

**Т.М. Боровська
Д.І. Грищин
І.С. Колесник
В.А. Северілов
Д.І. Шаповал
М.В. Рябокінь**

Методологія оптимального агрегування: нові моделі соціо-техніко-екологічних систем

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконано аналіз задач оперативного стратегічного управління оптимізації виробничих систем, вирішених методами оптимального агрегування. Отримані рішення прості і надійні за програмною реалізацією і ефективно вирішують стандартні задачі АСУП. Виконано постановку і рішення задач управління сучасними інтегрованими структурами «логістика, виробництво, ритейл, рециклінг», що допускають ефективне рішення методами оптимального агрегування. Підсистема "управління моментами часу початку і закінчення робіт" вбудована в модуль оптимального управління розвитком. В інтегрованій системі оптимального управління ефективністю і живучістю виробництва побудова інформаційно-управлінських структур виконана на базі бінарного дерева оптимального агрегування. Можливості цих структур – оптимальність, адаптивність і неідентичне резервування в ситуаціях відмов і збурень. Наведено приклади моделювання складних систем.

Ключові слова: виробнича система, оптимальне агрегування, оптимальний розвиток, живучість.

Abstracts

The analysis of tasks of operational strategic management of optimization of production systems solved by the methods of optimal aggregation is performed. The obtained solutions are simple and reliable for software implementation and effectively solve the standard problems of automated production management systems (ACM). The formulation and solution of problems of management of modern integrated structures «logistics, production, retail, recycling», allowing effective solution by methods of optimum aggregation, are executed. The subsystem of "control of the time points of the beginning and end of work" is built into the optimal aggregation module. In the integrated system of optimal management of production efficiency and survivability, the construction of information and management structures is made on the basis of a binary tree of optimal aggregation. The capabilities of these structures are optimality, adaptability and non-identical redundancy in situations of failure and disturbance. Examples of modeling of complex systems are given.

Key words: production system, optimal aggregation, optimum development, survivability.

Вступ

Стаття присвячена аналізу розвитку певного наукового напрямку – методології оптимального агрегування. Довга назва об'єктів дослідження: – «соціо-техніко-екологічні системи» (СТЕС) визначає мету досліджень: створення єдиної математичної моделі для вище названих систем. Дане дослідження орієнтоване на розробку єдиних моделей і методів для роботи з СТЕС як з цілісним об'єктом. Методологія оптимального агрегування [1-3] почалась з рішення класичної задачі нелінійного програмування.

Відмінності оптимального агрегування від аналогів – відсутність математичних обмежень (лінійність, випуклість, неперервність), рішення проблеми Р. Беллмана: «заміна задачі вибору точки в багатовимірному фазовому просторі еквівалентною системою задач вибору точки в одновимірному просторі». Обчислювальні витрати методу оптимального агрегування зростають не більше ніж лінійно при зростанні розмірності об'єкту. Метод оптимального агрегування базований на однойменній алгебрі, операнди якої – матриці, подібні записам у базах даних [1]. Тобто методологія оптимального агрегування не є покращенням класичних методів – вона дає досліднику можливість

ставити і вирішувати задачі, що не ставились в класичних методах [1-3]. В даній роботі розглядаються побічні можливості методу і алгебри оптимального агрегування – формування ефективних інформаційних і управлінських структур – оптимальних, адаптивних і відмовостійких. Таких, що не ставились на початку досліджень. В епоху глобалізованих мегапроектів актуальними є задачі узгодження процесів виробництва в часі – це технології «точно в строк» на конвеєрах, управління часом виконання робіт в системах проектів, а також врахування часу і стану об'єкта. «Побічним наслідком» методології оптимального агрегування є рішення задачі забезпечення живучості виробничих систем, отримане як розширення оптимального адаптивного управління в номінальних умовах на управління в неномінальних. «Побічна особливість» оптимального агрегування – побудова ІУС на базі «бінарного дерева оптимального агрегування».

В роботі розглянуто постановки і рішення трьох актуальних задач:

- управління моментами часу початку і закінчення робіт у великих системах;
- оптимізація живучості виробничої системи на базі оптимального агрегування;
- побудова інформаційних структур на базі бінарного дерева оптимального агрегування.

