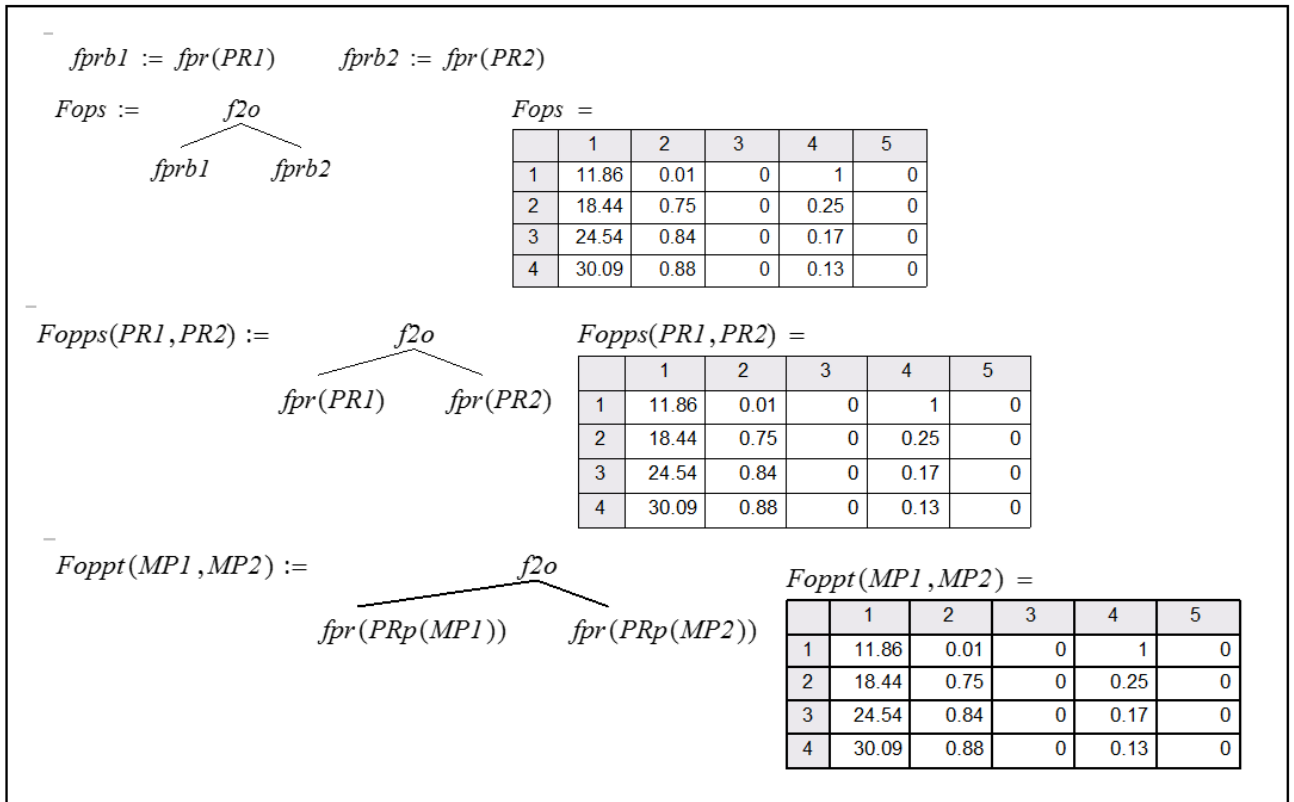


Рисунок 3.13 – Тестування параметризованих виразів: отримали однакові результати на базі властивостей ОС

Зауваження. Параметризація операторів оптимального агрегування принципово відрізняється від параметризації в класиці. В певній умові ми отримуємо оптимальну функцію від змінної «витрати» і на додаток – від параметру. При незначному зростанні обчислювальних витрат.

### 3.6 Висновки до розділу 3

На базі аналізу відомих рішень з оптимального агрегування паралельних структур запропоновані нові проектні рішення завдань даної роботи.

В підрозділі 3.1 виконана постановка задач вибору і модифікації бінарних операторів оптимального агрегування заданих ресурсних структур: «паралельна багатопродуктова», «паралельна комплект» і актуальна структура з оптимальним агрегуванням «виробництво, розвиток». Кінцева мета оптимального агрегування – рішення типових задач: оперативного і стратегічного управління. Подано деталізовані приклади рішення задач цих класів для паралельних структур.

Виконано аналіз рішень типових задач для паралельних структур з бірними операторами двох класів «паралельна адитивна» і «паралельна з операторами класу «виробництво, розвиток».

Методи оптимального агрегування типових ресурсних структур виробничої системи дозволяють забезпечити настроювання розробленої моделі на нові об'єкти управління за рахунок параметризації операндів і функцій. Відмінність методу оптимального агрегування від аналогів в тому, що він дає не точкове рішення оптимізаційної задачі, а «оптимальну еквівалентну функцію виробництва агрегованої системи, а також створення математичної моделі на базі оптимального агрегування і рішення варіаційної задачі розвитку виробничої системи. Актуальність в практичному плані – отримання і тестування цілісної, оптимальної, адаптивної системи управління.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Покращено методи розробки нових операторів для нових задач. «цінові стратегії, розвитку, де на відміну від існуючих моделей управління проектом вводиться обмеження попиту, що дає змогу підвищити ефективність оптимального розподілу ресурсів між проектами з урахуванням профілів попиту.

2. Покращено бінарний оператор для нової паралельної структури з оператором «виробництво, розвиток»

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

### 4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами»

можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод			
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	8	9	5
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)			
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим			
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам			
<b>Середнє значення балів експертів</b>		57,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПШБ, посада)		
Відкриття закону, розробка теорії	-	-	-
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	60	62	-
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	-	-	58
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	-	-	-
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	-	-	-
<b>Середнє значення балів експертів</b>	60,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [77]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де  $k_{нов}$ ,  $k_{теор}$  - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи,  $k_{нов} = 57,3$ ,  $k_{теор} = 60,0$  балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 57,3 + 0,4 \cdot 60,00 = 58,40 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника  $E_{нау}$  проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами», даний рівень становить 58,40 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

## 4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

### 4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і

груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_o$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [77]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 13600,00 \cdot 21 / 21 = 13600,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник науково-дослідної роботи	13600,00	647,62	21	13600,00
Науковий співробітник галузі математичного моделювання управлінських процесів	12100,00	576,19	12	6914,29
Консультант (менеджер системи управління розвитком виробництва)	13550,00	645,24	7	4516,67
Інженер-розробник ПЗ 1-ї кат.	12250,00	583,33	12	7000,00
Технік	7150,00	340,48	11	3745,24
Всього				35776,19

Основна заробітна плата робітників.

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo  $M_M=2379,00$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [77];

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_l = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 25,70 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 25,70 \cdot 7,80 = 200,47 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Установка обладнання для проведення пошукових робіт та математичного моделювання	7,80	2	1,10	25,70	200,47
Підготовка робочого місяця наукового співробітника	5,10	3	1,35	31,54	160,87
Підготовка робочого місяця інженера-розробника програмних	4,55	4	1,50	35,05	159,47



засобів					
Інсталяція програмно-го забезпечення для моделювання та розробки	6,32	4	1,50	35,05	221,50
Компіляція програмних блоків	5,20	5	1,70	39,72	206,55
Всього					948,86

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників.

