

# КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНІ МОДЕЛІ ЕФЕКТИВНОСТІ І ЖИВУЧОСТІ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ МЕТОДОЛОГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ

Доповідач: студент групи 2АКІТ-16м

Бевз І.С.

Науковий керівник: д.т.н., проф. каф. КСУ

Боровська Т.М

## МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Мета роботи** - підвищення ефективності процесів функціонування сучасних виробничих систем за рахунок розробки моделей методів і програм оптимізації за критеріями ефективності і живучості на базі оптимального агрегування.

Задачі, необхідні для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз існуючих методів оптимального управління сучасними інтегрованими виробничими системами;
- на базі аналогів покращити математичні моделі функціонування і розвитку об'єкта в номінальних умовах;
- покращити математичні моделі функціонування об'єкта при відмовах;
- розробити програмні модулі оптимального агрегування при відмовах;
- розробити програми та інтерфейси підсистеми введення і аналізу даних;
- розробити програми та інтерфейси підсистеми підтримки рішень у виборі альтернативних технологій і виробів.

**Об'єкт дослідження** – процеси функціонування і розвитку виробничих систем в номінальних і неномінальних умовах, тобто з урахуванням зовнішніх і внутрішніх збурень, за умови адаптивного оптимального управління.

**Предмет дослідження** – методи розробки математичних моделей для адаптивної системи управління виробництвом з урахуванням збурень, зовнішніх (погодні умови, аварії в логістичних мережах, коливання цін, конкуренція) і внутрішніх (відмови різних рівнів в технологічних системах) збурень.

# МОДЕЛІ, МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ, НАДІЙНОСТІ І ЖИВУЧОСТІ

## КРИТЕРІЇ

Ефективність для:  
Виробника, Користувача,  
Екосистеми

## ФУНКЦІЇ

«**ВИТРАТИ, ВИПУСК**»

«витрати, ефективність»

«витрати, ефект»

«**ВАРТІСТЬ** відмови –  
**ВТРАТИ** випуску»

## РІВНІ

0. Безвідмовність
1. Надійність
2. Відмовонечутливість
3. Відмовостійкість
4. Відмовобезпечність
5. Відновлення

## МЕТОДИ

аналізу і синтезу

FTA

Аналіз дерев відмов

FMEA

Аналіз дерев наслідків відмов

## МЕТОДИ ТЕОРІЇ НА- ДІЙНОСТІ

Неідентичне резервування

АДАПТИВНІ САУ

Адаптація до збурень і відмов

## МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГУВАННЯ

ієрархічних і мережевих  
структур

## ІТ - ТЕХНОЛОГІЇ:

«математична модель –  
алгоритм – програма»

«конструювання нових мо-  
делей для нових задач»

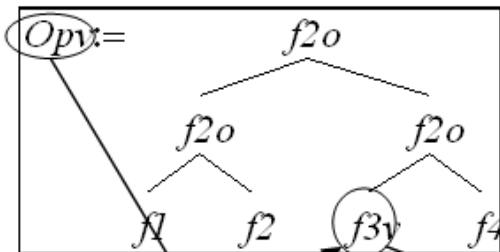
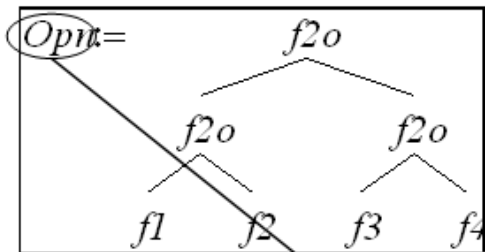
«Породжуючі механізми» →  
макет моделі об'єкта

Синтез зовнішньої інформації і  
результатів моделювання

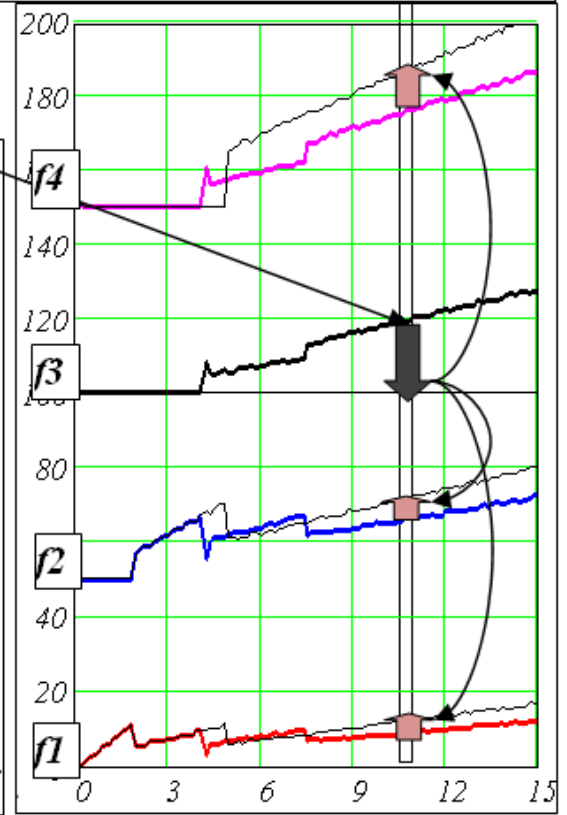
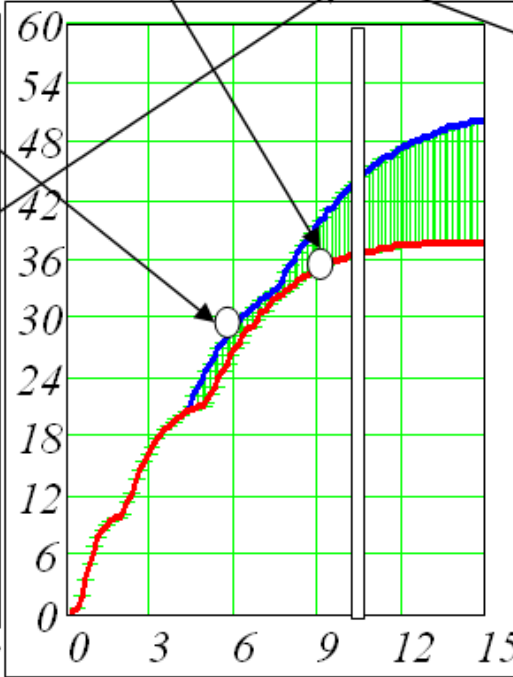
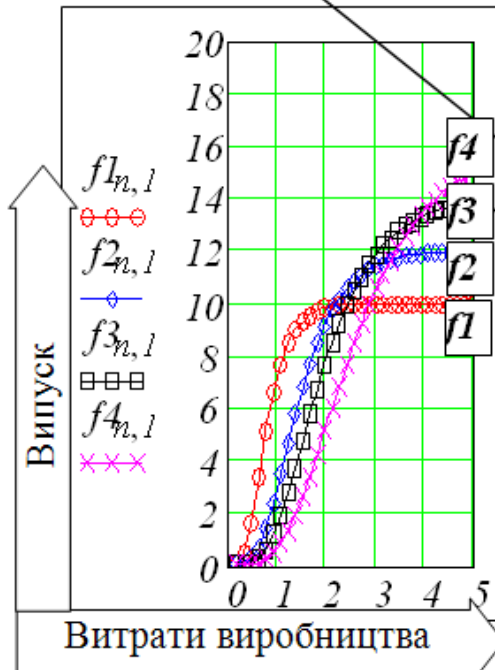
Створення «стенду» для дослі-  
дження «віртуальної реальності,  
Відлагодження моделі.

