Зважено-пріоритетний розподіл потоків потужності в енергомережі

Петро Стецюк, Ольга Хом'як

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Науковий семінар «Теорія оптимальних рішень»

29 вересня 2026 року

Анотація

Представимо дві оптимізаційні моделі для розподілу потоків в енергомережі за умов дефіциту потужності. Перша модель – задача лінійного програмування за критерієм мінімального моменту потужності. Друга – задача квадратичного цілочислового програмування за критерієм мінімального зважено-пріоритетного навантаження споживачів. Буде наведено результати розрахунків для модельного прикладу енергомережі з 5 вузлами живлення та 10 вузлами навантаження.

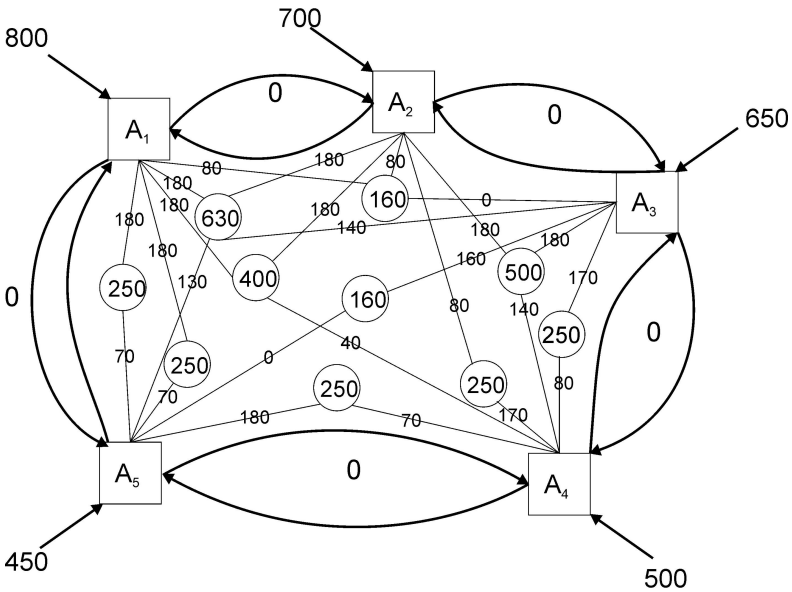
План

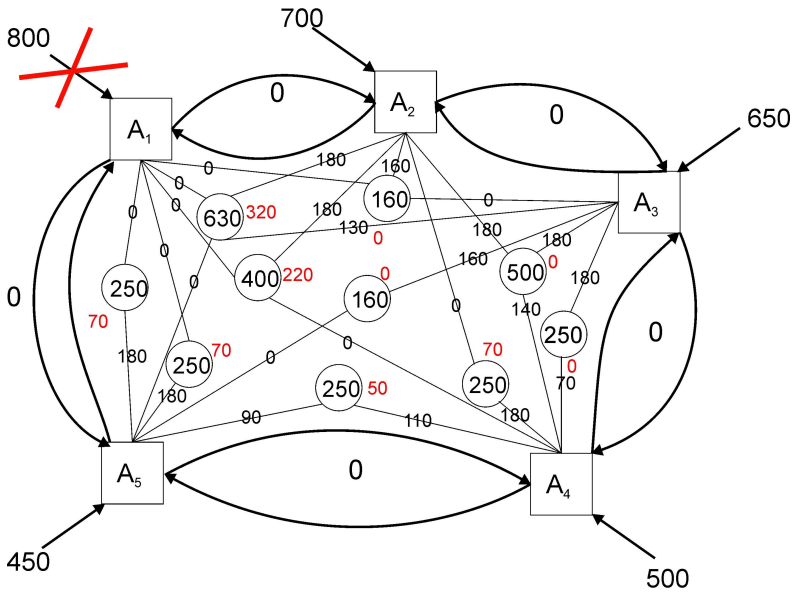
1. Про Задачу з Дефіцитом Потужності
2. Задача Лінійного Програмування та її Властивості
3. Квадратична Цілочислова Задача та її Властивості
4. Модельні Розрахунки для Мережі Net-5-10-30

Зміст

1. Про Задачу з Дефіцитом Потужності
2. Задача Лінійного Програмування та її Властивості
3. Квадратична Цілочислова Задача та її Властивості
4. Модельні Розрахунки для Мережі Net-5-10-30

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).