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де  $H_{\text{доп}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (35776,19 + 948,86) \cdot 11 / 100\% = 4039,76 \text{ грн.}$$

#### 4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.6)$$

де  $H_{\text{зн}}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (35776,19 + 948,86 + 4039,76) \cdot 22 / 100\% = 8968,26 \text{ грн.}$$

#### 4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і дос-

ліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.7)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{ej}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 3,00 \cdot 109,50 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 361,35 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір Gemix A4 500	109,50	3,00	-	-	361,35
Папір для записів LightPapers 65 A5	56,00	5,00	-	-	308,00
Органайзер офісний Gemix	137,00	2,00	-	-	301,40
Набір офісний Gemix Base	200,00	3,00	-	-	660,00
Картридж для принтера Epson J4500	975,00	1,00	-	-	1072,50
Диск оптичний Vubir CD-R	14,50	3,00	-	-	47,85
Flesh-пам'ять Kingston 32 GB	255,00	1,00	-	-	280,50
Всього					3031,60

#### 4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_e$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» відсутні.

#### 4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення. Витрати на придбання спецустаткування відсутні.

#### 4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k \Pi_{\text{инпр}} \cdot C_{\text{прог.}i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де  $\Pi_{\text{инпр}}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог.}i}$  – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 32400,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 35640,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладний пакет планування виробництва та постачання EPRII Project Plus 2020	1	32400,00	35640,00
Інженерне математичне програмне забезпечення систем автоматизованого проектування Mathcad 15	1	9200,00	10120,00
Всього			45760,00

#### 4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де  $Ц_б$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (21300,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 887,50 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер Expert Pro	21300,00	2	1	887,50
Персональний комп'ютер Expert	17400,00	2	1	725,00

Base				
Робоче місце інженера-програміста	7100,00	5	1	118,33
Робоче місце наукового співробітника	7100,00	5	1	118,33
Системи мобільного зв'язку	12400,00	4	1	258,33
Оргтехніка	7450,00	4	1	155,21
Приміщення дослідного центру	310000,00	20	1	1291,67
ОС Windows 11	7410,00	2	1	308,75
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	6900,00	2	1	287,50
Всього				4150,63

#### 4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{vni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 4,50$  грн;

$K_{vni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{vni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,45 \cdot 130,0 \cdot 4,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 263,25 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер Expert Pro X2	0,45	130,0	263,25
Персональний комп'ютер Expert Base X3	0,25	110,0	123,75
Робоче місце інженера-програміста	0,12	110,0	59,40
Робоче місце наукового	0,12	110,0	59,40

співробітника			
Системи обміну інформацією	0,05	80,0	18,00
Оргтехніка	0,70	12,0	37,80
Всього			561,60

#### 4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де  $H_{cv}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо  $H_{cv} = 20\%$ .

$$B_{cv} = (35776,19 + 948,86) \cdot 20 / 100\% = 7345,01 \text{ грн.}$$

#### 4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

#### 4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\epsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{i\epsilon}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де  $H_{i\epsilon}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{i\epsilon} = 55\%$ .

$$I_{\epsilon} = (35776,19 + 948,86) \cdot 55 / 100\% = 20198,78 \text{ грн.}$$

#### 4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 105\%$ .

$$B_{нзв} = (35776,19 + 948,86) \cdot 105 / 100\% = 38561,30 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_{\epsilon} + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{\epsilon} + B_{нзв} \quad (4.17)$$

$B_{заг} = 35776,19 + 948,86 + 4039,76 + 8968,257302 + 3031,60 + 0,00 + 0,00 + 45760,00 + 4150,63 + 561,60 + 7345,01 + 0,00 + 20198,78 + 38561,30 = 169341,98$  грн.

Загальні витрати  $ZB$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta = 0,95$ .

$$ZB = 169341,98 / 0,95 = 178254,71 \text{ грн.}$$

#### 4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник  $K_p$  рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$



де  $I$  – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo  $I = 4$ ;

$n$  – коефіцієнт використання результатів роботи;  $n = 0$ , коли результати роботи не будуть використовуватись;  $n = 1$ , коли результати роботи будуть використовуватись частково;  $n = 2$ , коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках;  $n = 3$ , коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo  $n = 2$ ;

$T_C$  – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo  $T_C = 2$ ;

$R$  – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то  $R = 4$ ; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то  $R = 3$ ; якщо нижче відомих результатів, то  $R = 1$ . Прийmemo  $R = 3$ ;

$B$  – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo  $B = 178254,71$  грн;

$t$  – час проведення дослідження. Прийmemo  $t = 0,08$  років, (1 міс.).

Визначення показників  $I, n, T_C, R, B, t$  здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [77].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^2 \cdot 2 \cdot 3 / 178 \cdot 0,08 = 6,46.$$

Якщо  $K_p > 1$ , то науково-дослідну роботу на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

#### 4.4 Висновки до розділу 4

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» складають 178254,71 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Розробка і дослідження

дження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи  $K_p > 1$ , що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

## ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці і дослідженню покращених математичних моделей функціонування і розвитку систем проектів у сучасних виробничих системах, а саме розробку комп'ютерної системи оптимального управління системами проектів виробництва.

В дипломній роботі була поставлена мета суттєвого підвищення ефективності процесів функціонування і розвитку сучасних систем проектів за рахунок розробки і покращення моделей систем проектів оптимізації за критеріями ефективності і оптимальності на базі методології оптимального агрегування.

Для досягнення поставленої мети були поставлені і виконані такі задачі:

- проведено аналіз існуючих методів оптимального управління системами проектів як складних багаторівневих процесах розвитку і виробництва;
- покращено математичні моделі управління часом виконання елементів систем проектів, що важливо в мовах узгодження в часі життєвих циклів продукції виробництва.

Вибрано методи оптимального агрегування і оптимального управління процесами виробництва і розвитку. Розроблено метод управління ринковими вікнами з використанням параметризованих функцій виробництва, розвитку і попиту. Запропоновано програмну реалізацію методу оптимального управління ринковими вікнами - вибором моментів переходу на нову модель продукту виробництва. Реалізація базована на двох рівнях оптимального агрегування послідовних структур «виробництво, ритейл» і паралельних структур з виробництв в різних фазах життєвого циклу продукту виробництва. Таким чином отримана оптимальна адаптивна безпошукова комп'ютерно інтегрована система. Виконано тестування всіх програмних модулів системи управління і підтверджено їх коректність і ефективність.

