

Лінійна Модель для Оптимізації Розподілу Потоків Регіональної Енергосистеми за Умов Знеструмлення Вхідних Ліній Магістральних Вузлів

Петро Стецюк, Ольга Хом'як

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Міжнародна науково-практична конференція
«ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ І АВТОМАТИЦІ»

5 червня 2026 року

У доповіді представимо математичну модель задачі для оптимізації поточкорозподілу в електроенергетичній системі за умови виникнення некерованого дефіциту потужності. Модель представлено задачею лінійного програмування.

Математична модель відноситься

до класу моделей про мережевий потік мінімальної вартості з обмеженнями на пропускні здатності ребер.

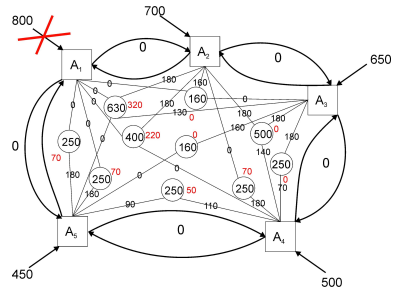
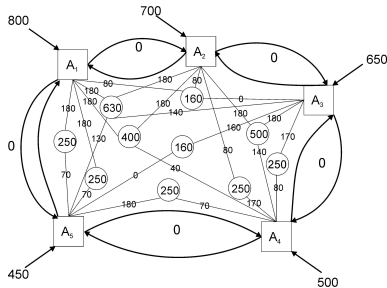
План

- 1 Історія Задачі
- 2 Постановка Задачі
- 3 ЛП-задача та її Властивості
- 4 Модельні Розрахунки

Зміст

- 1 Історія Задачі
- 2 Постановка Задачі
- 3 ЛП-задача та її Властивості
- 4 Модельні Розрахунки

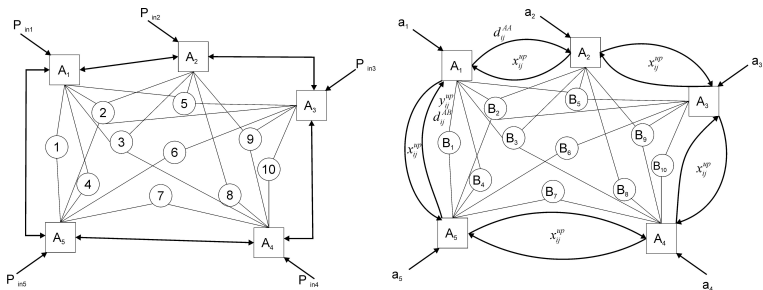
Звідки виникла задача?



[1] Каплун В., Гай О., Стецюк П., Івлічев А. Забезпечення оптимальних сценаріїв диспетчеризації регіональних енергосистем в умовах некерованого дефіциту потужності. Machinery & Energetics. 2023. 14(2).

Потоки потужності в енергетичній мережі

Узагальнена блок-схема та графічна інтерпретація розподілу потоків потужності в модельній електроенергетичній системі [1]



[1] Каплун В., Гай О., Стецюк П., Івлічев А. Забезпечення оптимальних сценаріїв диспетчеризації регіональних енергосистем в умовах некерованого дефіциту потужності. Machinery & Energetics. 2023. 14(2).

Модельна задача: $x^{\text{up}} = 800$, $y^{\text{up}} = 180$

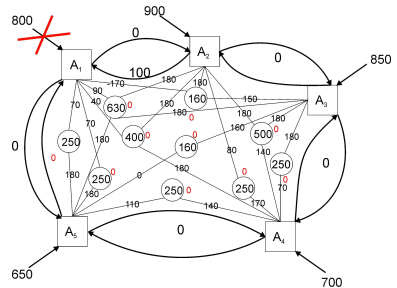
Вузли А	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅					
МВА	800	700	650	500	450					
Вузли В	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
МВА	250	630	400	250	160	160	250	250	500	250
ЛЕП	A ₁ A ₂	A ₂ A ₃	A ₃ A ₄	A ₄ A ₅	A ₅ A ₁	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₁ B ₅
d_{ij}	35	70	50	25	65	13	7	9	15	20
ЛЕП	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₂ B ₅	A ₂ B ₈	A ₂ B ₉	A ₃ B ₂	A ₃ B ₅	A ₃ B ₆	A ₃ B ₉	A ₃ B ₁₀
d_{ij}	12	15	5	20	15	22	15	20	6	11
ЛЕП	A ₄ B ₃	A ₄ B ₇	A ₄ B ₈	A ₄ B ₉	A ₄ B ₁₀	A ₅ B ₁	A ₅ B ₂	A ₅ B ₄	A ₅ B ₆	A ₅ B ₇
d_{ij}	25	18	6	17	10	7	17	3	18	13