Створення математичної моделі  
для класу об'єктів.  
Нові задачі

# Методи забезпечення живучості. Адаптивна АСУП на базі оптимального агрегування.



$f2o$  - бінарний оператор оптимального агрегування



## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ

**Пряма задача** - максимізація сумарного виробництва при обмеженні ресурсів. Розглядається система з  $N$  виробничих елементів, що використовують деякий ресурс у кількості  $x_i$  і виробляють продукцію у кількостях:

$$y_i = f_i(x_i); \quad i = 1..N, \text{ де } x_i - \text{кількість ресурсу, виділеного } i\text{-му елементу};$$

Треба розподілити ресурс  $R$  так, щоб максимізувати сумарне виробництво:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N f_i(x_i) \Rightarrow \max; \text{ при умові}$$

$$G(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N x_i - R = 0. \text{ Змінні управління - } x_i$$

**Спряжена задача** - мінімізація сумарних витрат при обмеженні рівня сумарного виробництва. Розглядається та ж система з  $N$  виробничих елементів. Треба розподілити навантаження  $Y_s$  так, щоб мінімізувати сумарні витрати:

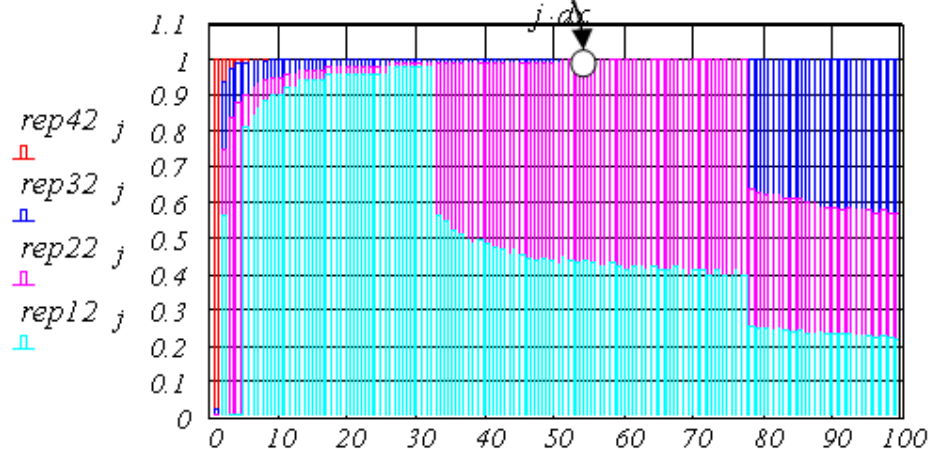
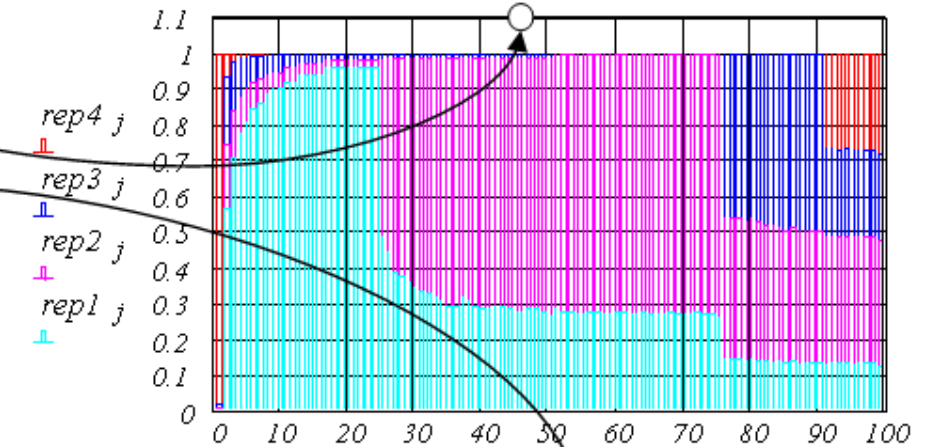
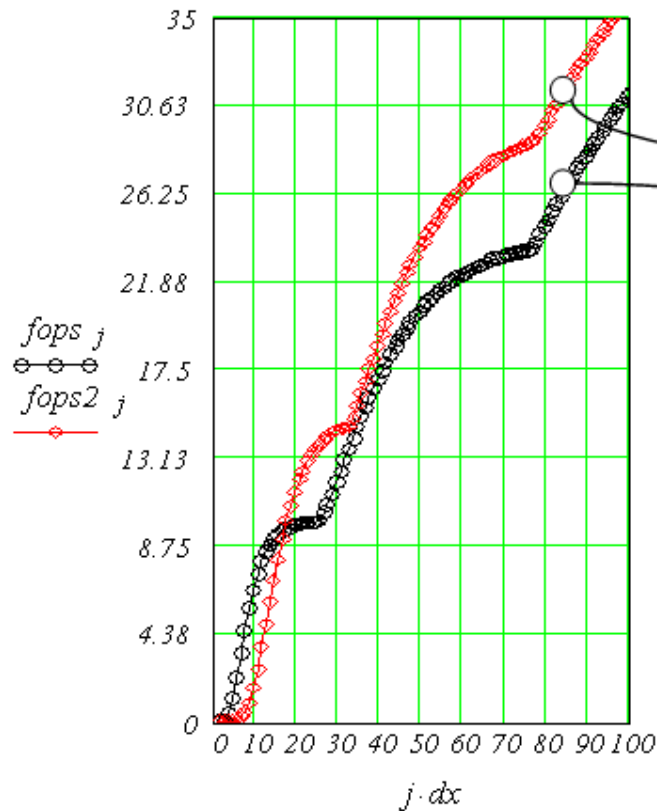
$$G_s(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N x_i \Rightarrow \min; \text{ при умові}$$