Проаналізовано та промодельовано два варіанти управління багатовимірними системами: - оптимальне управління на базі рішення варіаційної задачі розвитку та на базі оптимального агрегування класу «виробництво, розвиток» динаміка оперативного управління. Розроблено технологію побудови

комп'ютерних систем управління з використанням альтернативних методів оптимізації і для довільних моделей динаміки об'єктів управління.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Демчуков, О., Боровська, Т., & Пешко, І. (2021). Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком для об'єктів з узагальненими паралельними структурами в НТКП ВНТУ. Факультет комп'ютерних систем і автоматики. Отримано з <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/12733>
2. Пешко, І., Боровська, Т., & Демчуков, О. (2021). Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком для об'єктів з узагальненими послідовними структурами в НТКП ВНТУ. Факультет комп'ютерних систем і автоматики. Отримано з <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/12665/10609>
3. Боровська Таїса Розробка і дослідження багаторесурсної та багатопродуктової підсистеми рециклінгу / Т. Боровська, І. Колесник, В. Северілов, І. Пешко // Тези доповідей XV міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020)», м. Вінниця, Україна, 8-10 жовтня 2020 р.– Вінниця : ВНТУ, 2020. – С. 108–109. – ISBN 978-966-641-818-3. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30569>
4. Боровська, Т.; Гришин, Д.; Демчуков, О. Система оптимального управління розвитком підприємства з урахуванням кредитів. [Електронний ресурс] / Боровська, Т.; Гришин, Д.; Демчуков, О. Факультет комп'ютерних систем і автоматики. Україна, 2020. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/9547/7820>
5. Арчибальд Рассел Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Арчибальд Рассел Д — Москва: ДМК-Пресс, 2016. — 464 с.
6. Ершов С. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Ершов С. — Архангельск: САФУ, 2015. — 226 с.

7. Ньюэлл Майкл В. Управление проектами для профессионалов. Руководство по подготовке к сдаче сертификационного экзамена / Ньюэлл Майкл В. — Кудиц-пресс, 2008. — 416 с.
8. Демарко Т. Deadline. Роман об управлении проектами. / Демарко Т. — Москва: «Вершина», 2006. — 143 с.
9. Ашманов И.С. Жизнь внутри пузыря / Ашманов И.С. — Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2008. — 208 с.
10. Хелдман К. Профессионально управление проектами / Хелдман К. — Москва: Бином, 2005. — 517 с.
11. Мировая динамика: пер. с англ./Д.Форрестер. — М.: ООО «Издательство АСТ; Сиб.: Terra Fantastica. 2003. — 379.{5} с — (philosophy).
12. Лапыгин Ю.Н. Управление проектами: от планирования до оценки эффективности / Лапыгин Ю.Н. — Москва: Омега-Л, 2008. — 252 с.
13. Богданов В.В. Управление проектами. Корпоративная система — шаг за шагом / Богданов В.В. — Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2012. — 248 с.
14. Kendrick T. The Project Management Tool Kit: 100 Tips and Techniques for Getting the Job Done Right, Third Edition / Kendrick T — AMACOM Books, 2013, — 288 p.
15. Richard E. Bellman. Applied Dynamic Programming / R. E. Bellman, S. E. Dreyfus — Princeton University Press , 2015. — 256 p.
16. James P. Lewis. The project manager's desk reference: : a comprehensive guide to project planning, scheduling, evaluation, and systems / James P. Lewis — 2000. — 185 p.
17. David I. Cleland. Global Project Management Handbook / David I. Cleland, Roland Gareis. — McGraw-Hill Professional, 2006. — 115 p.
18. Morris G. The management of projects / G. Morris, Peter W. — London: T. Telford, 1994. — 317 p.
19. Stevens M. Project Management Pathways / Stevens M — Association for Project Management. APM Publishing Limited, 2002. — 976 p.

20. Lock D. Project Management (9th ed.) / Lock D – Gower Publishing, Ltd, 2007. – 650 p.
21. Russell L. Ackoff Introduction to Operations Research / E. L. Arnoff. John Wiley – Sons: New York. 1957.
22. Thomas T. Nagle, John E. Hogan The Strategy and Tactics of Pricing: A Guide to Growing More Profitably / Thomas T. Nagle – Abingdon, United Kingdom, 2018, 352 pp.
23. Paul C. Dinsmore et al. Right projects done right! / Paul C. Dinsmore et al – John Wiley and Sons, 2005. – 336 p.
24. Phillips J. PMP Project Management Professional Study Guide / Phillips J – McGraw-Hill Professional. 2003. – 845 p.
25. Snyder S. Introduction to IT Project Management / S. Snyder, F. Parth – Berrett-Koehler Publishers , 2006. – 394 p.
26. Renshaw, Geoff (2005). Maths for Economics. New York: Oxford University Press. pp. 516–526.
27. Идеализированное проектирование. Как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации [Текст] / Р. Л. Акофф [и др.]; пер. Ф. П. Тарасенко. - Д. : Баланс Бизнес Букс, 2007. - 320 с. - Библиогр.: с. 255-262.
28. Васильев Ф.П. Методы оптимизации / Васильев Ф.П. – М.: Факториал Пресс, 2002. – 824 с.
29. Пашутин С. В. Оптимизация издержек и технология формирования оптимального ассортимента / Оптимизация издержек и технология формирования оптимального ассортимента. – Москва: Высшая школа, 2005. – 20 с.
30. Пешель М. Моделирование сигналов и систем / М. Пешель – М. : Мир, 1981. – 286 с.
31. Боровська Т. М. Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах: монографія / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2009. – 229 с. – ISBN 978–966–641–285–3.

32. Боровська Т. М. Моделювання і оптимізація процесів розвитку виробничих систем з урахуванням використання зовнішніх ресурсів та ефектів освоєння: монографія / [Т. М. Боровська, С. П. Бадьора, В. А. Северілов, П. В. Северілов]; за заг. ред. Т. М. Боровської. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 255 с. – ISBN 978–966–641–312–6.

33. Боровська Т. М. Математичні моделі функціонування і розвитку виробничих систем на базі методології оптимального агрегування: монографія / Т. М. Боровська. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 308 с. – ISBN 978–966–641–731–5.

34. Боровська Т.М. Альтернативні моделі оптимального розвитку виробничих систем в умовах невизначеності / Т. М. Боровська, П. В. Северілов, Є. П. Хомин // Системні дослідження та інформаційні технології (Інститут прикладного системного аналізу НАН України та Міністерства освіти і науки України). – 2014. – № 4. – С. 121– 136. ISSN 1681-6048.

35. Боровська, Т. Н. Оптимальне агрегування виробничих систем з параметричними зв'язками [Текст] / Т. Н. Боровська // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 4, № 11(70). – С. 9-19. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.26306.

36. Боровська Т. М. Моделі оптимального інноваційного розвитку виробничих систем / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов, П. В. Северілов // Східно-Європейський журнал передових технологій: Математичне та інформаційне забезпечення комп'ютерно-інтегрованих систем управління. – 2014. – Т. 5, № 2(71).– С. 42–50. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28030.

37. Боровська Т. М. Оптимальне агрегування систем зі стохастичними функціями виробництва / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, П. В. Северілов, А. О. Маліночка // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. - 2014. - № 792. - С. 41-52. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNULPT\\_2014\\_792\\_10.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNULPT_2014_792_10.pdf)

38. Боровская Т. Н. Оптимальное агрегирование интегрированных систем "производство-развитие" / Т. Н. Боровская, И. С. Колесник, В. А. Северилов, И.