Модельна задача (мережа Net-5-10-30)

Вузли A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5					
MBA	800	700	650	500	450					
Вузли B	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
MBA	250	630	400	250	160	160	250	250	500	250
ЛЕП	A_1A_2	A_2A_3	A_3A_4	A_4A_5	A_5A_1	A_1B_1	A_1B_2	A_1B_3	A_1B_4	A_1B_5
d_{ij}	35	70	50	25	65	13	7	9	15	20
ЛЕП	A_2B_2	A_2B_3	A_2B_5	A_2B_8	A_2B_9	A_3B_2	A_3B_5	A_3B_6	A_3B_9	A_3B_{10}
d_{ij}	12	15	5	20	15	22	15	20	6	11
ЛЕП	A_4B_3	A_4B_7	A_4B_8	A_4B_9	A_4B_{10}	A_5B_1	A_5B_2	A_5B_4	A_5B_6	A_5B_7
d_{ij}	25	18	6	17	10	7	17	3	18	13

Таблиця 1. Параметри електроенергетичної схеми

Три варіанти оптимізаційної задачі (2023)

Розрахунки в [1] дозволили отримати оптимальний розподіл потоків енергії та значення ефективності цього розподілу (мінімальний момент потужності) за умови забезпечення:
1) нормальної роботи модельної електроенергетичної системи;
2) знеструмлення вузла A1 зі збереженням його працездатності;
3) рівномірного розподілу потужності A1 між вузлами A2-A5.

[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).

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 автоматиці». 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.

Задачі лінійного програмування (2026)

Математичні моделі для мінімізації моменту потужності енергосистеми з різноманітними варіантами функціонування вузлів живлення представлено ЛП-задачами [4, 5, 6].

[4] 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.

[5] Стецюк П.І., Хом'як О.М. Лінійна модель розподілу потоків регіональної енергосистеми за умов знеструмлення магістральних вузлів. Допов. Нац. акад. наук України. 2026. No 4. С. 43–55.

[6] Стецюк П.І., Хом'як О.М. Задача лінійного програмування для оптимізації розподілу потоків потужності в регіональній енергосистемі. Кібернетика та системний аналіз. 2026. № 5. С. 63–79.

Зміст

1 Про Задачу з Дефіцитом Потужності

2 Задача Лінійного Програмування та її Властивості

3 Квадратична Цілочислова Задача та її Властивості

4 Модельні Розрахунки для Мережі Net-5-10-30

Вузли Живлення та Навантаження

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

a_i – наявна потужність у вузлі живлення $i \in A$,
b_j – необхідна потужність для вузла навантаження $j \in B$.

Справедлива умова:

$$\sum_{i \in A} a_i \leq \sum_{j \in B} b_j.$$

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 потужності (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 дугою ij або дугою ji.

Зміст оптимізаційної задачі

Задача полягає у знаходженні

мінімальної сумарної вартості пересилання потоків в мережі (мінімального моменту потужності) за умов: дотримання верхніх меж на потоки по ребрах, повного використання потужності вузлів живлення.

Вартість пересилання потоку потужності p_{ij} по ребру ij дорівнює $d_{ij}^{AA}p_{ij}$ 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.

Всього змінних $n = 2(m_{AA} + m_{AB})$, з них:

$2m_{AA}$ для $x = \{x_{ij}^+, x_{ij}^-\}_{ij \in E_{AA}}$, $2m_{AB}$ для $y = \{y_{ij}^+, y_{ij}^-\}_{ij \in E_{AB}}$.

Формулювання ЛП-задачі

Мінімізувати момент потужності:

$$M^* = \min_{x,y} \left\{ M(x,y) = \sum_{ij \in E_{AA}} d_{ij}^{AA}(x_{ij}^+ + x_{ij}^-) + \sum_{ij \in E_{AB}} d_{ij}^{AB}(y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \right\} \quad (1)$$

Баланс у вузлах живлення:

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

Потреби у вузлах навантаження:

$$\sum_{i:\, ij \in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) \le b_j, \qquad \forall j \in B, \quad (3)$$

Верхні та нижні межі на потоки:

$$0 \le x_{ij}^+ \le x_{ij}^{\text{up}}, \qquad 0 \le x_{ij}^- \le x_{ij}^{\text{up}}, \qquad i,j \in A,\ ij \in E_{AA}, \quad (4)$$

$$0 \le y_{ij}^+ \le y_{ij}^{\text{up}}, \qquad 0 \le y_{ij}^- \le y_{ij}^{\text{up}}, \qquad i \in A,\ j \in B,\ ij \in E_{AB}. \quad (5)$$

Властивість ЛП-задачі (1)–(5)

Твердження 1 [4].