$$F_s(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N f_i(x_i) - Y_s = 0. \text{ Змінні управління - } x_i, \text{ або } y_i = f_i(x_i).$$

# ОПТИМАЛЬНЕ АГРЕГУВАННЯ СИСТЕМИ З 4-ОХ ПІДСИСТЕМ

Визначено дві ОЕФВ з різними матрицями параметрів

$$fops := Paramagr(mP)^{\langle 1 \rangle}, fops2 := Paramagr(mP2)^{\langle 1 \rangle}$$





## МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ОПТИМАЛЬНО АГРЕГОВАНОЇ СИСТЕМИ

Сформуємо тестову модель динаміки багатопродуктового виробництва. Розглядаємо розімкнену систему, де задається рівень сумарного ресурсу для виробництва, а система управління повинна оптимально розподілити цей ресурс між підсистемами (виробництвами окремих продуктів). Нехай підсистема випуску певного продукту витрачає  $x_d$  одиниць виміру ресурсів, наприклад  $N:=4; D:=50$  і випускає продукт в кількості  $y_d = f_n(x_d, vP_n)$ , де  $n:=1..N$  - індекс продукту виробництва,  $d:=2..D$  - індекс дискретного часу. З моменту  $d+1$  підсистема отримує  $x_{d+1} \neq x_d$  ресурсу. Якщо нехтувати запізненнями постачання і виконання, то випуск на наступному кроці квантування буде  $y_{d+1} = f_n(x_{d+1}, vP_n)$ . Відобразимо інерційність лінійними диференціальними рівняннями першого порядку:

$$T_{pn} \cdot \frac{d}{dt} x(t) = a \cdot x(t) + b \cdot (x_{tr}(t) - x(t)).$$

Записуємо еквівалентну дискретну модель:  $t_d - t_{d-1} = \Delta t$  ;

$$\frac{T_{pn} \cdot (x_d - x_{d-1})}{\Delta t} = a \cdot x_d + b \cdot (x_{tr_d} - x_{d-1}) \Rightarrow \text{виконуємо перетворення:}$$

$$T_{pn} \cdot (x_d - x_{d-1}) = a \cdot x_d \cdot \Delta t + b \cdot (x_{tr_d} - x_{d-1}) \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$(T_{pn} - a \cdot \Delta t) \cdot x_d = T_{pn} \cdot x_{d-1} + b \cdot (x_{tr_d} - x_{d-1}) \cdot \Delta t$$

Розв'язуємо отриманий вираз відносно  $x_d$ : 
$$x_d = \frac{T_{pn} \cdot x_{d-1}}{(T_{pn} - a \cdot \Delta t)} + \frac{b \cdot (x_{tr_d} - x_{d-1}) \cdot \Delta t}{(T_{pn} - a \cdot \Delta t)}$$

В усталеному стані темп виробництва повинен дорівнювати номінальному. Задаємо тестові дані  $a:=1$  (коефіцієнт підсилення);  $\Delta t:=2$  - крок квантування,  $T_{pn}:=10$  (інерційність).

Ідеальне завантаження виробничих потужностей: режим максимальної ефективності на протязі певного періоду часу для любого виду продуктів виробництва. Формуємо тестові дії для виробничої системи і виконуємо дослідження на моделі.

# ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ «ДИНАМІКА» ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

Деталізована тестова програма –

```

MTstDt := | vTst ← TestDet (Am)
           | Oprsp ← MaoprT
           | ideal ← augment (vTst, Oprsp)
           | ...
    
```

```

OPdin = | OPA ← (Paramagr (mP))T
         | for k ∈ 1 .. 60
         |   | Xtrk ← (MaTstT)k + 60
         |   | ytr<k> ← Oprr (<<Xtrk>>)
         |   | for n ∈ 1 .. N
         |   |   | yk+1,n ← Odin [yk,n, (ytr<k>)n, Trp, b, Δt]
         |   |   | "qq"
         |   |   | (y)
         |   |   | (xtr)
         |   |   | Oprf (Bus)
    
```

*MaTst* := *TestDet*(*Am*)<sup>T</sup>

*OPdin* = 

	1
1	[101,4]
2	[4,100]

*v<sub>yx</sub>* := *OPdin*<sub>1</sub>    *v<sub>xo</sub>* := *OPdin*<sub>2</sub>

*v<sub>yx</sub>* =

	1	2	3	4
1	20	20	20	20
2	18.72	29.28	12	12
3	19.22	39.18	7.2	7.2
4	19.53	45.11	4.32	4.32

*v<sub>xo</sub>* =

	1	2	3	4
1	16.8	19.98	19.98	19.98
2	43.2	54.02	54.02	54.02
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

Модуль генерації тесту.