В. Шульган // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2014. № 2.(30) – С. 18–28. ISSN 1999-9941

39. Боровська Т. М. Моделі ефективності і живучості технічних систем / Т. М. Боровська, Е. П. Хомин, П. В. Северілов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 1. – 95 с.

40. Боровська Т. М. Розробка системи оптимального управління розвитком за наявності невизначеностей [Електронний ресурс] / Г. Ю. Дерман, Т. М. Боровська, В. А. Северілов // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – № 1. – Режим доступу до журн.:<http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011-1/2011-1.html>.

41. Боровська Т. М. Оптимізація управління розподіленням об'єктом «лінійка продуктів» [Електронний ресурс] / Е. П. Хомин, Т. М. Боровська, С. П. Бадьора // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011-3/2011-3.html>.

42. Боровська Т. М. Декомпозиційні методи аналізу і синтезу управління в розподілених системах / Бадьора С.П., Боровська Т.М. // Збірник матеріалів XIII Міжнародної НТК «Автоматика-2006». – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – С. 221

43. Боровська Т.М. Оптимізація управління інноваційним розвитком при невизначеностях / Т. М. Боровська, Г. Ю. Дерман // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 3. – С. 141–147.

44. Боровська Т. М. Оптимальне управління розвитком техніко-економічних систем. Кредитні стратегії / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С. 173–180.

45. Боровська Т.М. Технології розробки імітаційних моделей класу "n виробників, m продуктів, k споживачів" / Боровська Т.М., Северілов П.В. // Матеріали НПК «Наука і навчальний процес. Дослідження нових інформаційних технологій». – Вінниця: ВСЕІ Університету "Україна", 2008. — С. 119–121.

46. Глушков В.М. Моделирование развивающихся систем / Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В. М. — Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. — XLIII, 265 с.
47. Geoff R. Maths for Economics / Geoff R – New York : Oxford University Press, 2005, – 516 p.
48. Боровська Т. М. Моделювання та оптимізація систем автоматичного управління: навч. посіб. для студ. ВНЗ / Т. М. Боровська, А. С. Васюра, В. А. Северілов. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 132 с. – ISBN 978–966–641–319–5.
49. Боровська Т. Оптимальне управління продажами з урахуванням ефектів освоєння та масштабів виробництва на базі методів оптимального агрегування Розробка оптимальної системи масового обслуговування з ідентифікатором стану та зовнішнього оточення / Т. Боровська, Г. Гришин, А. Андрюшкін, І. Колесник, В. Северілов, С. Юзва // «ИНТЕРНЕТ–ОСВИТА–НАУКА–2020», XII Міжнародна науково-практична конференція ІОН-2020, 26-29 травня, 2020: Збірник праць. – Вінниця: ВНТУ, 2020 – С. 10–12. [http://ies.vntu.edu.ua/ru/ies2020/report/proceedings\\_2020](http://ies.vntu.edu.ua/ru/ies2020/report/proceedings_2020)
50. Боровська, Т.; Пешко, І.; Андрюшкін, А. Система управління розвитком підприємства з урахуванням моментів запуску окремих виробництв. Факультет комп'ютерних систем і автоматики, Ukraine, mar. 2020. Available at: <<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/9071/7471>>.
51. Боровська, Т.; Андрюшкін, А.. Система управління виробництвом в активному оточенні з урахуванням «навчання користувачів». НТКП ВНТУ. Факультет комп'ютерних систем і автоматики, Ukraine, mar. 2019. Available at: <<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2019/paper/view/7496>>. Date accessed: 03 Jun. 2019.
52. Nersessian, N. J., & Chandrasekharan, S. Hybrid analogies in conceptual innovation in science. / Nersessian, N. J., & Chandrasekharan, S. Cognitive Systems Research, 2009. 178–188 pp.55

53. Murayama. T, Optimal aggregation of noisy observations / T. Murayama, P. Devis *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 233, Number 1, NY, 2003. – 301–312 pp.
54. Tsybakov B, Optimal Rates of Aggregation / B. Tsybakov *Statistical Learning Theory and Stochastic Optimization. Ecole d'Et'e de Probabilit'es de Saint-Flour 2001, Lecture Notes in Mathematics*, Springer, NY, 2001. – 54–69 pp.
55. Weijia D, Optimal Aggregation of Consumer Ratings / D. Weijia , Z. Ginger, L Jungmin *NBER Working Paper No. 18567*. – 12–23 pp.
56. Xinxin L, Self-Selection and Information Role of Online Product Reviews / L. Xinxin *Information Systems Research*. – 56–64 pp.
57. McDonald's M. Strategic planning of the marketing – St.Petersburg.: Publishing House. «Piter», 2000. – 320 p.
58. Боровська Т. М. Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах /Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2009. – 229 с.
59. Krishnamachari, L. The impact of data aggregation in wireless sensor networks. / Krishnamachari, L., Estrin, D., & Wicker, S. In *Proceedings 22nd international conference on distributed computing systems workshops*, 2002. – 575–578 pp.
60. Lu, Z., Wen, Y., Fan, R., Tan, S. L., & Biswas, J. (2013). Toward efficient distributed algorithms for in-network binary operator tree placement in wireless sensor networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2013. – 743–755 pp.
61. Yang, H. The credit strategy of a green supply chain based on capital constraints. / Yang, H., Miao, L., & Zhao, C. *Journal of cleaner production* 2019, 930–939 pp.
62. Соколов Н.В. Методология процессов оптимизации управления производством. / Монография. М. Изд. «Архитектура С», 2011 г. – 185 с.

63. Тарасенко А.В. Принцип оптимальности Беллмана в задачах оптимального распределения средств между предприятиями на расширение производства. / Тарасенко А.В., Егорова И.П. Вестник университета, 2019. – 132–138 с.
64. Харченко В. А. Сутність системи управління розвитком промислового підприємства [Електронний ресурс] / В. А. Харченко Економіка промисловості, 2013. –100–110 с. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/econpr\\_2013\\_4\\_10.56](http://nbuv.gov.ua/UJRN/econpr_2013_4_10.56)
65. Оптимизация производственных процессов предприятия. [Електронний ресурс] / Aprime. 2018. – Режим доступу: <http://arprime.ru/optimizacia/proizvodstvennyye-protsessy-predpriyatiya>.
66. Казённов А. Современные методы оптимизации и улучшения бизнес-процессов. [Електронний ресурс] / IT World. 2019. Режим доступу: <https://www.it-world.ru/cionews/want/145685.html>.
67. Баланович А. М. Теоретико-методичні засади формування стратегій розвитку підприємства / А. М. Баланович Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки», 2014. – Випуск 8 (2). 77 – 81 с.
68. Лепейко Т. І. Теоретичні засади розробки стратегії розвитку підприємства на основі ринкових тенденцій / Т. І. Лепейко, А. М. Баланович Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Економічна серія, 2014. 305–318 с.
69. Nan Hu, Jie Zhang, Paul A. Pavlou. Overcoming the J-shaped distribution of product reviews. / Nan Hu, Jie Zhang, Paul A. Pavlou Publication: Communications of the ACM, 2009. – 456–474 pp.
70. Minqing Hu, Mining and summarizing customer reviews. / Minqing Hu, Bing Liu, Publication: KDD '04: Proceedings of the tenth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 2004. – 168–177 pp.
71. Kelly, K. New Rules for the New Economy. 10 radical strategies for a connected world / K. Kelly. – Viking Penguin, 1998. – 179 p.

