

A spiral-bound notebook with a textured, light brown cover. The spiral binding is on the left side. The text is centered on the cover.

*Приклади до завдання 1*

**Приклад 1: Визначити множину Парето, якщо задані наступні цільові функції**

$$f_1(x) = 1.5 + 0.5x^2 \quad x \in [1; 5]$$

$$f_2(x) = 40 - 5x$$

- Порогові значення і обмеження задані:

$$f_1^* = 3.5 \quad f_2^* = 30$$

$$f_1(x) \leq f_1^* \quad f_2(x) \leq f_2^*$$

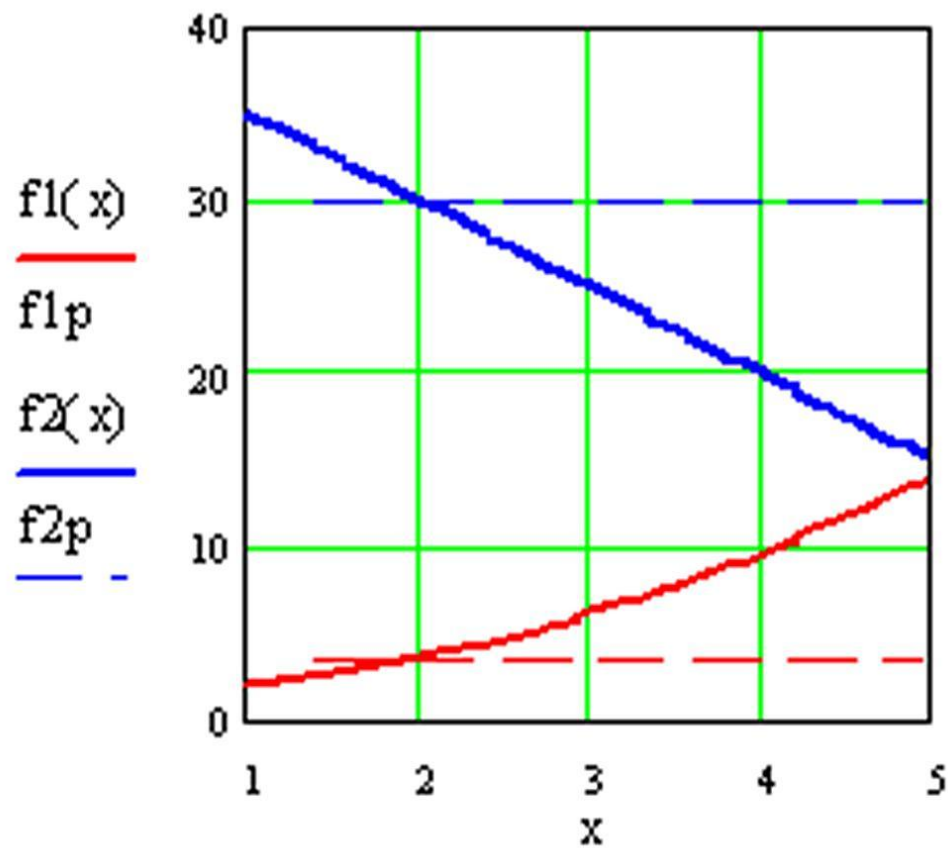


Рис.1.1

- Задачу вирішуємо графічно, для чого будуємо графіки  $f_1$  і  $f_2$ .
- 

- З рис.1.1 видно, що для виконання нерівності  $f_1(x) \leq f_1^*$  необхідно щоб  $x \leq 2$ , а для  $f_2(x) \leq f_2^*$  необхідно  $x \geq 2$ . Тоді отримуємо, що множину Парето складає одна точка  $x=2$ .
- На цьому можна зупинитися, але корисно провести якийсь розрахунок, який дає підтвердження цього результату:

# Табличне подання

x	1	2	3	4	5
$F_1 = f_1(x) / f_1^*$	0,571	1	1,714	2,714	4
$F_2 = f_2(x) / f_2^*$	1,167	1	0,833	0,667	0,5
$\min(F_1, F_2)$	0,571	1	0,833	0,667	0,5
$\max(F_1, F_2)$	1,167	1	1,714	2,714	4

- З таблиці видно, що

$$\max_x \min_i \frac{f_i(x)}{f_i^*} = \min_x \max_i \frac{f_i(x)}{f_i^*} \quad \text{в крапці 2.}$$

- В даному випадку ми просто звузили область  $[1; 5]$ , використовуючи принципи мінімакса і максиміна для сітки з кроком 1. Робота полягала в нормуванні величин функцій у вузлах сітки, використовуючи технічні обмеження, після - виборі величин  $i$

$$\max_x \min_i \frac{f_i(x)}{f_i^*} \quad \min_x \max_i \frac{f_i(x)}{f_i^*}$$

- 
- Звужена область - та, яка між стратегіями, що дають ці величини.
  - Отже, розумно припустити, що множина Парето  $x=2$ .