Версії тестів:

== Попит

== Відмови

== Наявний ресурс

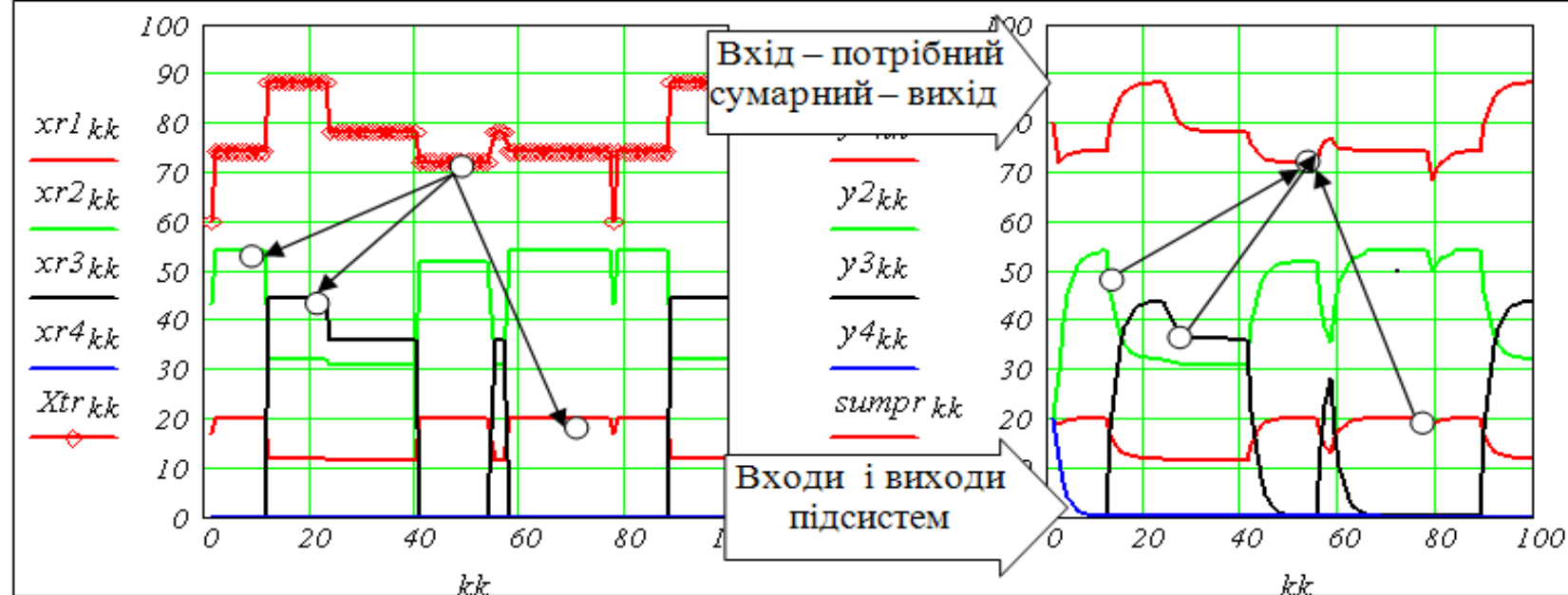
Всі модулі проходять тестування на імітаціях зовнішніх входів і збурень.

Тести – стохастичні функції.

Це дозволяє набирати статистику «віртуальної реальності»



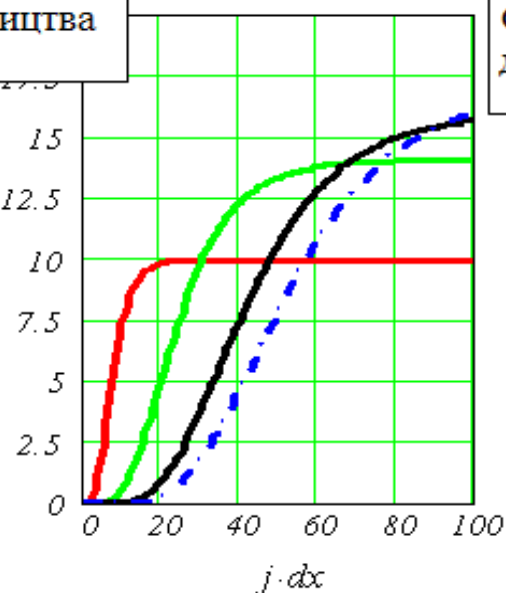
# ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ «ДИНАМІКА». ІНТЕРФЕЙС



## Функції виробництва підсистем

- $f11(j \cdot dx, vP1)$  15
- $f12(j \cdot dx, vP2)$  12.5
- $f13(j \cdot dx, vP3)$  10
- $f14(j \cdot dx, vP4)$  7.5