Якщо $\{(x_{ij}^+)^*, (x_{ij}^-)^*\}_{ij\in E_{AA}}$ *та* $\{(y_{ij}^+)^*, (y_{ij}^-)^*\}_{ij\in E_{AB}}$ *– компоненти розв'язку задачі (1)–(5), то для них справедлива така рівність:*

$$\sum_{ij\in E_{AA}} d_{ij}^{AA} \min\{(x_{ij}^+)^*, (x_{ij}^-)^*\} + \sum_{ij\in E_{AB}} d_{ij}^{AB} \min\{(y_{ij}^+)^*, (y_{ij}^-)^*\} = 0. \quad (6)$$

Рівність (6) гарантує, що оптимальні потоки в задачі (1)–(5)

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

[4] 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 Про Задачу з Дефіцитом Потужності

2 Задача Лінійного Програмування та її Властивості

3 Квадратична Цілочислова Задача та її Властивості

4 Модельні Розрахунки для Мережі Net-5-10-30

Параметри та змінні для КЦП-задачі

Параметри:

1. $q \geq 1$ – параметр збільшення M^*;
2. $w_j \geq 1$ – ваговий коефіцієнт приорітетності вузла $j \in B$;
3. $\{a_i\}_{i \in A}$, $\{b_j\}_{j \in B}$, $\{d_{ij}^{AA}\}_{ij \in E_{AA}}$, $\{d_{ij}^{AB}\}_{ij \in E_{AB}}$ – цілі.

Змінні:

1. $x = \{x_{ij}^+, x_{ij}^-\}_{ij \in E_{AA}}$, $y = \{y_{ij}^+, y_{ij}^-\}_{ij \in E_{AB}}$ – цілі;
2. $X = \{X_{ij}\}_{ij \in E_{AA}}$, $Y = \{Y_{ij}\}_{ij \in E_{AB}}$ – булеві (1 – ij, 0 – ji)

Формулювання КЦП-задачі (x, y – цілі)

Мінімізуємо зважено-пріоритетне навантаження споживачів:

$$Q_q^* = \min_{x,y,X,Y} \left\{ Q_q(x,y) = \sum_{j\in B} w_j \left(\frac{b_j - \sum_{i:ij\in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-)}{b_j} \right)^2 \right\} \tag{7}$$

Завищуємо мінімальний момент потужності M^* в $q \geq 1$ разів:

$$\sum_{ij\in E_{AA}} d_{ij}^{AA}(x_{ij}^+ + x_{ij}^-) + \sum_{ij\in E_{AB}} d_{ij}^{AB}(y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \leq q \cdot M^*, \tag{8}$$

Враховуємо Баланс у вузлах живлення та Потреби вузлів навантаження:

$$\sum_{j:ij\in E_{AA}} (x_{ij}^+ - x_{ij}^-) - \sum_{j:ji\in E_{AA}} (x_{ji}^+ - x_{ji}^-) + \sum_{j:ij\in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) = a_i,\ i\in A, \tag{9}$$

$$\sum_{i:\, ij\in E_{AB}} (y_{ij}^+ - y_{ij}^-) \leq b_j, \qquad \forall j \in B, \tag{10}$$

Враховуємо Верхні та Нижні Межі на потоки потужності:

$$0 \leq x_{ij}^+ \leq x_{ij}^{\text{up}} \cdot X_{ij},\ \ 0 \leq x_{ij}^- \leq x_{ij}^{\text{up}} \cdot (1 - X_{ij}),\ \ X_{ij} = 0 \vee 1,\ \ ij \in E_{AA}, \tag{11}$$

$$0 \leq y_{ij}^+ \leq y_{ij}^{\text{up}} \cdot Y_{ij},\ \ 0 \leq y_{ij}^- \leq y_{ij}^{\text{up}} \cdot (1 - Y_{ij}),\ \ Y_{ij} = 0 \vee 1,\ \ ij \in E_{AB}. \tag{12}$$

Властивість КЦП-задачі (7) – (12)

Твердження 2.