## Приклад 2:

---

- Знайти область Парето і звузити її (хоч би з одного боку)

$$f_1(x) = 25 - 10x^2 \quad x \in [0; 10]$$

$$f_2(x) = -5 + 10x + 0,5x^2$$

$$f_1^* = 15 \quad f_2^* = 107$$

якщо дано

$$f_1(x) \leq f_1^* \quad f_2(x) \leq f_2^*$$



- Область Парето шукаємо графічно.  
Будуємо графіки  $f_1$  і  $f_2$  (рис.1.2) .

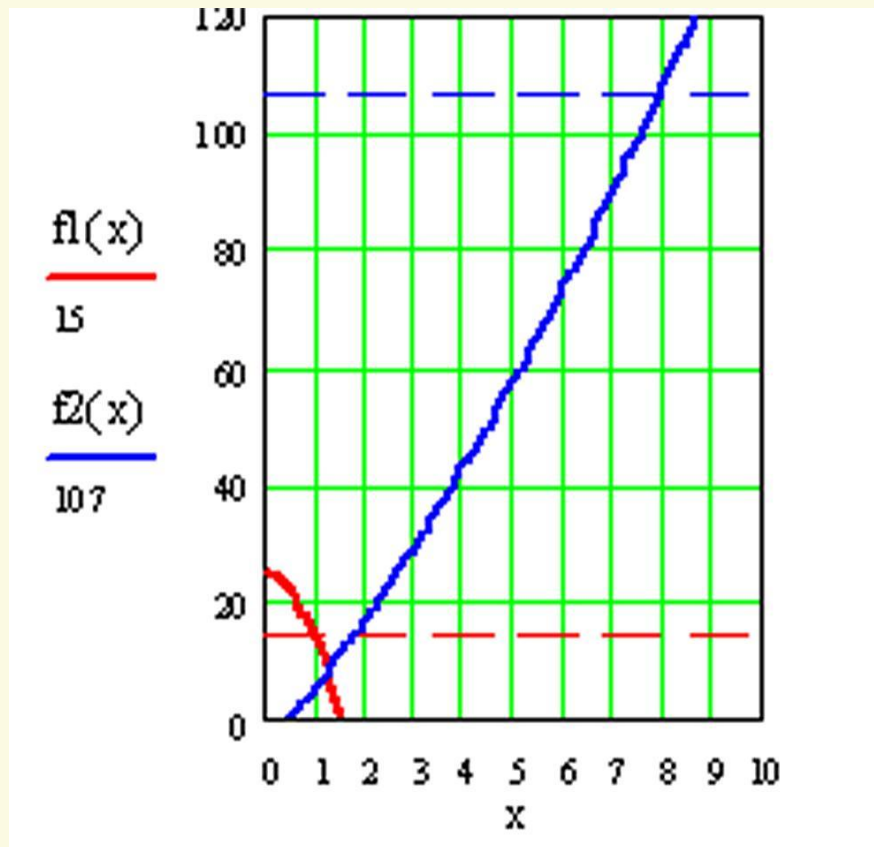


Рис.1.2

- а) Шукаємо область, що задовольняє нерівності для  $f_1$ :
- 

- $$25 - 10x^2 \leq 15$$

- $$x_{1,2} = \pm 1 \Rightarrow x_{\Pi f_1} = [1; 10]$$

- б) Шукаємо область, що задовольняє нерівності для  $f_2$ :

$$-5 + 10x + 0,5x^2 \leq 107$$

$$x_{1,2} = \frac{-5 \pm 9}{0,5} = 8 \Rightarrow x_{\Pi f_2} = [0; 8]$$

- в) Загальну область шукаємо як перетин:  
 $[1;10] \cap [0;8]=[1;8]$ ,  $x \in [1;8]$  - область Парето, яку за умовою завдання необхідно звузити.
- Звужуватимемо за принципом  $\max \min$

$$F_i(x) = \frac{f_i(x)}{f_i^*} - \text{віднормовані функції:}$$

$$F_1(x) = \frac{25 - 10x^2}{15}$$

$$F_2(x) = \frac{-5 + 10x + 0,5x^2}{107}$$

# Такбличне представлення

	$F_1$	$F_1$	$\min(F_1, F_2)$
x=1	1	0,05	0,05
x=2	-1	0,158	-1
x=3	-4,3	0,275	-4,3
x=4	-10,3	0,4	-10,3
x=5	-15	0,537	-15
x=6	-22,3	0,682	-22,3
x=7	-31	0,836	-31
x=8	-41	1	-41

- 
- Максимальним значенням з мінімальних є 0,05 .
  - Наслідком цього є те, що відсікаємо всі  $x < 1$ , це не призводить до звуження.
  - Оскільки при вибраному кроці не відбулося звуження області, то зменшимо крок:

# Табличне подання

	$F_1$	$F_2$	$\min(F_1, F_2)$
<b>X=1</b>	1	0,05	0,05
<b>X=1,1</b>	0,86	0,06	0,06
<b>X=1,2</b>	0,706	0,072	0,072
<b>X=1,3</b>	0,54	0,082	0,082
<b>X=1,4</b>	0,36	0,093	0,093
<b>X=1,5</b>	0,166	0,103	0,103
<b>X=1,6</b>	-0,04	0,114	-0,04

- 
- Максимальним значенням з мінімальних є  $0,103$  .
  - Наслідком цього є те, що відсікаємо усі  $x < 1,5$  .
  - Тобто  $x = [1,5; 8]$  - звужена знизу область Парето.

## Приклад 3

- Для заданих цільових функцій, граничних обмежень і нерівностей знайти область Парето і звузити її. Використовувати відомі принципи (при звуженні крок сітки брати рівним 0.1).

$$f_1(x) = 10 + 5x + 7x^2 \quad x \in [0; 2]$$

$$f_2(x) = 35 - 10x$$

якщо дано

$$f_1^* = 22 \quad f_2^* = 20$$

$$f_1(x) \geq f_1^* \quad f_2(x) \geq f_2^*$$



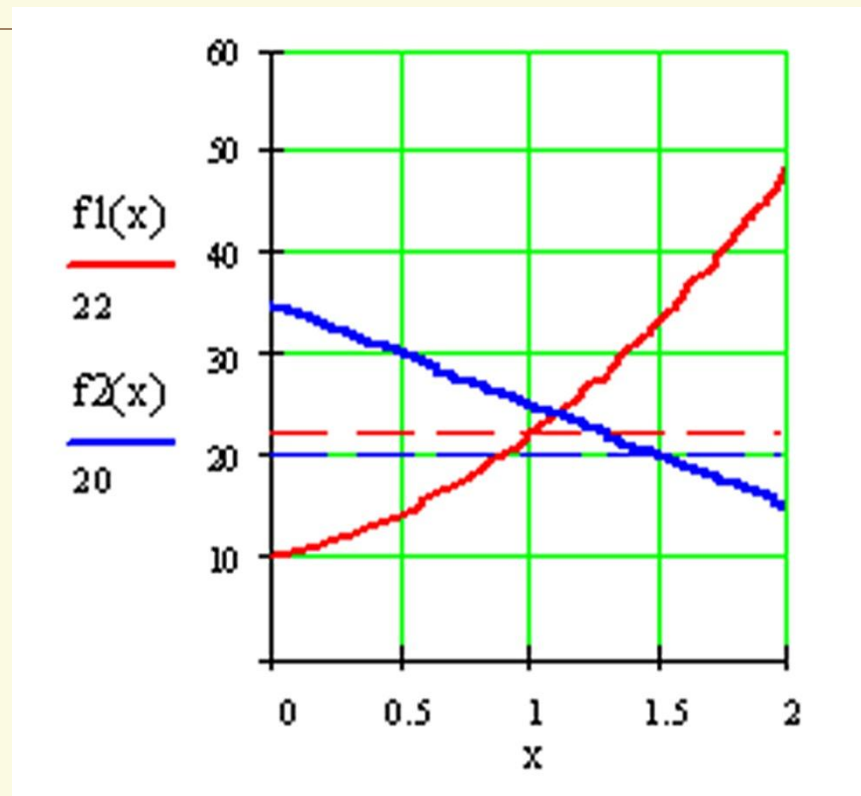


Рис.1.3

Шукаємо область Парето як множину, що задовольняє системі нерівностей:

$$\begin{cases} 7x^2 + 5x + 10 \geq 22 \\ 35 - 10x \geq 20 \end{cases}$$

- Аналітичне вирішення системи нерівностей:  $x \in [1; 1,5]$ . Це і є множина Парето.
- Звизимо його використовуючи принципи мінімакса і максміна, крок сітки рівний 0.1:

# Табличне подання

X	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$f_1(x)/f_1^*$	1	1.089	1.185	1.288	1.396	1.511
$f_2(x)/f_2^*$	1.25	1.2	1.15	1.1	1.05	1

- З таблиці видно, що

$$\max_x \min_i \frac{f_i(x)}{f_i^*} = \min_x \max_i \frac{f_i(x)}{f_i^*}$$

в точці  $x=1.2$ . Згідно теорії звужена область Парето лежить між крапками, в яких досягається

$$\min_x \max_i \frac{f_i(x)}{f_i^*}, \quad \max_x \min_i \frac{f_i(x)}{f_i^*}$$

тобто між  $x=1.2$  і  $x=1.2$ .

- Отже, відповідь  $x=1.2$ .

- 
- *Якщо в процесі вирішення системи нерівностей виходить декілька інтервалів множини Парето, то після їх визначення звужують кожен з них окремо.*