Таблиця 1. Параметри електроенергетичної схеми

Два варіанти оптимізаційної задачі (2023)

Розрахунки в [1] дозволили отримати оптимальний розподіл потоків енергії та значення ефективності цього розподілу (мінімальний момент потужності) за умови забезпечення нормальної роботи модельної електроенергетичної системи. Розглянуто також варіант із повним знеструмленням вхідних ліній, що живлять вузол A1, зі збереженням його працездатності та незмінними лімітами вузлів A2, A3, A4, A5.

[1] Каплун В., Гай О., Стецюк П., Івлічев А. Забезпечення оптимальних сценаріїв диспетчеризації регіональних енергосистем в умовах некеерованого дефіциту потужності. Machinery & Energetics. 2023. 14(2).



A set of small navigation icons typically found in Beamer presentations, including symbols for back, forward, search, and other slide controls.

Розширення оптимізаційної задачі (2025)

В роботах [2, 3] математичні моделі задач оптимізації розширені на випадок оптимального перерозподілу потужності вузла A_1 (або будь-якого іншого) між іншими вузлами.

[2] Каплун В., Войтенко В., Стецюк П., Хом'як О. Балансування мікроенергосистем з адресним потокорозподілом потужності та мінімізацією втрат електроенергії. Збірник тез доповідей за матеріалами III міжнародної науково-практичної конференції «Цифрові технології в енергетиці і автоматичі». Київ, 6 червня 2025 р. С. 23-25.

[3] Стецюк П.І., Хом'як О.М. Оптимізаційні моделі балансування регіональної енергосистеми за умов знеструмлення магістральних вузлів. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2025. No 6. С. 35–45.

Задача лінійного програмування (2026)

Математичну модель для мінімізації моменту потужності електроенергетичної системи з частковим знеструмленням окремих вузлів живлення представлено ЛП-задачею [4, 5].

[4] Стецюк П.І., Хом'як О.М. Лінійна модель для оптимізації потокорозподілу регіональної енергосистеми. Матеріали XXVIII Міжнародного науково-практичного семінару «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування». Кропивницький – Запоріжжя – Київ, 7–9 червня 2026 р., С. 12–19.

[5] Стецюк П.І., Хом'як О.М., Давидов О.С. Про єдиність розв'язку ЛП-задачі оптимального розподілу потоків в електромережі. Cybernetics and Computer Technologies. 2026. 2. С. 26–34.

Зміст

- 1 Історія Задачі
- 2 Постановка Задачі**
- 3 ЛП-задача та її Властивості
- 4 Модельні Розрахунки

Вузли Живлення та Навантаження

A – вузли живлення, B – вузли навантаження,
 n_A – кількість вузлів живлення,
 n_B – кількість вузлів навантаження.

a_i^0 – наявна потужність у вузлі живлення $i \in A$,
 Z_A – сумарний доданий обсяг потужності для вузлів живлення,
 z_i^{low} – нижня межа на доданий обсяг потужності для $i \in A$,
 z_i^{up} – верхня межа на доданий обсяг потужності для $i \in A$,

b_j – необхідна потужність для вузла навантаження $j \in B$

Зв'язки між Вузлами A та B

Нехай $E_{AA} \subset A \times A$ – множина ребер між вузлами A ,
а $E_{AB} \subset A \times B$ – множина ребер між вузлами A та B ,
 m_{AA} – кількість ребер E_{AA} , m_{AB} – кількість ребер E_{AB} .

Для кожного ребра ij задані вартості пересилання одиниці потоку (довжина ребра) $d_{ij}^{AA} = d_{ji}^{AA}$, $ij \in E_{AA}$ та $d_{ij}^{AB} = d_{ji}^{AB}$, $ij \in E_{AB}$ і верхні межі $x_{ij}^{up} = x_{ji}^{up}$, $ij \in E_{AA}$ та $y_{ij}^{up} = y_{ji}^{up}$, $ij \in E_{AB}$ для потоків, які можна пересилати тільки в одному напрямку, тобто або дуюю ij або дуюю ji .