72. Koltchinskii V. Optimal Aggregation of Classifiers and Boosting Maps in Functional Magnetic Resonance Imaging. / Vladimir Koltchinskii, Manel Mart'inez-Ramon, Stefan Posse Advances in Neural Information Processing Systems 17, 2004.

73. Оптимизация бизнес-процессов: методы, инструменты, пошаговое руководство с примерами. [Электронный ресурс] / Cleverence. 2019. Режим доступа: <https://www.cleverence.ru/articles/biznes/optimizatsiya-biznes-protseessov-metody-instrumenty-poshagovoe-rukovodstvo-s-primerami/>

74. Оптимизация производства: методы, проблемы, этапы. [Электронный ресурс] / 2020. Режим доступа: <https://www.gd.ru/articles/9326-optimizatsiya-proizvodstva>

75. Казённов А. Современные методы оптимизации и улучшения бизнес-процессов. [Электронный ресурс] / Казённов А., 2019. Режим доступа: <https://www.it-world.ru/cionews/want/145685.html>

76. Медницкий В.Г. Анализ экономической эффективности с помощью оптимизационных моделей / Медницкий В.Г. Экономика и математические методы, 1996. – 104 – 116 с

77. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В.В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

## **Додатки**

Додаток А(обов'язковий)

Технічне завдання

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри КСУ ВНТУ,

д.т.н., проф. Володимир Дубовой

\_\_\_\_\_ 30.09.2021 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами»

08-01.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної

роботи: д.т.н., професор

Таїса Боровська

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

Виконавець: ст. гр. 2АКІТ-20м

Демчуков О.І

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця 2021

## 1. Назва та галузь застосування

1.1. Назва – «Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними структурами»

1.2. Галузь застосування – Комп'ютеризовані системи управління технологічними процесами.

## 2. Підстава для проведення розробки.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи затверджена наказом по ВНТУ № 277 від “24” 09 2021 р.

## 3. Мета та призначення розробки.

Метою роботи є підвищення ефективності управління сучасними системами проектів розвитку виробництва за рахунок розробки і використання узагальненої моделі системи проектів, побудованих на базі методології оптимального агрегування та методів прикладного системного аналізу.

## 4. Вихідні дані для проведення розробки.

Магістерська кваліфікаційна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Боровська Т. М. Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах: монографія / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2009. – 229 с. – ISBN 978–966–641–285–3.

2. Боровська Т. М. Моделювання і оптимізація процесів розвитку виробничих систем з урахуванням використання зовнішніх ресурсів та ефектів освоєння: монографія / [Т. М. Боровська, С. П. Бадьора, В. А. Северілов, П. В. Северілов]; за заг. ред. Т. М. Боровської. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 255 с. – ISBN 978–966–641–312–6.

3. Боровська Т. М. Математичні моделі функціонування і розвитку виробничих систем на базі методології оптимального агрегування: монографія / Т. М. Боровська. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 308 с. – ISBN 978–966–641–731–5.

## 5. Вимоги до розробки.

### 5.1. Перелік головних функцій:

- інтерактивна система підтримки рішень.
- вбудована система управління системою проектів.
- обчислення оперативного управління.
- обчислення стратегічного управління – оптимальне управління кінцевими станами окремих проектів і системою в цілому.
- можливість налаштування параметрів функціональних модулів.
- управління з урахуванням «ринкових вікон» для продуктів виробництва.

### 5.2. Основні технічні вимоги до розробки.

#### 5.2.1. Вимоги до програмної платформи:

- WINDOWS 7 та вище;
- MatCad 14 та вище.

#### 5.2.2. Умови експлуатації системи:



- робота на стандартних ПЕОМ в приміщеннях зі стандартними умовами;
- можливість цілодобового функціонування системи;
- текст програмного забезпечення системи є цілком закритим.

## 6. Економічні показники

До економічних показників входять:

- оцінка наукового ефекту 57,3 бала;
- витрати на сировину та матеріали не більше 3031,60 грн.;
- витрати на електроенергію 561,60 грн.;
- інші витрати 20198,78 грн.;
- витрати на службові відрядження 7345,01 грн.;
- комплексний показник рівня наукової роботи 6,46;
- інші економічні переваги у порівнянні з аналогами.

## 7. Стадії та етапи розробки.

### 7.1 Пояснювальна записка:

Аналіз та огляд сучасних систем управління	2021р.
Аналіз моделей і методів оптимізації для паралельних ресурсних структур	2021р.
Постановка і рішення задач динаміки оптимально агрегованих паралельних структур	2021р.
Розробка програмних модулів оперативного управління виробництвом при довільних завантаженнях	2021р.
Оптимальне агрегування і дослідження складних паралельних структур	2021р.
Тестування створених програмних модулів	2021р.
Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	2021р.
Захист МКР	2021р.

### 7.2 Графічні матеріали:

- базова паралельна структура та інформаційне оточення системи; 2021 р
- інформаційна технологія розробки управління на базі методу оптимального агрегування; 2021 р
- відображення структури виробничої системи в структурі оптимального агрегування; 2021 р
- моделі агрегування бінарних структур системи проектів 2021р
- програмний модуль «рішення варіаційної задачі розвитку» 2021 р
- параметризація – засіб рішення задач управління; 2021 р
- приклад результатів моделювання системи проектів 2021 р

8. Порядок контролю і приймання.

- 8.1. Хід виконання магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником роботи, консультантами з економічної частини. Рубіжний контроль провести до «15» грудня 2021 р.
- 8.2. Атестація проекту здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи провести до «15» грудня 2021 р.
- 8.3. Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи приймається на засіданні ДЕК. Захист магістерської кваліфікаційної роботи провести «22» грудня 2021 р.