Загальні властивості методів оптимального агрегування

Алгебра оптимального агрегування подібна алгебрі чисел у випадку агрегування простої паралельної структури виробництва – в підсумку отримуємо сумарне виробництво цієї структури. В алгебрі чисел маємо: операнди – числа; бінарні оператори – сума, добуток, степінь. Асоціативність і комутативність операторів дозволяє виконувати складні операції з багатьма операндами. В алгебрі оптимального агрегування: операнди – функції класу «витрати, випуск» нестрого монотонні; бінарний оператор оптимального агрегування – «функція користувача з параметрами» (термін програмування). Результат роботи оператора – теж функція класу «витрати, випуск». Ця функція «упакована» в матричну структуру, подібну запису реляційної бази даних. Назва результату виконання операції оптимального агрегування – «оптимальна еквівалентна функція виробництва» (ОЕФВ).

Параметризація операторів оптимального агрегування. Операнди і оператори можливо параметризувати, наприклад, зробити функціями від цін продуктів і ресурсів, від ключових технологічних параметрів підсистем. Тобто результат оптимального агрегування може бути обчислений і як функція не тільки витрат ресурсу, а також і як функція параметрів. В таких обчисленнях використовуються властивості комп'ютерних систем, зокрема векторизації.

В підсумку операнди і оператори можна сформувати так, щоб інформація про параметри певної підсистеми в послідовних обчисленнях може переноситись між рівнями ієрархічної структури об'єкту і між елементами різних рівнів. Це дає можливість отримувати функції впливу для довільної пари елементів і підсистем об'єкту. На базі напрацьованих рішень задач оптимізації поставлені нові задачі, де об'єктами є не тільки функції виробництва, але і функції користувача – програмні модулі оптимізації процесів виробництва і розвитку. Зокрема, такі нові задачі на базі методів оптимального агрегування: – *управління моментами часу* початку і закінчення робіт у великих системах; – *оптимізація живучості* виробничої системи на базі оптимального агрегування; – *побудова інформаційних структур* на базі бінарного дерева оптимального агрегування.

Задачі управління моментом закінчення і станом проекту розвитку

Зміст задачі: підсистеми великої системи можуть знаходитись у станах побудови, номінального функціонування (виробництва, обслуговування), розвитку (зміни технологій і продуктів виробництва), зміни структури (об'єднання, роз'єднання з іншими підсистемами). Розглянемо ситуацію, коли певна підсистема в момент T_0 починає будуватись, і в момент часу T_k і в певному кінцевому стані S_k повинна поєднатись з підсистемами певної великої системи.

Вибираємо такий шлях оптимального агрегування для процесу функціонування і розвитку виробничої системи: – рішення задачі оптимального агрегування для структури «виробництво, розвиток». Ресурсна структура об'єкту управління може мати паралельні, послідовні структури, ресурсні зворотні зв'язки (зокрема – рециклінг), зв'язки «виробництво, розвиток» та ін. Всі нестрого монотонні структури можуть бути *ізоморфно* відображені в оптимальну еквівалентну функцію класу «витрати, випуск» (ОЕФВ) [1]. Для одновимірних об'єктів отримано декілька рішень варіаційної задачі розвитку – з різними моделями об'єктів і різними інтегральними критеріями [1, 2]. Для цієї нетривіальної задачі може бути отримане рішення в формі «функція користувача з параметрами». Термінальне управління – складна математична задача, що виконується постійно на десятках тисяч

лайнерів при зльотах і посадках в аеропортах з п'ятихвилинними інтервалами. Для сучасних процесів виробництва і розвитку актуальна така задача класу «точно в строк»: будується цех серійного виробництва головного компонента технічних систем, задано термін запуску цеха, на цій основі визначаються терміни закінчення робіт в підсистемах. Специфіка цеха – він один в світі, попит гарантовано на роки. В світі не одне таке виробництво. Головна задача управління такими виробництвами – оперативне управління строками початку і закінчення робіт. Причина – необхідність виявляти і виправляти можливі збої в системі.

Розглянемо приклад постановки і рішення задачі управління часом для випадку «прискорити виконання проекту». Для цього потрібні додаткові ресурси. Виберемо «внутрішній кредит» [2], що виділяє система для підсистем. Додаткове фінансування дозволяє прискорити виконання проекту. Деталізуємо операцію.

Маємо робочу модель оптимального розвитку – функцію користувача з параметрами:

$$KM(F, pr, pd, Tp),$$

де: F – результат оптимального агрегування ресурсної структури проекту – ОЕФВ; параметри pr , pd – ставки кредиту та дисконтування, Tp – тривалість проекту.