Зміст оптимізаційної задачі

Задача полягає у знаходженні

мінімальної сумарної вартості пересилання потоків в мережі за умов дотримання верхніх меж на потоки по ребрах, повного використання потужності вузлів живлення, максимального забезпечення попиту вузлів навантаження.

Вартість пересилання потоку обсягом p_{ij} по ребру ij є рівною $d_{ij}^{AA} p_{ij}$ для $ij \in E_{AA}$ та $d_{ij}^{AB} p_{ij}$ для $ij \in E_{AB}$.

Потокові змінні: x_{ij}^+ , x_{ij}^- та y_{ij}^+ , y_{ij}^-

$x_{ij}^+ \geq 0$; $x_{ij}^- \geq 0$, $ij \in E_{AA}$ – невідомі обсяги потоків в мережі “вузли живлення–вузли живлення”,

$y_{ij}^+ \geq 0$; $y_{ij}^- \geq 0$, $ij \in E_{AB}$ – невідомі обсяги потоків в мережі “вузли живлення–вузли навантаження”.

Знак “+” означає напрям потоку від вершини i до вершини j , а знак “-” означає напрям потоку від вершини j до вершини i .

Інші змінні: z_i , u_{ij} та v_{ij}

$z_i \geq 0$ – невідомий доданий обсяг потужності для вузла $i \in A$,
 $z_i^{low} \leq z_i \leq z_i^{up}$, де z_i^{low} та z_i^{up} – задані нижні та верхні межі.

$u_{ij} \geq 0$, $ij \in E_{AA}$ – невідомі обсяги потужності, які додано до
 верхніх меж на потоки для ребер E_{AA} ,
 $v_{ij} \geq 0$, $ij \in E_{AB}$ – невідомі обсяги потужності, які додано до
 верхніх меж на потоки для ребер E_{AB} .

Управління додатними штрафними коефіцієнтами P_{AA} та P_{AB} дозволяє
 використовувати змінні u_{ij} та v_{ij} для виявлення «вузьких місць» у мережі,
 коли пересилання необхідних обсягів потужності забезпечити неможливо.

Кількість змінних у задачі

Всього $n = n_A + 3(m_{AA} + m_{AB})$, з яких

n_A змінних $z = \{z_i\} \quad \forall i \in A$,

$3m_{AA}$ змінних $x = \{x_{ij}^+, x_{ij}^-\}$, $u = \{u_{ij}\} \quad \forall ij \in E_{AA}$,

$3m_{AB}$ змінних $y = \{y_{ij}^+, y_{ij}^-\}$, $v = \{v_{ij}\} \quad \forall ij \in E_{AB}$.

Зміст

- 1 Історія Задачі
- 2 Постановка Задачі
- 3 ЛП-задача та її Властивості**
- 4 Модельні Розрахунки

Задача лінійного програмування (1)–(8)

$$F^* = \min_{x,y,u,v,z} \left\{ \begin{aligned} F = & \sum_{ij \in E_{AA}} (d_{ij}^{AA} (x_{ij}^+ + x_{ij}^-) + P_{AA} u_{ij}) \\ & + \sum_{ij \in E_{AB}} (d_{ij}^{AB} (y_{ij}^+ + y_{ij}^-) + P_{AB} v_{ij}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\sum_{j: ij \in E_{AA}} (x_{ij}^+ - x_{ij}^-) - \sum_{j: ji \in E_{AA}} (x_{ji}^+ - x_{ji}^-) + \sum_{j: ij \in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) = a_i^0 + z_i, \quad \forall i \in A, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in A} z_i = Z_A, \quad z_i^{\text{low}} \leq z_i \leq z_i^{\text{up}}, \quad \forall i \in A, \quad (3)$$

$$\sum_{i: ij \in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) \leq b_j, \quad \forall j \in B, \quad (4)$$

$$x_{ij}^+ \leq x_{ij}^{\text{up}} + u_{ij}, \quad x_{ij}^- \leq x_{ij}^{\text{up}} + u_{ij}, \quad i, j \in A, \quad ij \in E_{AA}, \quad (5)$$

$$y_{ij}^+ \leq y_{ij}^{\text{up}} + v_{ij}, \quad y_{ij}^- \leq y_{ij}^{\text{up}} + v_{ij}, \quad i \in A, \quad j \in B, \quad ij \in E_{AB}, \quad (6)$$

$$x_{ij}^+ \geq 0, \quad x_{ij}^- \geq 0, \quad u_{ij} \geq 0, \quad i, j \in A, \quad ij \in E_{AA}, \quad (7)$$

$$y_{ij}^+ \geq 0, \quad y_{ij}^- \geq 0, \quad v_{ij} \geq 0, \quad i \in A, \quad j \in B, \quad ij \in E_{AB}. \quad (8)$$