## Додаток Б (лістинг програми)

(обов'язковий)

```

Cis =  |  $x_{p1} \leftarrow x_{p0}$ 
      |  $y_1 \leftarrow 10$ 
      |  $cv_1 \leftarrow vw + vp$ 
      |  $cp_1 \leftarrow ops(cv_1)$ 
      |  $xd_1 \leftarrow Fdm(cp_1, np, DmI, pmaI)$ 
      |  $dax_1 \leftarrow (cp_1 - cv_1) \cdot xp_1$ 
      |  $prb_1 \leftarrow dax_1$ 
      |  $Sprb \leftarrow 0$ 
      |  $Sxp_1 \leftarrow 1$ 
      |  $Dxp_1 \leftarrow 0$ 
      |  $V_{yx}^{(1)} \leftarrow stack(cp_1, cv_1, xp_1, xd_1, dax_1, y_1, prb_1)$ 
      | for  $k \in 1 \dots Nt$ 
      |   |  $cp_{k+1} \leftarrow \Gamma_{max}(cp_k, cv_k, k \cdot Dt)$ 
      |   |  $xd_{k+1} \leftarrow Fdm(cp_k, np, DmI, pmaI)$ 
      |   |  $Dxp_{k+1} \leftarrow Fin(y_k, Am, \alpha, \epsilon)$ 
      |   |  $xp_{k+1} \leftarrow xp_k + [Dxp_{k+1} + (y_k \leq 0) \cdot (xd_k - xp_k)] \cdot Dt$ 
      |   |  $cv_{k+1} \leftarrow cv_k + \left[ vw \cdot pol \frac{\ln(Sxp_k)}{\ln(2)} \cdot \frac{xp_k \cdot \ln(pol)}{\ln(2) \cdot Sxp_k} - \frac{vp}{(xp_k)^2} \cdot Dxp_{k+1} \right] \cdot Dt$ 
      |   |  $dax_{k+1} \leftarrow (cp_{k+1} - cv_{k+1}) \cdot xp_{k+1} \cdot Dt$ 
      |   |  $y_{k+1} \leftarrow \max[Kin \cdot (xd_k - xp_k) \cdot Dt, 0]$ 
      |   |  $prb_{k+1} \leftarrow dax_{k+1} - y_{k+1}$ 
      |   |  $Sprb \leftarrow Sprb + prb_{k+1}$ 
      |   |  $Sxp_{k+1} \leftarrow Sxp_k + xp_{k+1} \cdot Dt$ 
      |   |  $V_{yx}^{(k+1)} \leftarrow stack(cp_{k+1}, cv_{k+1}, xp_{k+1}, xd_{k+1}, dax_{k+1}, y_{k+1}, prb_{k+1})$ 
      |   |  $\left( \begin{array}{l} V_{yx} \\ Sprb \end{array} \right)$ 

```

Додаток В (ілюстративна частина)

(обов'язковий)

## ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

### Розробка і дослідження математичних моделей і програм оптимального управління розвитком виробництва для об'єктів з паралельними інтегрованими структурами

1. Мета і задачі дослідження;
2. Постановка задачі дослідження.
3. Об'єкт дослідження.
4. Інформаційна технологія розробки управління на базі методу оптимального агрегування.
5. Відображення структури виробничої системи в структурі оптимального агрегування.
6. Методологія оптимального агрегування. Бінарні оператори
7. Алгебра оптимального агрегування: параметризація – засіб рішення задач управління.
8. Тестування модуля «Динаміка оперативного управління» в системі з паралельними структурами.
9. Оптимальне агрегування паралельних структур. Приклад.
10. Оптимальний розподіл частки ресурсів на розвиток для об'єкта з паралельними ресурсними структурами. Приклад.
11. Аналіз оптимальних процесів розвитку для об'єкта з паралельними ресурсними структурами. Приклад.
12. Висновки

Виконав: студент 2-го курсу, групи 2АКІТ-20м  
спеціальності 151 – Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Олександр Демчуков  
(ім'я та прізвище)

Керівник: д.т.н., професор каф. КСУ

\_\_\_\_\_ Таїса Боровська  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: доцент каф. АІТ

\_\_\_\_\_ Юрій Іванов  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## 1. Мета і задачі дослідження

### МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є **підвищення ефективності управління** сучасними регіональними системами виробництва і розвитку за рахунок розробки і використання **узагальненої моделі** регіональних систем на базі методології оптимального агрегування. **Для досягнення** поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- ▶ виконати аналіз стану розробки **моделей систем і методів оптимального адаптивного управління** виробництвом і розвитком системи з паралельною структурою
- ▶ виконати аналіз типових регіональних систем – як динамічних структур із ресурсними і параметричними зв'язками, з урахуванням процесів рітейлу;
- ▶ розробити **узагальнену агреговану модель системи «виробництво розвитку» з паралельною структурою**, виконати моделювання системи.

**Об'єкт дослідження** – процеси функціонування **«виробництво розвитку»**;

**Предмет дослідження** – методи оптимального агрегування **паралельних структур** з внутрішніми зв'язками «виробництво, розвитку»;

**Методи дослідження:** методи прикладного **системного аналізу** в побудові моделей, методи **оптимального агрегування** в розробці оптимальних систем оперативного і стратегічного управління;.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

- ▶ 1. Покращено методику розробки моделей і програм «оптимального оперативного управління паралельними структурами».
- ▶ - 2 Покращено методику розробки модулів оптимального агрегування паралельних структур – класу «багатопродуктові»

**Практичне значення результату** – створення підсистеми розробки і дослідження узагальнених паралельних ресурсних структур.

## 2. Об'єкт дослідження

## ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: БАЗОВА ПАРАЛЕЛЬНА СТРУКТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ОТОЧЕННЯ СИСТЕМИ



### 3. Постановка задачі дослідження

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- ▶ **Задача дослідження** - розробка системи управління багатопродуктовим з паралельною ресурсною структурою
- ▶ **Функції розробки.** Програмні модулі повинні на базі інформації про конкретні функції і ресурсну структуру оптимально розподіляти ресурси між паралельно функціонуючих підсистем.; База розробки: моделі і методи, напрацьовані науковим керівником, і попередніми і попередніми дипломантами. Нові методи розроблені в проекті.
- ▶ **Проблема розробки.** Неповнота моделей і методів-аналогів з оптимального управління сучасними виробництвами, неефективність методів оптимізації великих систем.
- ▶ **Новизна.** Для вирішення проблеми необхідно отримати розв'язання нових задач: - узагальнити модель ресурсної структури «виробництво, ритейл»; - розробити модель оптимального агрегування для послідовно-паралельної структури, що виконує оптимізацію кожного продукту, в кожний інтервал часу процесу .
- ▶ **Результати виконання роботи.** Комплекс моделей і програмних модулів. Призначення комплексу: персональна АСПР, модуль для вбудовування в АСУП.
- ▶ **Мета і завдання дослідження:** розробка моделей і програмних модулів підсистеми «виробництво розвиток, ритейл». Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:
- ▶ - розробка узагальненої моделі функціонування і розвитку інтегрованої системи «виробництво, розвиток, ритейл, рециклінг»; - розробка модуля оптимального агрегування паралельної структури проєктів «розвитку продукту «виробництво, ритейл» .;
- ▶ **Об'єктом дослідження** є процеси функціонування і розвитку інтегрованої системи «виробництво, розвиток, ритейл, рециклінг» як об'єкта управління. Предметом дослідження є методи оптимального агрегування в структурах «виробництво, розвиток, ритейл».
- ▶ **Методи дослідження:** методи оптимального агрегування, методи варіаційного числення, методи аналізу і синтезу дискретних САУ.
- ▶ **Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблена математична модель оптимального агрегування паралельної структури з послідовних структур – життєвих циклів. Розроблена система управління для кожного продукту; – оптимізує розподіл ресурсів між ефективністю виробництва і ритейлу певного продукту; – розподіл ресурсів між окремими продуктами лінійки продуктів.
- ▶ **Поставлена задача оптимального адаптивного управління** об'єктом, що підвищує ефективність підсистеми «розвиток, виробництво, ритейл».