Визначимо функцію екстракції з функції користувача $KM(\cdot)$ – ОЕФВ – оптимальної еквівалентної функції виробництва для заданого моменту часу Tp . Запишемо формулу з параметрами:

$$Fop(k, vP) = Extr(KMD(k, Fu, pro, pd, Tp)),$$

де $vP = (Fu, pro, pd, Tp)$ – вектор параметрів

Змістовно управління часом виконання проекту – обчислення ставки проценту, що для процесу розвитку має заданий кінцевий стан. Це тривіальна задача, що базована на отриманні рішень (як функцій користувачів з параметрами) двох занадто складних задач: оптимального агрегування і оптимального розвитку. Це задача нелінійного програмування і варіаційна задача оптимального розвитку. В підручниках ці задачі, рішення яких можна побудувати для об'єктів першого – третього порядків.

На рис. 1 подано приклад розрахунку двох процесів з однаковим кінцевим станом і різною тривалістю виконання.

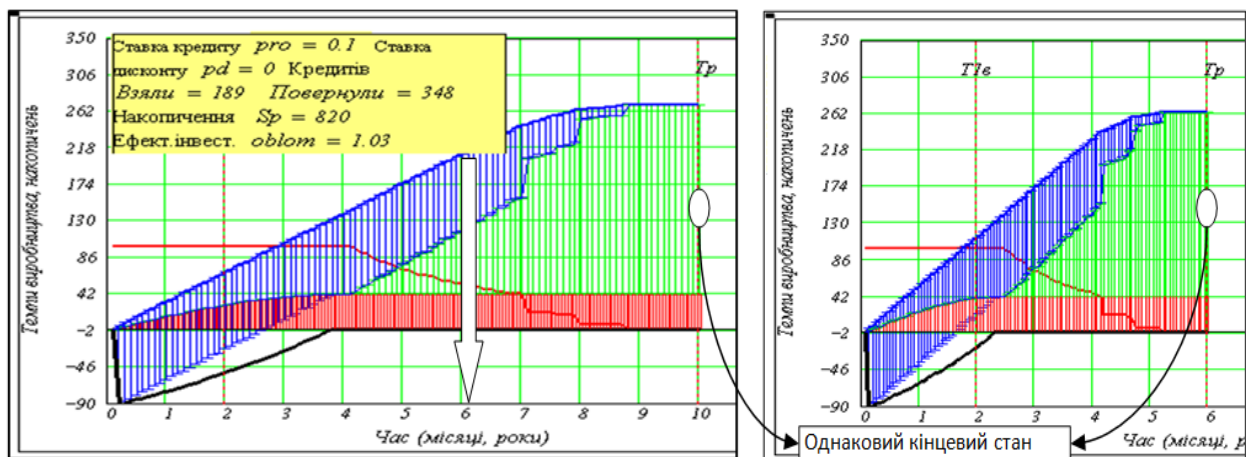


Рис.1 Розрахунок проектів оптимального розвитку з різною тривалістю (6 і 10 місяців)

Оптимізація живучості виробничої системи на базі оптимального агрегування

Відмовонечутливість, відмовостійкість, гарантоспроможність, конфігурація відмови, реконфігурація, плавна деградація, живучість. Ці терміни відображують історію практики і теорії життєво важливого напрямку. В силу значимості наслідків відмов технічних систем практика йшла попереду теорії. Сьогодні суттєво зросли надійність і якість технічних систем, зросла середня вартість втрат при відмовах. Також зросла ефективність імітаційних моделей – «цифрових копій», «віртуальної реальності». Тобто є потреби і можливості розробки нових концепцій і методів в області

ефективності і живучості. Аналогами даної роботи були роботи з оптимального агрегування виробничих систем і живучості як задач з «відокремленими» моделями і методами.

На рис. 2 подано концепцію – перенесення методології оптимального агрегування на управління при відмовах.