Цільова функція задачі (1) – (8)

$$F^* = \min_{x,y,u,v,z} \{F = M(x,y) + P(u,v)\} \quad (1)$$

$$M(x,y) = \sum_{ij \in E_{AA}} d_{ij}^{AA} (x_{ij}^+ + x_{ij}^-) + \sum_{ij \in E_{AB}} d_{ij}^{AB} (y_{ij}^+ + y_{ij}^-)$$

$$P(u,v) = P_{AA} \sum_{ij \in E_{AA}} u_{ij} + P_{AB} \sum_{ij \in E_{AB}} v_{ij}$$

Тут $M(x,y)$ – сумарна вартість пересилання потоків у мережі, а $P(u,v)$ – штрафи за корекції верхніх меж на потоки. За допомогою $M(x,y)$ мінімізується вартість пересилання потоків (**момент потужності в електроенергетичних задачах**), а за допомогою $P(u,v)$ визначаємо, наскільки необхідно збільшити верхні межі пропускної здатності потоків у разі несумісності системи обмежень (2) – (8).

Балансові обмеження задачі (1)–(8)

$$\sum_{j: ij \in E_{AA}} (x_{ij}^+ - x_{ij}^-) - \sum_{j: ji \in E_{AA}} (x_{ji}^+ - x_{ji}^-) + \sum_{j: ij \in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) = a_i^0 + z_i, \quad \forall i \in A, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in A} z_i = Z_A, \quad z_i^{\text{low}} \leq z_i \leq z_i^{\text{up}}, \quad \forall i \in A, \quad (3)$$

$$\sum_{i: ij \in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) \leq b_j, \quad \forall j \in B. \quad (4)$$

Лінійні рівності (2) означають, що кожний вузол живлення пересилає вузлам навантаження увесь обсяг продукції, що включає як його власні наявні ресурси, так і частину потужності, отриманої за рахунок розподілу Z_A одиниць потужності згідно обмежень (3). Лінійні нерівності (4) означають, що кожен із вузлів навантаження може недоотримати необхідний обсяг потужності.

Верхні та нижні межі в задачі (1)–(8)

$$\begin{aligned} x_{ij}^+ &\leq x_{ij}^{\text{up}} + u_{ij}, \\ x_{ij}^- &\leq x_{ij}^{\text{up}} + u_{ij}, \quad i, j \in A, ij \in E_{AA} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} y_{ij}^+ &\leq y_{ij}^{\text{up}} + v_{ij}, \\ y_{ij}^- &\leq y_{ij}^{\text{up}} + v_{ij}, \quad i \in A, j \in B, ij \in E_{AB} \end{aligned} \quad (6)$$

$$x_{ij}^+ \geq 0, \quad x_{ij}^- \geq 0, \quad u_{ij} \geq 0, \quad i, j \in A, ij \in E_{AA} \quad (7)$$

$$y_{ij}^+ \geq 0, \quad y_{ij}^- \geq 0, \quad v_{ij} \geq 0, \quad i \in A, j \in B, ij \in E_{AB} \quad (8)$$

Перша властивість задачі (1) – (8)

Твердження 1.

Якщо $\{(x_{ij}^+)^*, (x_{ij}^-)^*\}_{ij \in E_{AA}}$ та $\{(y_{ij}^+)^*, (y_{ij}^-)^*\}_{ij \in E_{AB}}$ – компоненти розв'язку задачі (1) – (8), то для них справедлива така рівність:

$$\sum_{ij \in E_{AA}} d_{ij}^{AA} \min\{(x_{ij}^+)^*, (x_{ij}^-)^*\} + \sum_{ij \in E_{AB}} d_{ij}^{AB} \min\{(y_{ij}^+)^*, (y_{ij}^-)^*\} = 0. \quad (9)$$

Рівність (9) гарантує, що оптимальні потоки в задачі (1) – (8)

пересилаються по ребрах E_{AA} та E_{AB} тільки в одному напрямі.