#### 4. Інформаційна технологія розробки управління на базі методу оптимального агрегування.

### ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ УПРАВЛІННЯ НА БАЗІ МЕТОДУ ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ

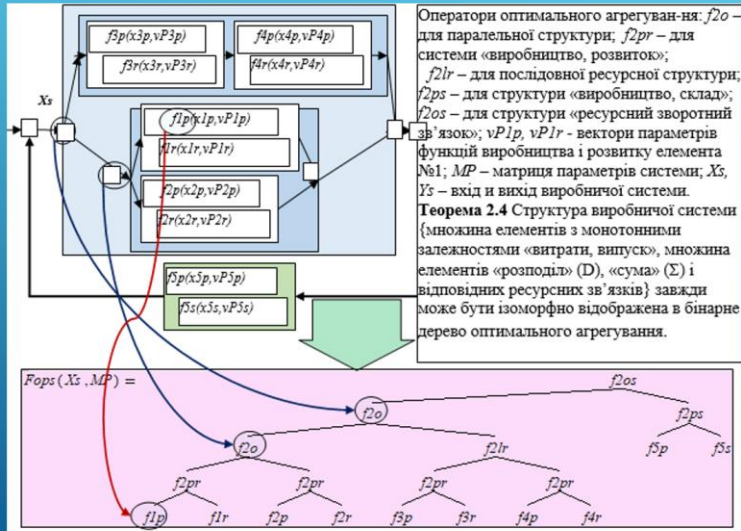
1. Розробка ресурсної структури об'єкта
2. Збирання і розробка нових бінарних операторів оптимального агрегування. (в центрі уваги моєї роботи )
3. Ізоморфне відображення ресурсної структури в бінарне дерево оптимального агрегування - ДОО
4. Постановка і рішення варіаційних задач стратегічного управління системою
5. Рішення задачі оптимального оперативного управління системою  
Додаткові можливості
6. Розробка і вибір спеціалізованих моделей
  - 6.1 Модель для аналізу систем великої розмірності
  - 6.2 Імітаційна модель «віртуальна реальність»

1. Методи прикладного системного аналізу – пошукові, творчі
2. Програмування – векторизація, символічні обчислення, візуалізація динаміки процесів.
3. Можливості досліджень структур, параметризація ДОО, нові можливості імітації.
4. Можливості модифікації постановки варіаційної задачі та імітації оптимальних процесів.
5. Рішення задачі оптимального оперативного управління системою  
Можливості роботи з «віртуальною реальністю»
- 6.1 Моделі систем великої розмірності
- 6.2 Імітаційна модель «віртуальна реальність»
- 6.3 Імітаційна модель «предиктор»
- 6.4 Імітаційна модель «спостерігач стану і параметрів»

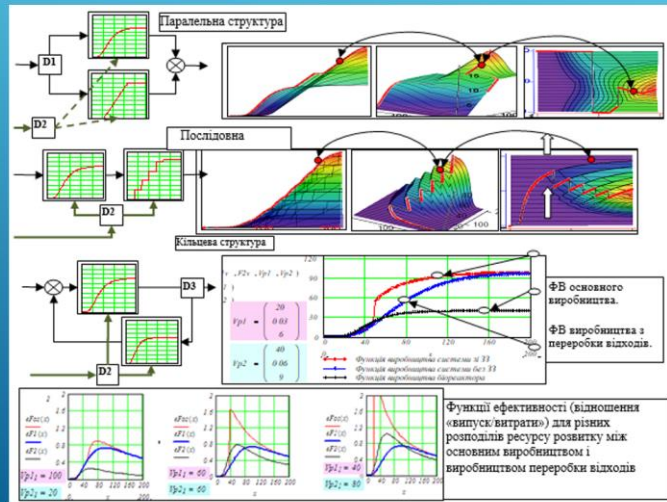


## 5. Відображення структури виробничої системи в структурі оптимального агрегування

### ВІДОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ В СТРУКТУРІ ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ

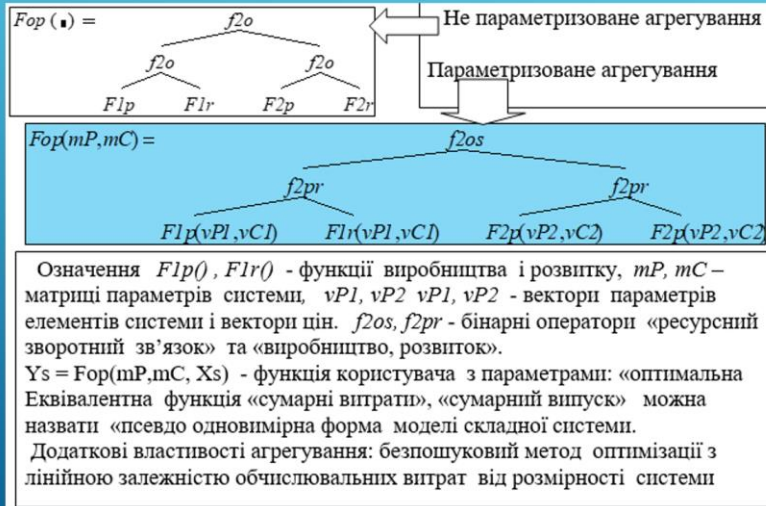


## 6. Методологія оптимального агрегування. Бінарні оператори

МЕТОДОЛОГІЯ ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ.  
БІНАРНІ ОПЕРАТОРИ

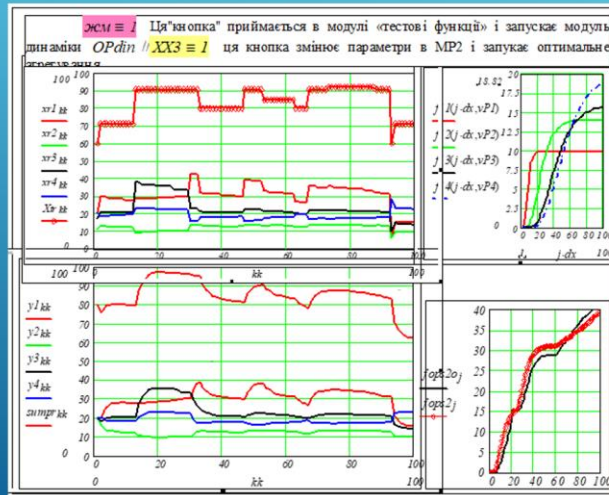
## 7. Алгебра оптимального агрегування: Параметризація – засіб рішення задач управління

### АЛГЕБРА ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ: ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ – ЗАСІБ РІШЕННЯ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ