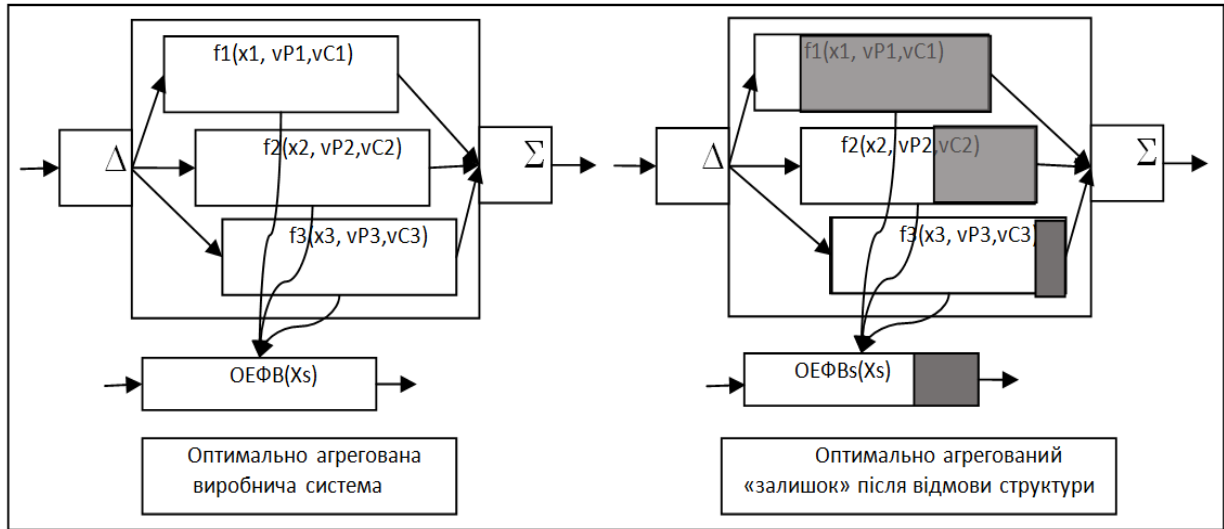


Рис. 2 Об'єднання концепцій ефективності і живучості в управлінні

На рис. 3 подано перший крок конкретизації концепції: аналіз функцій виробництва і живучості для системи з 4-ох підсистем. Проаналізовані всі аспекти отримання і зв'язків функції виробництва (ФВ) і функції живучості (ФЖ). Нижче – відповідні графіки для оптимально агрегованих систем.

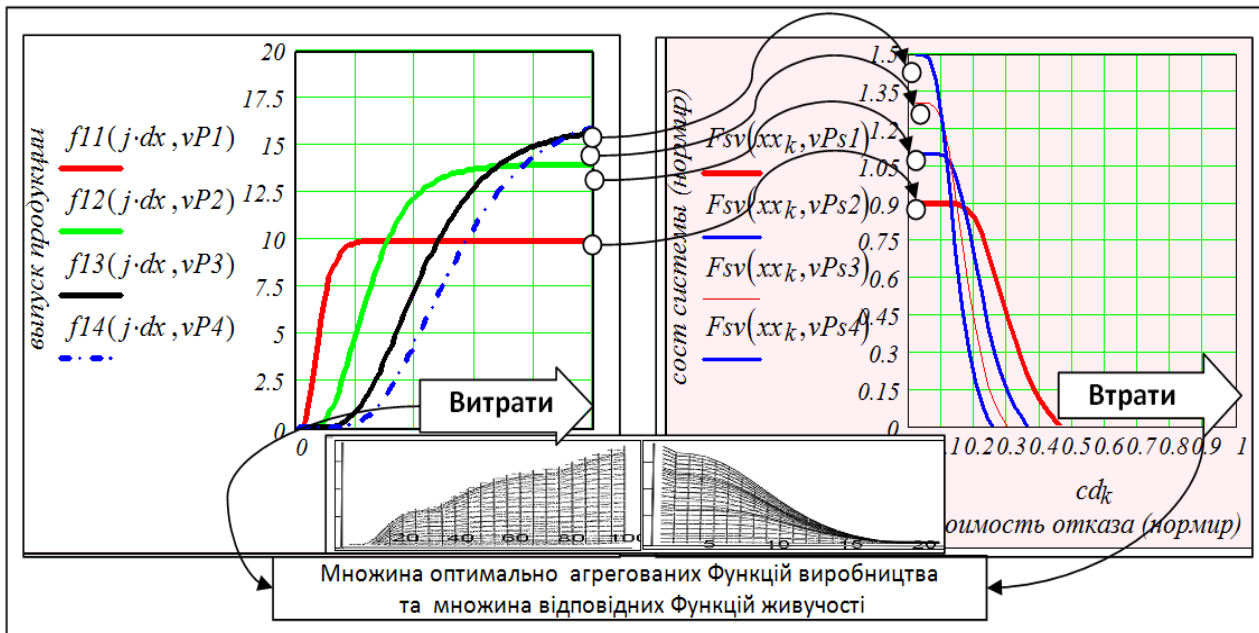


Рис. 3 Аналіз функцій виробництва і функцій живучості для системи з 4-ох підсистем