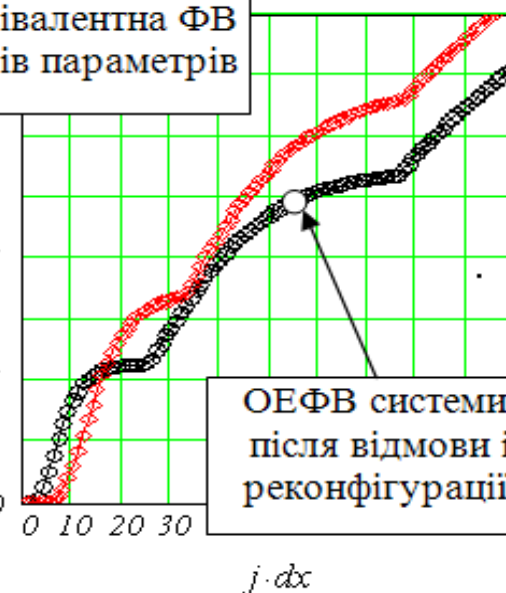
**ННР1**



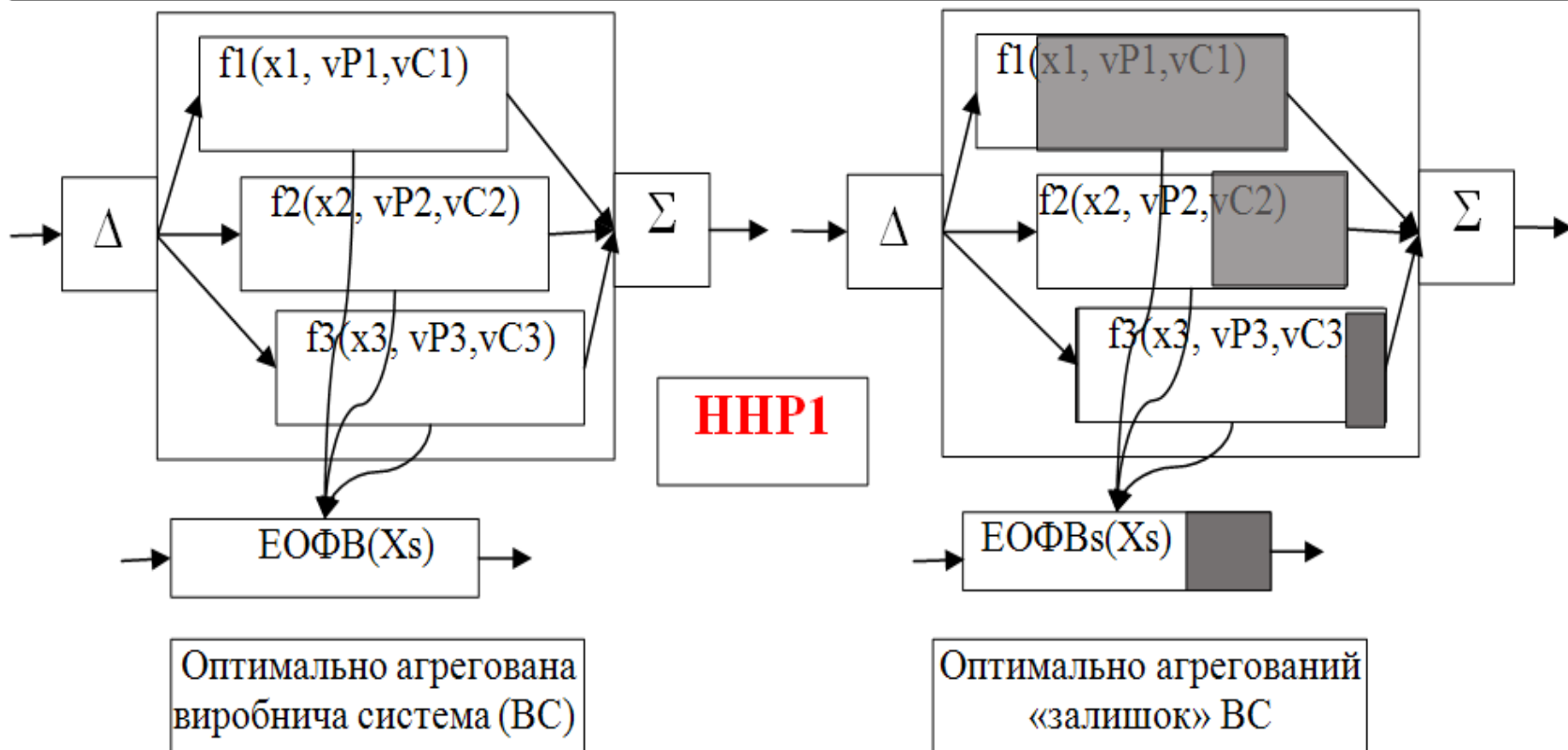
## Оптимальна еквівалентна ФВ для двох векторів параметрів

- $fops_j$  26.25
- $fops2_j$  21.88
- 17.5
- 13.13
- 8.75
- 4.38

**ОЕФВ системи після відмови і реконфігурації**

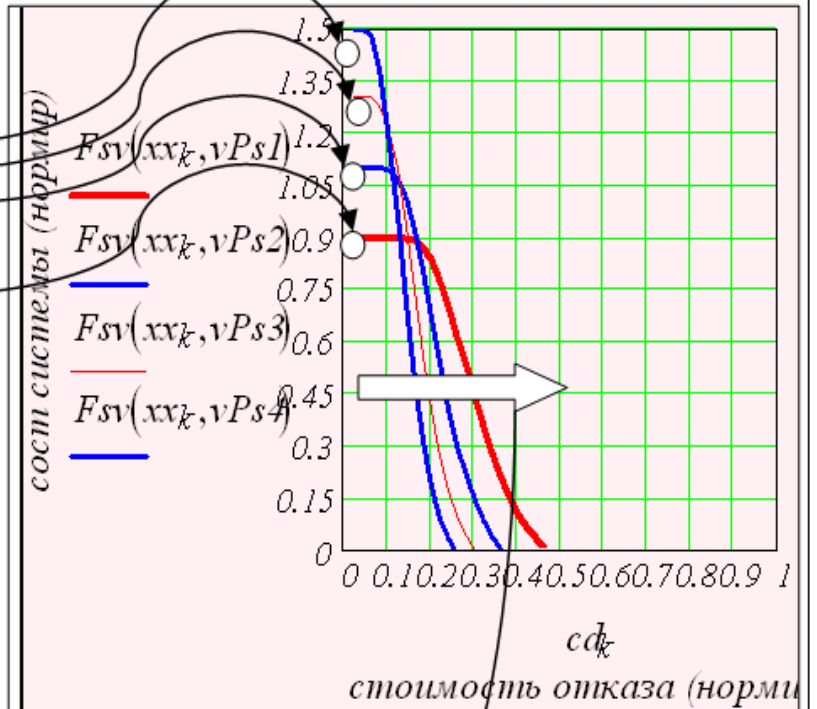
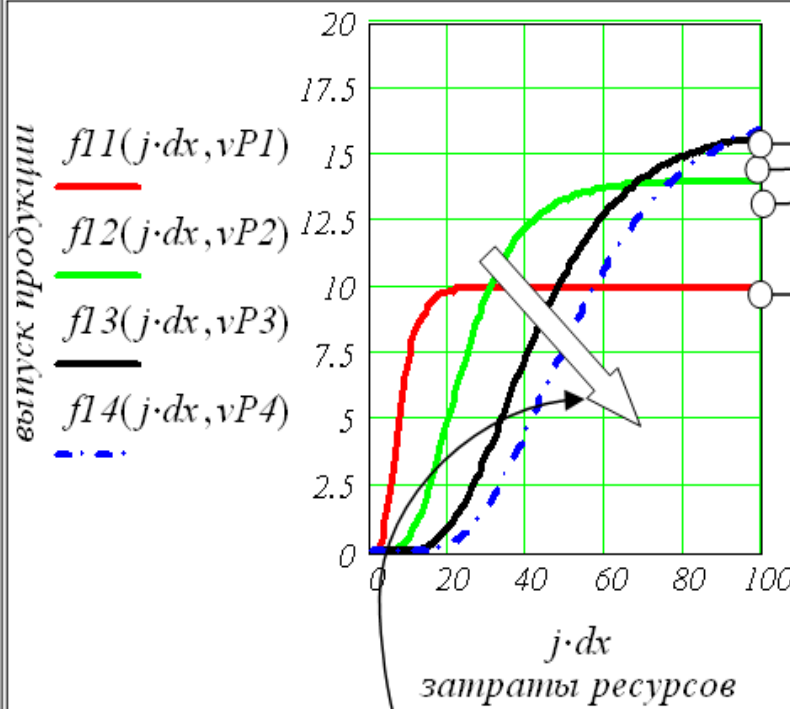