## 8. Тестування модуля «Динаміка оперативного управління» в системі з паралельною структурою

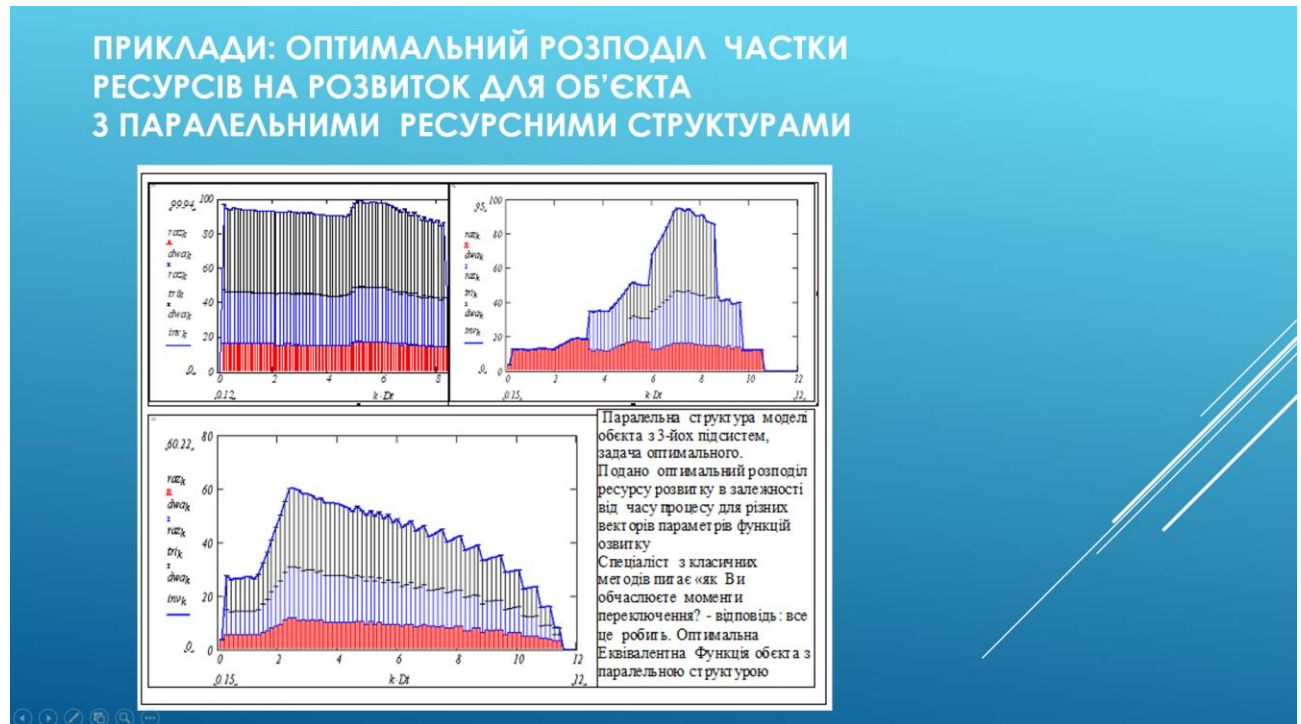
### ТЕСТУВАННЯ МОДУЛЯ «ДИНАМІКА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ» В СИСТЕМІ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ



## 9. Оптимальне агрегування паралельних структур

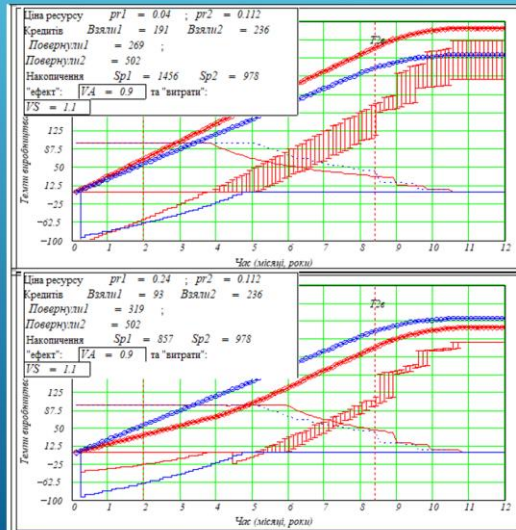
ОПТИМАЛЬНЕ АГРЕГУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУКТУР.  
ПРИКЛАД

## 10. Оптимальний розподіл частки ресурсів на розвиток для об'єкта з паралельними ресурсними структурами. Приклад



## 11. Аналіз оптимальних процесів розвитку для об'єкта з паралельними ресурсними структурами. Приклад

### ПРИКЛАДИ: АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ РОЗВИТКУ ДЛЯ ОБ'ЄКТА З ПАРАЛЕЛЬНИМИ РЕСУРСНИМИ СТРУКТУРАМИ



## 12. Висновки

### ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена розробці, дослідженню і покращенню математичних моделей функціонування і розвитку систем з паралельними структурами. Поставлена мета суттєвого підвищення ефективності процесів функціонування і розвитку сучасних систем проєктів за рахунок розробки і покращення моделей. Новизна теми в розробці операторів оптимального агрегування для задач оперативного і стратегічного управління за критеріями ефективності і оптимальності. Для досягнення поставленої мети були досліджені і виконані і виконані такі задачі:

- ▶ проведено аналіз існуючих методів оптимального управління системами з не-вими паралельними ресурсними структурами в процесах виробництва і розвитку;
- ▶ покращено математичні моделі оптимального агрегування для структур «паралельна багатопродуктова» і «паралельна комплект». Розроблено метод управління варіаційними задачами розвитку для узагальнених паралельних структур на базі параметризації операторів («виробництво, розвиток») та «паралельна багатопродуктова».

**Розроблено новий оператор** оптимального агрегування структури виробництва, розвитку для паралельної структури «паралельна комплект» оптимальним еквівалентним елементом, що дає змогу підвищити ефективність управління виробничою структурою.

**Практичне значення одержаних результатів** в першу чергу в розширенні класів паралельних структур для яких розроблені відповідні оператори системи управління проєктами. Загальна перевага вибраного оптимального агрегування – можливість включати програмні засоби імітаційного моделювання, тобто відтворення ще не реалізованих систем. Розроблені програмні модулі успішно пройшли тестування, яке підтвердило коректність і ефективність нових математичних моделей оптимального агрегування.

**Особистий внесок магістранта.** Усі результати отримано автором самостійно. З робіт, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто магістрантом.

**Апробація результатів.** Підготовлено дві публікації по темі роботи. В проєкті виконується розробка оптимального адаптивного управління виробництвом і розвитком виробничих систем з паралельними структурами. Математичні моделі таких структур складні для математичних методів.

**Результати розробки** – нові оператори оптимального агрегування – нові наукові результати. Потенційне практичне застосування результатів роботи – система підтримки рішень для аналітика-прогнозіста. Тому тема роботи безумовно актуальна і реалізуємо і повністю відповідає напрямку «комп'ютерно-інтегровані системи».

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності управління сучасними інтегрованими виробництвами з паралельними структурами за рахунок розробки і використання узагальнених моделей і методів оптимального агрегування.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Покращено модель оптимального агрегування «паралельна багатопродуктова». На відміну від аналогів певні елементи паралельних структур можуть мати розгалуження в паралельні і послідовні структури – альтернативні технології виробництва.