Якщо $q_1 > q_2 \geq 1$ *та* $\sum\limits_{i \in A} a_i < \sum\limits_{j \in B} b_j$, *то справедлива нерівність:*

$$Q^*_{q_2} \geq Q^*_{q_1} > 0, \tag{13}$$

де $Q^*_{q_2}$, $Q^*_{q_1}$ *– оптимальні значення цільової функції (7) для одних і тих же* $w_j \geq 1 \ \forall j \in B$ *у КЦП-задачі (7)–(12).*

Тут

$w_j \geq 1$ – ваговий коефіцієнт приорітетності вузла навантаження $j \in B$.

Зміст

1 Про Задачу з Дефіцитом Потужності

2 Задача Лінійного Програмування та її Властивості

3 Квадратична Цілочислова Задача та її Властивості

4 Модельні Розрахунки для Мережі Net-5-10-30

Солвер Gurobi, NEOS-сервер та AMPL

Задачі (1)–(5) та (7)–(12) розв'язувалися

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: 25.09.2026).

[7] NEOS Solver. https://neos-server.org/ (Дата звернення: 25.09.2026)

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

Параметри модельної мережі Net-5-10-30

Вузли A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5					
МВА	800	700	650	500	450					
Вузли B	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_1A_2	A_2A_3	A_3A_4	A_4A_5	A_5A_1	A_1B_1	A_1B_2	A_1B_3	A_1B_4	A_1B_5
d_{ij}	35	70	50	25	65	13	7	9	15	20
ЛЕП	A_2B_2	A_2B_3	A_2B_5	A_2B_8	A_2B_9	A_3B_2	A_3B_5	A_3B_6	A_3B_9	A_3B_{10}
d_{ij}	12	15	5	20	15	22	15	20	6	11
ЛЕП	A_4B_3	A_4B_7	A_4B_8	A_4B_9	A_4B_{10}	A_5B_1	A_5B_2	A_5B_4	A_5B_6	A_5B_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 $x^{\text{up}} = 800$, $y^{\text{up}} = 180$.

Тестові приклади: Тест #1 та Тест #2

Умови для обох тестів:

1. Знеструмлення вузла A_1 та збереження його працездатності
2. Розглядаються п'ять варіантів q (0%, 1%, 5%, 10%, 20%)

Тест #1:

$w_i \equiv 1$ – одинакові пріоритети вузлів навантаження

Тест #2:

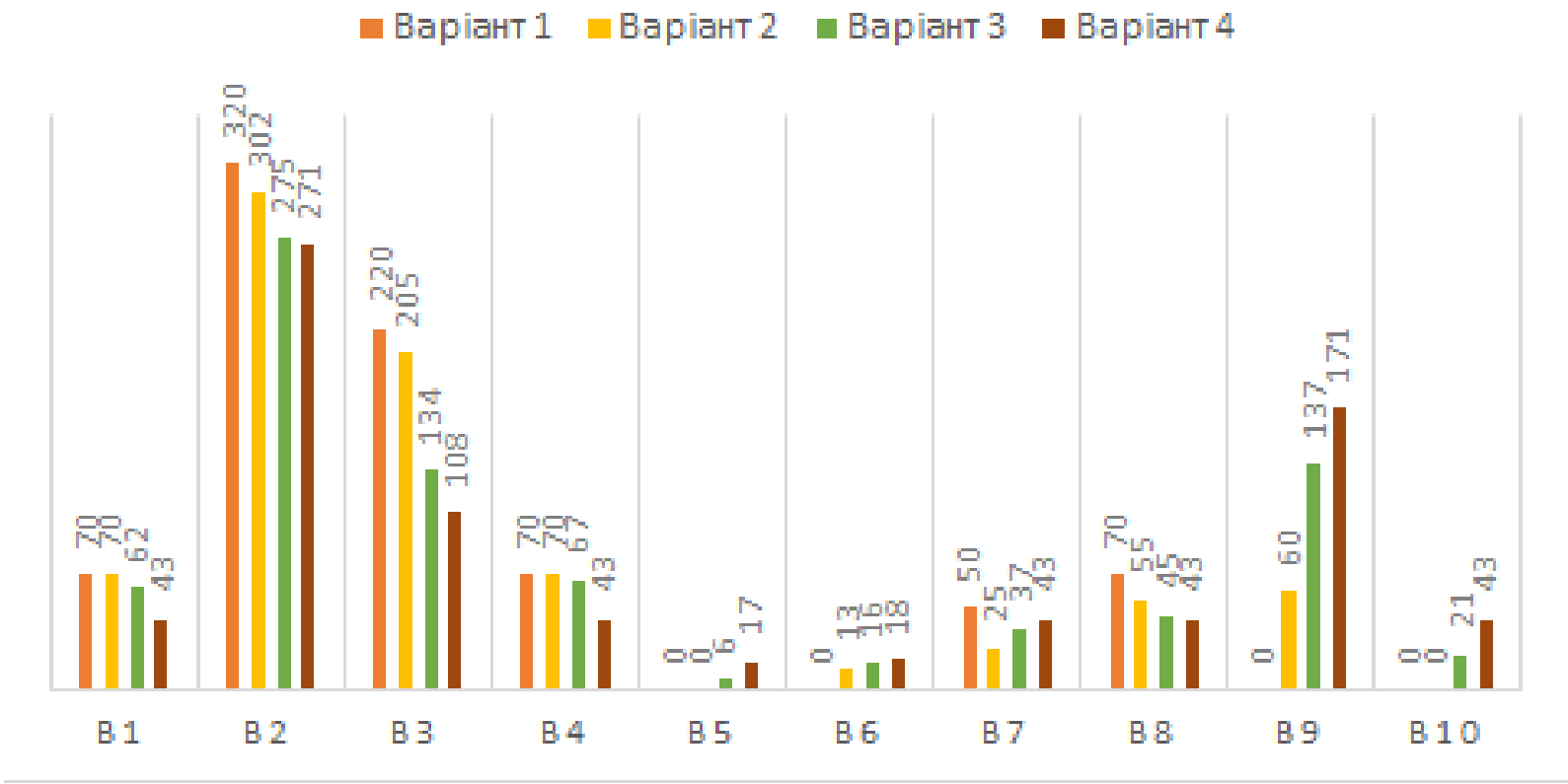
$w_2 = w_9 = 3$; $w_3 = 2$, інші, як у Тесті #1

Тест #1: Потреби та недостачі у вузлах B

	w	b	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
B1	1	250	70	70	62	43	43
B2	1	630	320	302	275	271	271
B3	1	400	220	205	134	108	108
B4	1	250	70	70	67	43	43
B5	1	160	0	0	6	17	17
B6	1	160	0	13	16	18	18
B7	1	250	50	25	37	43	43
B8	1	250	70	55	45	43	43
B9	1	500	0	60	137	171	171
B10	1	250	0	0	21	43	43
Всього		**3100**	**800**	**800**	**800**	**800**	**800**

Варіанти: 1. $q_1 = 1.00$, $Q_1^* = 0.835699$; 2. $q_2 = 1.01$, $Q_2^* = 0.728649$;
3. $q_3 = 1.05$, $Q_3^* = 0.583934$; 4. $q_4 = 1.10$, $Q_4^* = 0.546766$;
5. $q_5 = 1.20$, $Q_5^* = 0.546766$.

Тест #1: Недостачі у вузлах B (діаграма)



Варіанти: 1. $q_1 = 1.00$, $Q_1^* = 0.835699$; 2. $q_2 = 1.01$, $Q_2^* = 0.728649$;
3. $q_3 = 1.05$, $Q_3^* = 0.583934$; 4. $q_4 = 1.10$, $Q_4^* = 0.546766$.

Тест #1: Розподіл потоків між вузлами A і B

Варіант 1:

$q_1 = 1.0;$

$Q_1^* = 0.835699,$

Варіант 2:

$q_2 = 1.01;$

$Q_2^* = 0.728649,$

Варіант 3:

$q_3 = 1.05;$

$Q_3^* = 0.583934,$

Варіант 4:

$q_4 = 1.1;$

$Q_4^* = 0.546766,$

Варіант 5:

$q_5 = 1.2;$

$Q_5^* = 0.546766.$

			Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5	
	yup	dab	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)
A1 B1	180	13	0	0	0	0	8	0	27	0	27	0
A1 B2	180	7	0	0	0	0	0	0	0	17	0	17
A1 B3	180	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1 B4	180	15	0	0	0	0	3	0	27	0	27	0
A1 B5	180	20	0	0	0	0	0	11	0	37	0	37
A2 B2	180	12	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A2 B3	180	15	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A2 B5	180	5	160	0	160	0	165	0	180	0	180	0
A2 B8	180	20	0	0	15	0	25	0	27	0	27	0
A2 B9	180	15	180	0	165	0	150	0	133	0	133	0
A3 B2	180	22	130	0	148	0	175	0	152	0	152	0
A3 B5	180	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3 B6	180	20	160	0	147	0	144	0	142	0	142	0
A3 B9	180	6	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A3 B10	180	11	180	0	175	0	151	0	176	0	176	0
A4 B3	180	25	0	0	15	0	86	0	112	0	112	0
A4 B7	180	18	110	0	135	0	123	0	161	0	161	0
A4 B8	180	6	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A4 B9	180	17	140	0	95	0	33	0	16	0	16	0
A4 B10	180	10	70	0	75	0	78	0	31	0	31	0
A5 B1	180	7	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A5 B2	180	17	0	0	0	0	0	0	44	0	44	0
A5 B4	180	3	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A5 B6	180	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5 B7	180	13	90	0	90	0	90	0	46	0	46	0

Тест #2: Потреби та недостачі у вузлах B

	w	b	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
B1	1	250	70	70	70	75	75
B2	3	630	320	250	204	161	161
B3	2	400	220	217	144	98	98
B4	1	250	70	70	70	76	76
B5	1	160	0	0	5	31	31
B6	1	160	0	28	33	31	31
B7	1	250	50	52	78	76	76
B8	1	250	70	70	70	76	76
B9	3	500	0	43	93	100	100
B10	1	250	0	0	33	76	76
Всього		**3100**	**800**	**800**	**800**	**800**	**800**

Варіанти: 1. $q_1 = 1.00$, $Q_1^* = 1.654200$; 2. $q_2 = 1.01$, $Q_2^* = 1.392300$;
3. $q_3 = 1.05$, $Q_3^* = 1.071030$; 4. $q_4 = 1.10$, $Q_4^* = 0.970718$;
5. $q_5 = 1.20$, $Q_5^* = 0.970718$.

Тест #2: Розподіл потоків між вузлами A і B

Варіант 1:

$q_1 = 1.0;$

$Q_1^* = 1.654200,$

Варіант 2:

$q_2 = 1.01;$

$Q_2^* = 1.392300,$

Варіант 3:

$q_3 = 1.05;$

$Q_3^* = 1.071030,$

Варіант 4:

$q_4 = 1.1;$

$Q_4^* = 0.970718,$

Варіант 5:

$q_5 = 1.2;$

$Q_5^* = 0.970718.$

			Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5	
	yup	dab	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)	y(+)	y(-)
A1 B1	180	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1 B2	180	7	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0
A1 B3	180	9	0	0	0	0	5	0	23	0	23	0
A1 B4	180	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1 B5	180	20	0	0	0	0	0	5	0	31	0	31
A2 B2	180	12	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A2 B3	180	15	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A2 B5	180	5	160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
A2 B8	180	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2 B9	180	15	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A3 B2	180	22	130	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A3 B5	180	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3 B6	180	20	160	0	132	0	127	0	129	0	129	0
A3 B9	180	6	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0
A3 B10	180	11	180	0	158	0	163	0	161	0	161	0
A4 B3	180	25	0	0	3	0	71	0	99	0	99	0
A4 B7	180	18	110	0	128	0	148	0	174	0	174	0
A4 B8	180	6	180	0	180	0	180	0	174	0	174	0
A4 B9	180	17	140	0	97	0	47	0	40	0	40	0
A4 B10	180	10	70	0	92	0	54	0	13	0	13	0
A5 B1	180	7	180	0	180	0	180	0	175	0	175	0
A5 B2	180	17	0	0	20	0	66	0	101	0	101	0
A5 B4	180	3	180	0	180	0	180	0	174	0	174	0
A5 B6	180	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5 B7	180	13	90	0	70	0	24	0	0	0	0	0

Висновки та подальші плани

Розроблені оптимізаційні моделі можуть бути використані 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 моделі 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?

ДЯКУЄМО ЗА УВАГУ!

e-mail: stetsyukp@gmail.com
e-mail: khomiak.olha@gmail.com