## ОТРИМАННЯ ФУНКЦІЙ ЖИВУЧОСТІ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ



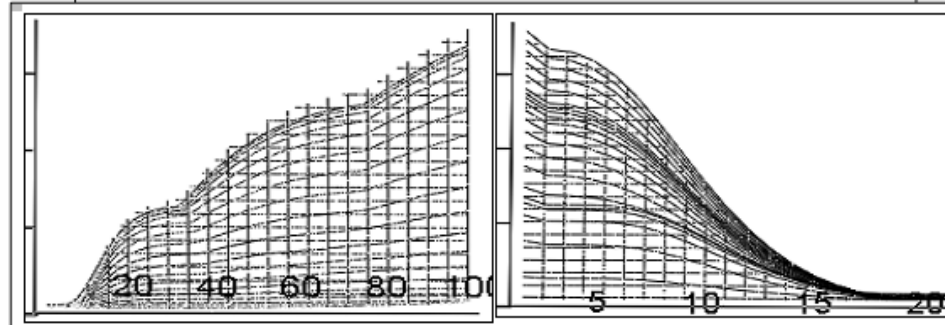
**ННР 1:** Вдосконалено робочу математичну модель динаміки оптимально агрегованих виробничих систем за рахунок ресурсного підходу до формування функцій живучості, що дає можливість оперативно переобчислювати оптимальне управління при транспортних затримках і аваріях і змінах стану ринку.

# ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ → РОБОЧА МОДЕЛЬ



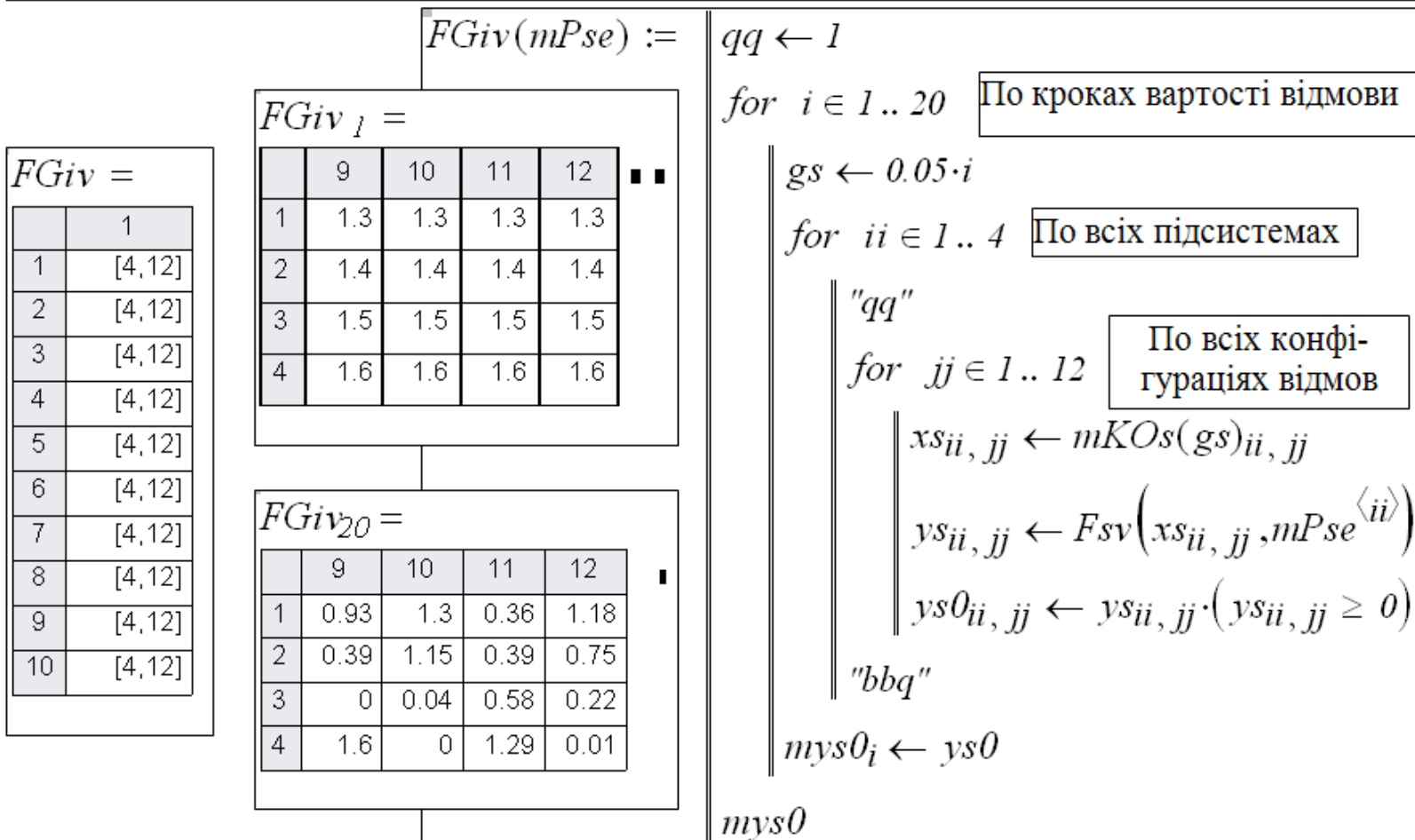
**ННР2**

Вартість і конфігурація відмови визначає «залишкове» значення виробничої потужності)