Друга властивість задачі (1)–(8)

Твердження 2 [3].

Якщо від кожного із вузлів живлення існує хоча би один шлях до кожного із вузлів навантаження та виконуються такі умови:

$$1) \sum_{i \in A} z_i^{low} \leq Z_A \leq \sum_{i \in A} z_i^{up}, \quad 2) \sum_{i \in A} a_i^0 + Z_A \leq \sum_{j \in B} b_j,$$

то система обмежень (2)–(8) є сумісною.

[3] Стецюк П.І., Хом'як О.М. Оптимізаційні моделі балансування регіональної енергосистеми за умов знеструмлення магістральних вузлів. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2025. No 6. С. 35–45.

Третя властивість задачі (1) – (8)

Твердження 3 [3].

Нехай виконуються умови твердження 2, а штрафні коефіцієнти

$$P_{AA} = P_{AB} = \sum_{ij \in E_{AA}} d_{ij}^{AA} + \sum_{ij \in E_{AB}} d_{ij}^{AB}.$$

Якщо $P^* = 0$, то (x^*, y^*, z^*) – розв'язок задачі (1) – (8), який задовольняє верхні межі на обсяги потоків по ребрах мережі.

Якщо $P^* > 0$, то серед компонент векторів u^* та v^* є хоча би одна додатна компонента і задача (1) – (8) не має розв'язку, який задовольняє верхні межі на обсяги потоків по ребрах мережі.

[3] Стецюк П.І., Хом'як О.М. Оптимізаційні моделі балансування регіональної енергосистеми за умов знеструмлення магістральних вузлів. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2025. № 6. С. 35–45.

Зміст

- 1 Історія Задачі
- 2 Постановка Задачі
- 3 ЛП-задача та її Властивості
- 4 Модельні Розрахунки**

Солвер Gurobi, NEOS-сервер та AMPL

Розв'язання ЛП-задач (1) – (8) виконувалось за допомогою солвера Gurobi [6] з NEOS сервера [7] та AMPL (A Mathematical Programming Language) [8].

[6] Gurobi Optimization, Inc., Gurobi Optimizer Reference Manual, 2014.
<http://www.gurobi.com/> (Дата звернення: 28.04.2026).

[7] NEOS Solver. <https://neos-server.org/> (Дата звернення: 28.04.2026)

[8] Fourer R., Gay D., Kernighan B. AMPL, A modeling language for mathematical programming. 2003. Belmont: Duxbury Press. 526 p.

Параметри модельної мережі Net-5-10-30

Вузли А	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅					
МВА	800	700	650	500	450					
Вузли В	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
МВА	250	630	400	250	160	160	250	250	500	250
ЛЕП	A ₁ A ₂	A ₂ A ₃	A ₃ A ₄	A ₄ A ₅	A ₅ A ₁	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄	A ₁ B ₅
d_{ij}	35	70	50	25	65	13	7	9	15	20
ЛЕП	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₂ B ₅	A ₂ B ₈	A ₂ B ₉	A ₃ B ₂	A ₃ B ₅	A ₃ B ₆	A ₃ B ₉	A ₃ B ₁₀
d_{ij}	12	15	5	20	15	22	15	20	6	11
ЛЕП	A ₄ B ₃	A ₄ B ₇	A ₄ B ₈	A ₄ B ₉	A ₄ B ₁₀	A ₅ B ₁	A ₅ B ₂	A ₅ B ₄	A ₅ B ₆	A ₅ B ₇
d_{ij}	25	18	6	17	10	7	17	3	18	13

Мережа включає 5 вузлів живлення, 10 вузлів навантаження, 30 (5 + 25) ребер. Верхні межі на потоки $x^{\text{up}} = 800$, $y^{\text{up}} = 180$.

Вузли живлення	Варіант 1 ($M^* = 40020$)	Варіант 2 ($M^* = 48930$)	Варіант 3 ($M^* = 50050$)	Варіант 4 ($M^* = 49250$)
A_1	800	0	820=800+20	800
A_2	700	880=700+180	0	790=700+90
A_3	650	650	650	0
A_4	500	690=500+190	750=500+250	750=500+250
A_5	450	880=450+430	880=450+430	760=450+310

Нормальна робота (варіант 1), знеструмлення вузла A_1 (варіант 2), вузла A_2 (варіант 3), вузла A_3 (варіант 4). При цьому потужності знеструмлених вузлів розподіляються між задіяними вузлами.