В результаті довгої розробки програм (без аналогів для даної задачі) зроблено програмний модуль. На рис 4 подано текст модуля і його підпрограм. Модуль і його підпрограми оперують з матрично-векторними структурами. Результат обчислень $Moef(kot)$ – функція на множині конфігурацій відмов. Отримання функції виробництва і живучості для випадків довільних ресурсних структур і великої розмірності потребує більших рутинних витрат пропорційно зростанню розмірності.

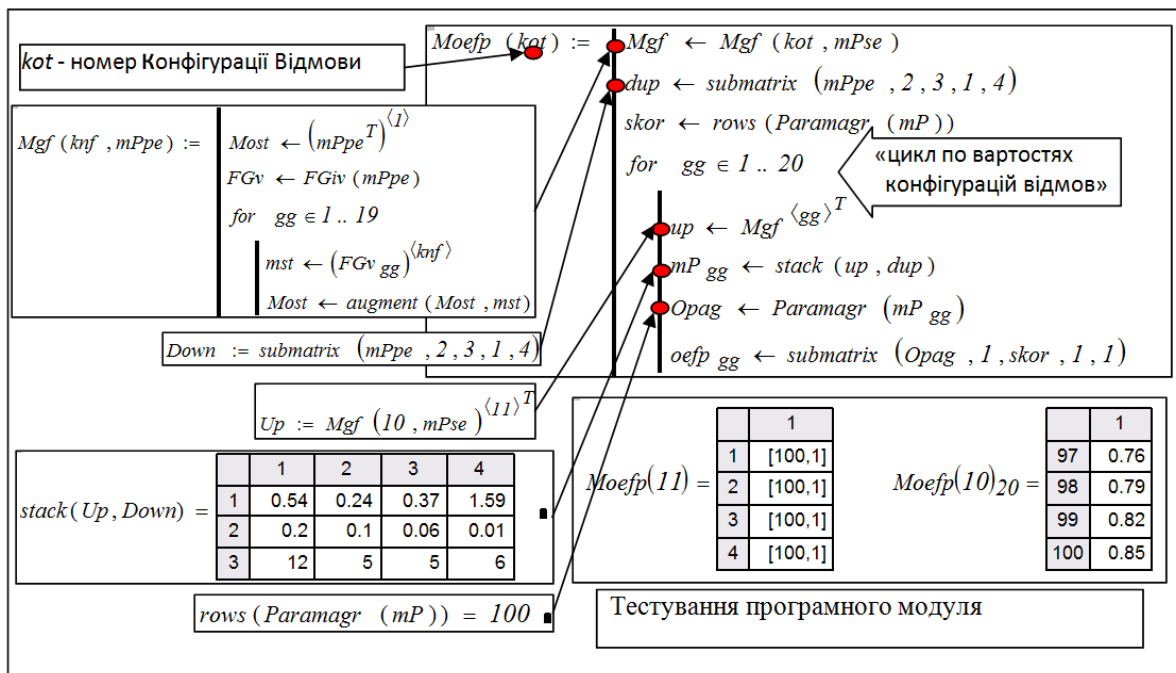


Рис. 4 Модуль побудови інтегрованої функції «живучість, ефективність»

На рис. 5 подано приклад побудови для функції $Moef(kot)$ (рис. 4) з коментарями. Функції виробництва упорядковані за вартістю конфігурації відмов, за умови оптимального агрегування конфігурації відмов. Функції живучості упорядковані за витратами виробництва.