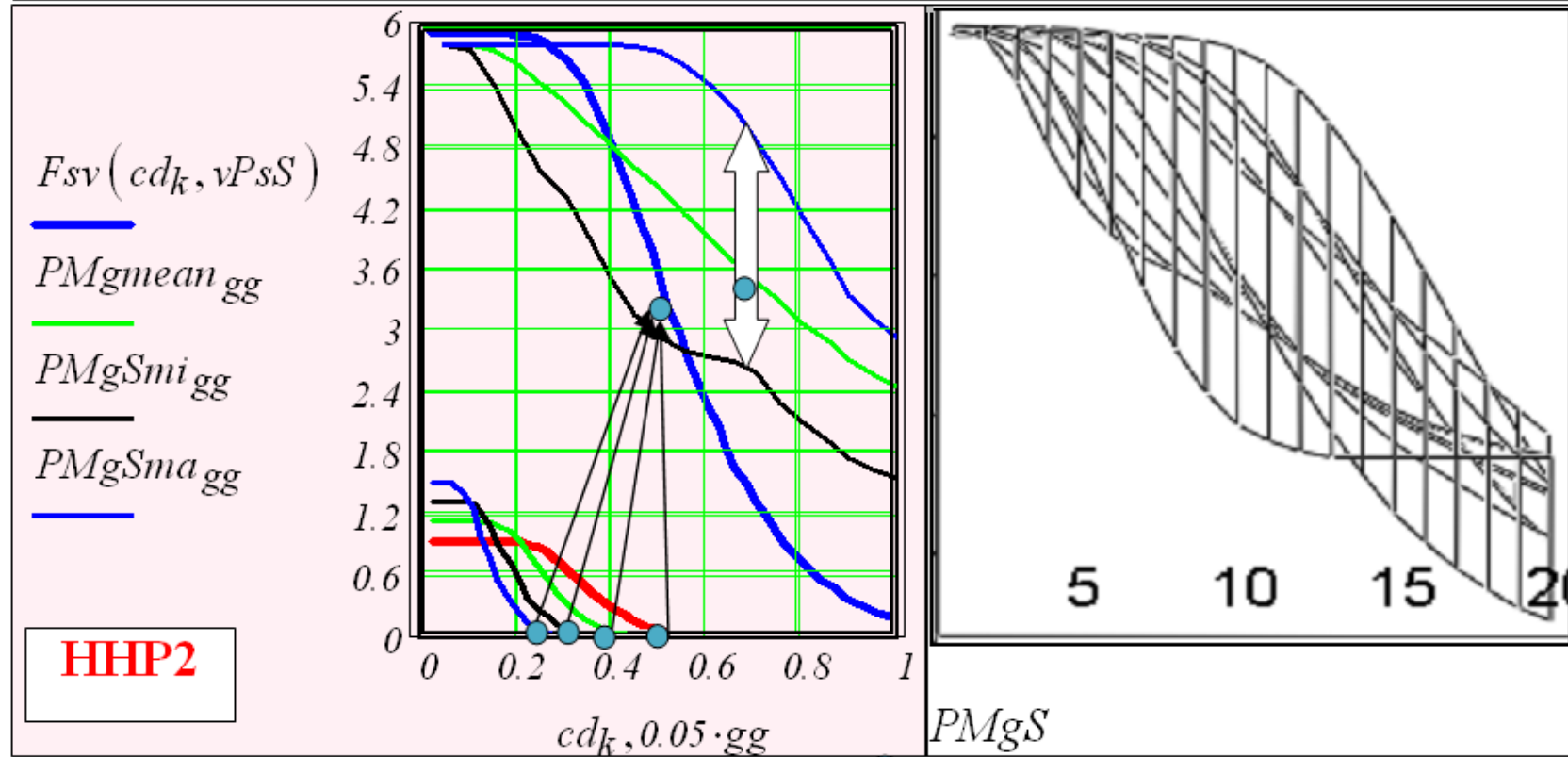


## РОЗРОБКА ПРОГРАМИ АГРЕГУВАННЯ ФЖ ПІДСИСТЕМ

Зв'язки від функцій виробництва до максимального значення функції живучості: вибирається виробнича потужність або максимум «випуск/витрати». Програма обчислює значення  $x_s$  – вартості відмови і  $y_s$  – ефективності.



## ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМИ АГРЕГУВАННЯ ФУНКЦІЙ ЖИВУЧОСТІ ПІДСИСТЕМ В ФУНКЦІЮ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ



На цьому графіку: – відображення (агрегування) ФЖ підсистем в ФЖ системи; – три графіки ФЖ – це мінімум, середнє, максимум обчислені, що обчислені для множини ПКВ певної вартості.

На цьому графіку – множина ФЖ виробничої системи обчислених для множини конфігурацій відмов певної заданої вартості

# МОДУЛЬ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНОЇ ФУНКЦІЇ «ЖИВУЧІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ»

*kot* - номер конфігурації відмови

$Moefp(kot) :=$

```

Mgf(knf, mPpe) :=
  Most ← (mPpeT)<l>
  FGv ← FGiv(mPpe)
  for gg ∈ 1..19
    mst ← (FGvgg)<knf>
    Most ← augment(Most, mst)
  
```

$Down := submatrix(mPpe, 2, 3, 1, 4)$

**ННР2**

$Up := Mgf(10, mPse)$

$stack(Up, Down) =$

	1	2	3	4
1	0.54	0.24	0.37	1.59
2	0.2	0.1	0.06	0.01
3	12	5	5	6

$rows(Paramagr(mP)) = 100$

$Mgf ← Mgf(kot, mPse)$

$dup ← submatrix(mPpe, 2, 3, 1, 4)$

$skor ← rows(Paramagr(mP))$

for  $gg ∈ 1..20$

«по всіх вартостях конфігурацій відмов»