Net-5-10-30: Оптимальні потокорозподіли

Варіант 1:

Нормальна робота,

Варіант 2:

Знеструмлення A_1 ,

Варіант 3:

Знеструмлення A_2 ,

Варіант 4:

Знеструмлення A_3 .

Н.В. Потужності

знеструмлених вузлів

розподіляються між

здіяними вузлами.

ЛЕП			Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
	хур	dAA	x(+)	x(-)	x(+)	x(-)	x(+)	x(-)	x(+)	x(-)
A ₁ A ₂	800	35	0	0	0	90	160	0	0	0
A ₂ A ₃	800	70	0	0	0	0	0	0	0	0
A ₃ A ₄	800	50	0	0	0	0	0	0	0	100
A ₄ A ₅	800	25	0	0	0	0	0	0	0	0
A ₅ A ₁	800	65	0	0	0	0	0	0	0	0
	урр	dAB	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)
A ₁ B ₁	180	13	180	0	70	0	70	0	180	0
A ₁ B ₂	180	7	180	0	90	0	180	0	180	0
A ₁ B ₃	180	9	180	0	40	0	180	0	180	0
A ₁ B ₄	180	15	180	0	70	0	70	0	100	0
A ₁ B ₅	180	20	80	0	0	180	160	0	160	0
A ₂ B ₂	180	12	180	0	180	0	90	0	180	0
A ₂ B ₃	180	15	180	0	180	0	40	0	180	0
A ₂ B ₅	180	5	80	0	180	0	0	180	180	0
A ₂ B ₈	180	20	80	0	70	0	70	0	70	0
A ₂ B ₉	180	15	180	0	180	0	140	0	180	0
A ₃ B ₁₀	180	11	170	0	130	0	110	0	70	0
A ₃ B ₂	180	22	140	0	180	0	180	0	90	0
A ₃ B ₅	180	15	0	0	160	0	180	0	0	180
A ₃ B ₆	180	20	160	0	0	0	0	0	0	20
A ₃ B ₉	180	6	180	0	180	0	180	0	140	0
A ₄ B ₁₀	180	10	80	0	120	0	140	0	180	0
A ₄ B ₃	180	25	40	0	180	0	180	0	40	0
A ₄ B ₇	180	18	70	0	70	0	70	0	70	0
A ₄ B ₈	180	6	170	0	180	0	180	0	180	0
A ₄ B ₉	180	17	140	0	140	0	180	0	180	0
A ₅ B ₁	180	7	70	0	180	0	180	0	70	0
A ₅ B ₂	180	17	130	0	180	0	180	0	180	0
A ₅ B ₄	180	3	70	0	180	0	180	0	150	0
A ₅ B ₆	180	18	0	0	160	0	160	0	180	0
A ₅ B ₇	180	13	180	0	180	0	180	0	180	0

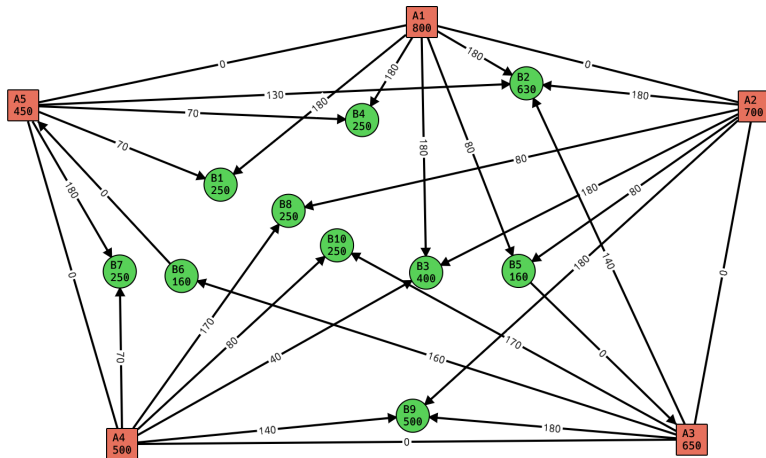
Net-5-10-30: Оптимальні потокорозподіли #1