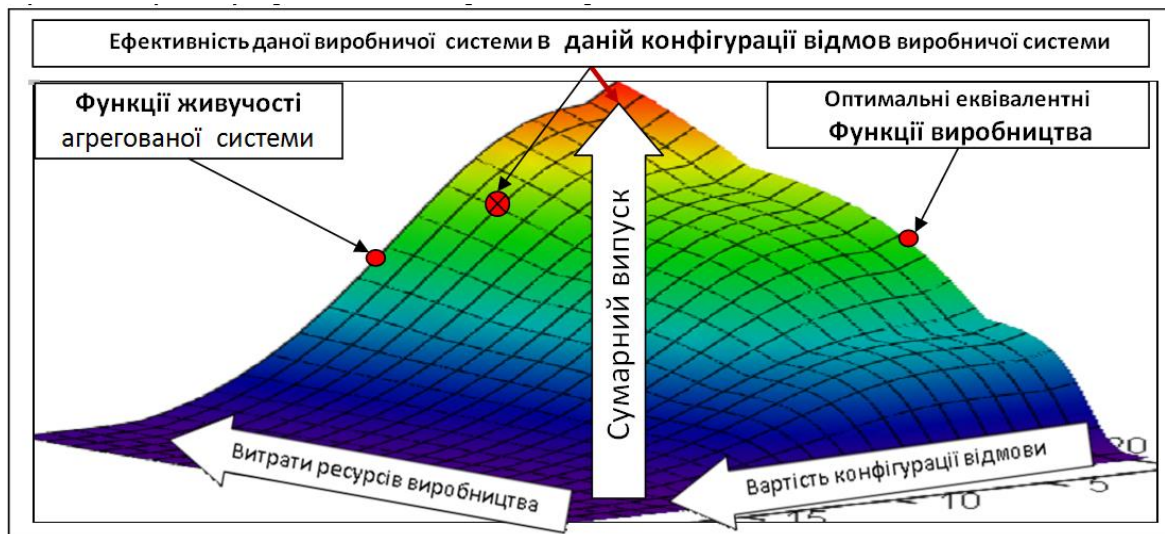


Рис. 5 Оптимальна еквівалентна функція «залежність ефективності від витрат і втрат»

На рис. 5 подано дійсно новий науковий результат, але рішення практичної задачі для конкретних об'єктів – нетривіальна задача прикладного системного аналізу. Саме це стверджував Дж. Форрестер як бажаність створення спочатку моделі, а потім реальної виробничої системи.

Інформаційні структури на базі бінарного дерева оптимального агрегування

На рис. 6 на конкретному прикладі подано зміст теореми про ізоморфне відображення ресурсної структури об'єкта – виробничої системи, в структуру бінарного дерева оптимального агрегування (ДОО). Номери 11–14 на блоках ресурсної структури подані на відповідних номерах ДОО. Також бачимо: на базі ДОО можливо побудувати інформаційно-управлінські структури. В нижній частині рис. 6 подано формулу (функцію користувача) і результат обчислення.

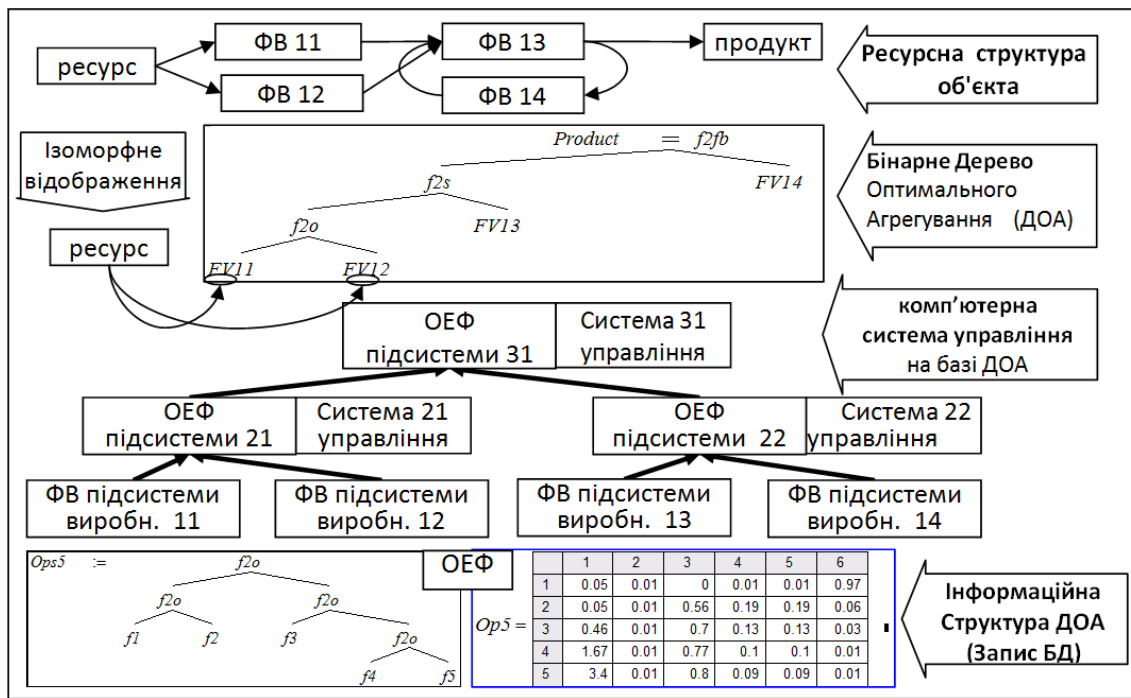


Рис. 6 Теорема про ізоморфне відображення ресурсної структури об'єкту в ДОО. Приклад