$up ← Mgf^{<gg>T}$

$mP_{gg} ← stack(up, dup)$

$Opag ← Paramagr(mP_{gg})$

$oefp_{gg} ← submatrix(Opag, 1, skor, 1, 1)$

$Moefp11 =$

	1
1	[100,1]
2	[100,1]
3	[100,1]
4	[100,1]

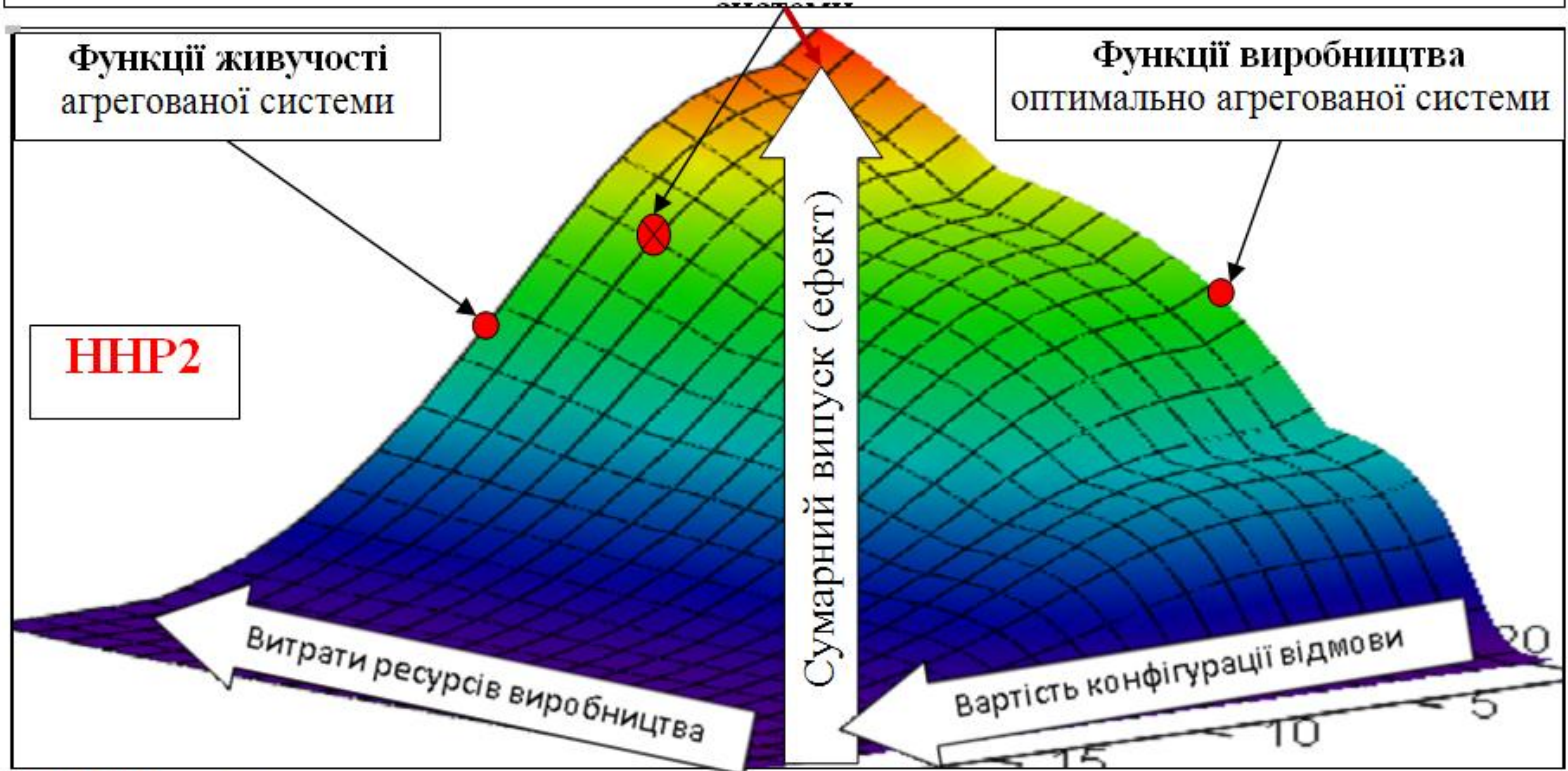
$Moefp10_{20} =$

	1
97	0.76
98	0.79
99	0.82
100	0.85



## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ → РОБОЧА МОДЕЛЬ

Ефективність даної виробничої системи даній конфігурації відмов виробничої системи



**ННР2:** Вдосконалено робочу математичну модель живучості виробничих систем за рахунок агрегування функцій живучості підсистем в функцію живучості виробничої системи (с13) та інтеграції функцій живучості та ефективності (с14)

## ВИСНОВКИ

В результаті роботи була розроблена інтегрована математична модель ефективності і живучості для об'єкта – виробничої системи.

На базі нових математичних моделей розроблено комплекс програмного забезпечення, що складається з таких модулів:

- програмні модулі оптимального агрегування при відмовах;
- програмні модулі оптимального управління функціонуванням об'єкта при відмовах, обумовлених зовнішніми збуреннями;
- програми та інтерфейси підсистеми введення і аналізу даних.

Розроблено і відлагоджено комплекс програмних модулів для роботи вдосконаленої моделі оптимального агрегування виробничих систем при наявності відмов.

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

Додатковий результат роботи: створені моделі і програми дозволяють розширити дослідження для випадку виробничих систем з відновленням після відмов.

Здобувачем особисто:

**1. Вдосконалено робочу математичну модель динаміки оптимально агрегованих виробничих систем за рахунок ресурсного підходу до формування функцій живучості, що дає можливість оперативно переобчислювати оптимальне управління при транспортних затримках, аваріях і змінах стану ринків.**

**2. Вдосконалено робочу математичну модель живучості виробничих систем за рахунок агрегування функцій живучості підсистем в функцію живучості виробничої системи, що дає можливість оперативно виконувати реконфігурацію і таким чином зменшувати втрати при відмовах.**

Дякую за  
увагу