ЛЕП			Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
	xup	dAA	x(+)	x(-)	x(+)	x(-)	x(+)	x(-)	x(+)	x(-)
A ₁ A ₂	800	35	0	0	0	90	160	0	0	0
A ₂ A ₃	800	70	0	0	0	0	0	0	0	0
A ₃ A ₄	800	50	0	0	0	0	0	0	0	100
A ₄ A ₅	800	25	0	0	0	0	0	0	0	0
A ₅ A ₁	800	65	0	0	0	0	0	0	0	0
	yup	dAB	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)
A ₁ B ₁	180	13	180	0	70	0	70	0	180	0
A ₁ B ₂	180	7	180	0	90	0	180	0	180	0
A ₁ B ₃	180	9	180	0	40	0	180	0	180	0
A ₁ B ₄	180	15	180	0	70	0	70	0	100	0
A ₁ B ₅	180	20	80	0	0	180	160	0	160	0
A ₂ B ₂	180	12	180	0	180	0	90	0	180	0
A ₂ B ₃	180	15	180	0	180	0	40	0	180	0
A ₂ B ₅	180	5	80	0	180	0	0	180	180	0
A ₂ B ₈	180	20	80	0	70	0	70	0	70	0
A ₂ B ₉	180	15	180	0	180	0	140	0	180	0

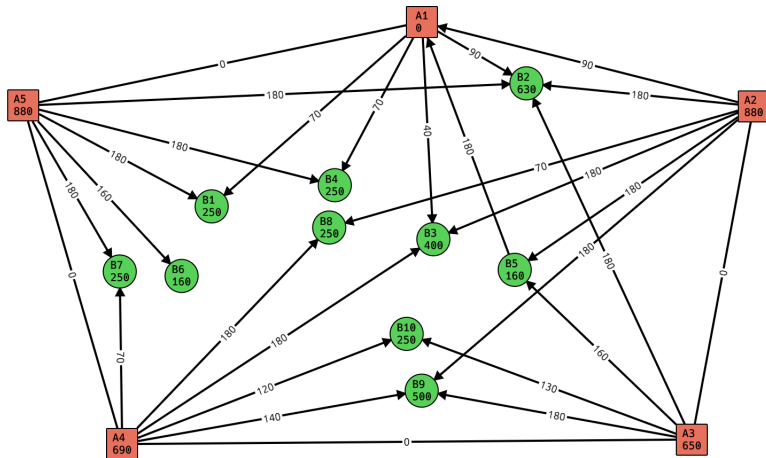
Net-5-10-30: Оптимальні потокорозподіли #2

ЛЕП	yup	dAB	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
			y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)
A ₃ B ₁₀	180	11	170	0	130	0	110	0	70	0
A ₃ B ₂	180	22	140	0	180	0	180	0	90	0
A ₃ B ₅	180	15	0	0	160	0	180	0	0	180
A ₃ B ₆	180	20	160	0	0	0	0	0	0	20
A ₃ B ₉	180	6	180	0	180	0	180	0	140	0
A ₄ B ₁₀	180	10	80	0	120	0	140	0	180	0
A ₄ B ₃	180	25	40	0	180	0	180	0	40	0
A ₄ B ₇	180	18	70	0	70	0	70	0	70	0
A ₄ B ₈	180	6	170	0	180	0	180	0	180	0
A ₄ B ₉	180	17	140	0	140	0	180	0	180	0
A ₅ B ₁	180	7	70	0	180	0	180	0	70	0
A ₅ B ₂	180	17	130	0	180	0	180	0	180	0
A ₅ B ₄	180	3	70	0	180	0	180	0	150	0
A ₅ B ₆	180	18	0	0	160	0	160	0	180	0
A ₅ B ₇	180	13	180	0	180	0	180	0	180	0

Net-5-10-30: Розподіл потоків для варіанта 1



Net-5-10-30: Розподіл потоків для варіанта 2



Висновки та подальші плани

Розроблена оптимізаційна модель може бути використана для балансування потужностей в системах диспетчеризації регіональних енергосистем за умов непередбачуваних пошкоджень енергетичної інфраструктури та виникненням при цьому некерованого дефіциту потужності.

Подальші плани:

спільно з ННІ енергетики, автоматики та енергозбереження (Національний університет біоресурсів і природокористування) модернізувати модель для вироблення своєчасних управлінських рішень для забезпечення живучості регіональних енергосистем.

Робота підтримана

**«Розробити математичні моделі, методи та програмні засоби мінімізації ризиків для об'єктів критичної інфраструктури»
(тема №2.3/26-П/ВП 130.1230)**

Запитання?

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

e-mail: stetsyukp@gmail.com