На рис. 7 подано деталізацію систем управління. Кожен блок розподіленої (вздовж по ДОО) системи управління підприємством розділяється на три блоки: динаміка спостерігачів, динаміка підсистем, динаміка еквівалентної оптимально агрегованої системи.

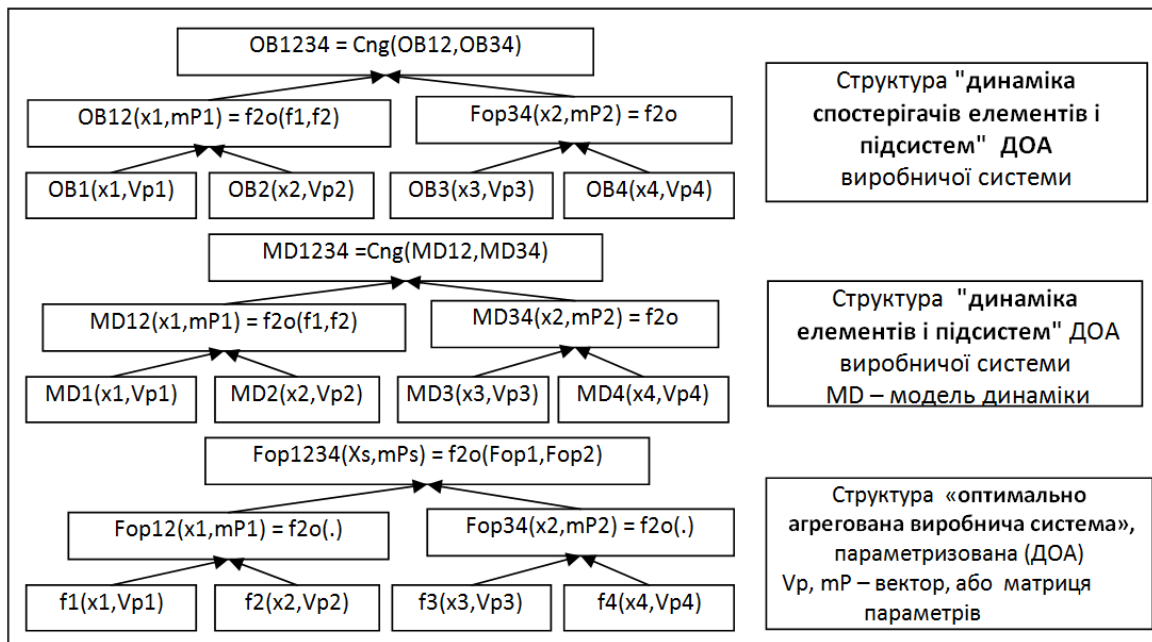


Рис. 7 Три класи інформаційних структур в ДОО. Приклад

На повному дереві оптимального агрегування (ДОО виробничої системи) можна виділити множину «спрощених». Останній термін означає зняття інформації про нижні рівні. На рис. 8 подано приклади «спрощених» ДОО – дані про елементи і підсистеми нижнього рівня агрегуються в наступному вище рівні.

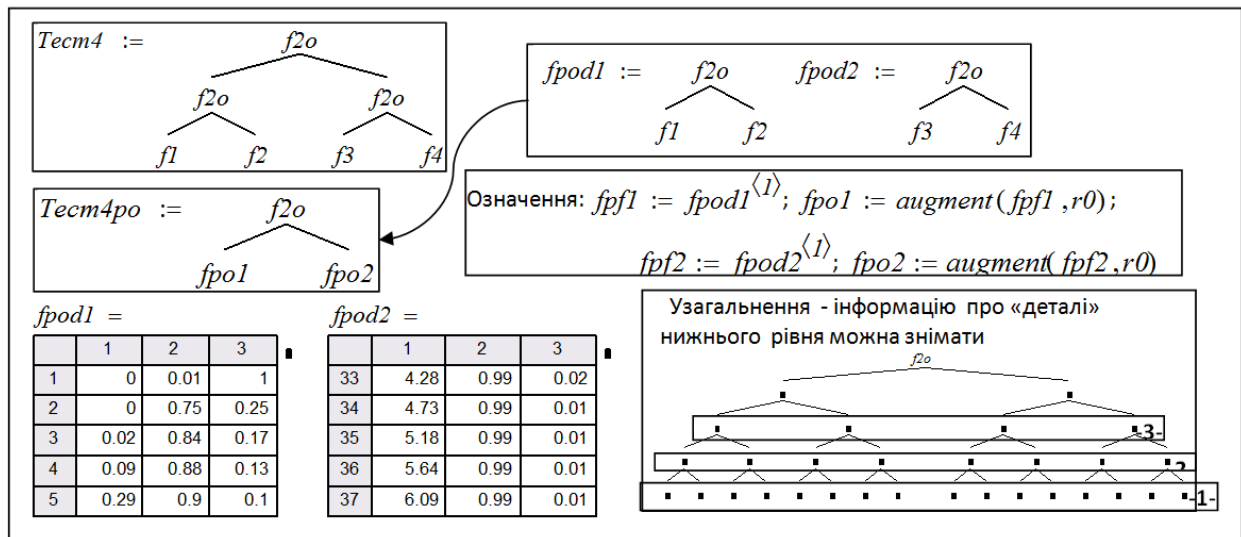


Рис. 8 «Спрощення» ДОА – зменшення числа рівнів агрегування. Приклади

Висновки

Проаналізовано актуальні задачі управління сучасними об'єктами, для яких поки не розроблено адекватних складностям і невизначеностям методів. Це задачі розробки: – термінального управління моментами часу початку і закінчення робіт виробництва як складними нелінійними, нестационарними стохастичними системами; – інтегрованої системи управління ефективністю і живучістю великих виробничих систем; – ефективних і відмовостійких інформаційно-управляючих систем на базі структур "бінарне дерево оптимального агрегування". По названим напрямкам виконано перші етапи, що дозволяє почати наступний рівень досліджень, зокрема за актуальними напрямком «регіональні системи, стійкий розвиток» саме на базі результатів даної роботи. У відкритому доступі не знайдено аналогів подібних систем управління. Сформульовано наукове положення зворотного впливу методології оптимального агрегування на структуру сучасних виробничих систем. Особливо слід відзначити, що в системах управління на базі оптимального агрегування відсутні обмеження на розмірність та нелінійності об'єкту управління. Програмні модулі призначаються для побудови системи підтримки рішень для бізнес-аналітика.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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. 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.
3. Taisa M. Borovska; Irina S. Bevz; Irina S. Kolesnyk; Victor A. Severilov; Oleksandr V. Kobylanskyi; Konrad Gromaszek; Saule Rakhmetullina "Model for the analysis and optimization of the efficiency and survivability of an enterprise based on optimal aggregation methodology", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080824 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501534; https://doi.org/10.1117/12.2501534

Боровська Таїса Миколаївна — доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, e-mail: taisaborovska@vntu.edu.ua

Гришин Дмитро Ігорович – аспірант кафедри комп'ютерних систем управління, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: dmitriygrishin2@gmail.com

Колесник Ірина Сергіївна – канд. техн. наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: iskolesnyk@gmail.com

Северілов Віктор Андрійович – канд. техн. наук, доцент, e-mail: severilovvictor0@gmail.com

Шаповал Денис Ігорович – студент групи 2АКІТ-19м, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: fkca.av15.shdi@gmail.com

Рябокін Мар'яна Василівна – студент групи 2АКІТ-19м, факультет комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: marisha.ryabokon@gmail.com

Borovska Taisa M. - Dr. Sc. (Eng.), Professor of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: taisaborovska@vntu.edu.ua

Hryshyn Dmitry I. - Postgraduate Student, Department of Computer Control Systems, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnitsa National Technical University, e-mail: dmitriygrishin2@gmail.com

Kolesnyk Iryna S. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: iskolesnyk@gmail.com

Severilov Viktor A. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: severilovvictor0@gmail.com

Shapoval Denis I. – student of 2AKIT-19m sp, Department of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, e-mail: fkca.av15.shdi@gmail.com

Riabokin Mariana V. – student of 2AKIT-19m sp, Department of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, e-mail: marisha.ryabokon@gmail.com