

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В.А.Баженов

**МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВИТКУ
ЕНЕРГОСИСТЕМ**

**Оптимізація структури генеруючих потужностей
електроенергетичних систем**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензенти *Чумак Вадим Володимирович, канд. техн. наук*

Відповідальний
редактор *Кацадзе Т. Л., канд. техн. наук, доц.*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 5 від 26.05.2022р.)
за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики
(протокол № 8 від 29 березня 2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Баженов Володимир Андрійович, канд. техн. наук, доц

Електронне мережне навчальне видання

МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Оптимізація структури генеруючих потужностей електроенергетичних систем

Навчальний посібник

Моделі оптимального розвитку енергосистем: Оптимізація структури генеруючих потужностей електроенергетичних систем. [Електронний ресурс] для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. А. Баженов. – Електронні текстові дані (1 файл: 384 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 26 с.

Посібник містить теоретичні відомості, завдання та приклади до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Моделі оптимального розвитку енергосистем», які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Розглянуті питання побудови лінійної моделі оптимізації структури генеруючих потужностей, застосування симплекс-методу

© В. А. Баженов, 2022

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

Зміст

ВСТУП	3
1. ПОБУДОВА ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ГЕНЕРУВАЛЬНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ	4
1.1. Загальні положення	4
1.2. Лінійна модель оптимізації структури генерувальних потужностей	5
1.3. Приклад побудови лінійної моделі оптимізації структури генерувальних потужностей	11
2. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ГЕНЕРУВАЛЬНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ЕНЕРГОСИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ СИМПЛЕКС-МЕТОДУ	14
2.1. Загальні положення	14
2.2 Приклад оптимізації структури генерувальних потужностей	18
Додаток	23
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	24

ВСТУП

Метою виконання розрахунково-графічної роботи є практичне закріплення студентами теоретичного матеріалу дисципліни «Моделі оптимального розвитку енергосистем».

Розрахункова робота передбачає розв'язування задачі визначення оптимальної структури генеруючих потужностей за видами енергоресурсів і типами електростанцій в енергосистемах. В роботі потрібно знайти найбільш вигідні пропорції розвитку груп електростанцій різного типу, що різняться видом використовуваного енергоресурсу, засобами виробництва електроенергії і типом основного устаткування.

Вихідною інформацією для розв'язання задачі оптимізації структури генеруючих потужностей енергосистем є техніко-економічні характеристики можливих типів нових електростанцій і ліній електропередачі, якісні та кількісні характеристики придатних до використання енергоресурсів, потреба узагальнених енерговузлів енергосистеми в потужності й енергії, район спорудження, обсяг капіталовкладень і т. ін. Робота містить такі розділи: розроблення лінійної моделі оптимізації структури генеруючих потужностей енергосистеми та розв'язання задачі оптимізації структури за допомогою симплекс-методу. побудова спрощеної моделі оптимізації розвитку групи електростанцій

Розрахунки за окремими розділами курсової роботи з необхідним ступенем точності можна виконувати як з використанням звичайних обчислювальних засобів, так і за допомогою ПЕОМ.

Обсяг пояснювальної записки розрахункової роботи становить 10 – 15 с., розмір аркушів – 210 × 297 мм. Текст пояснювальної записки поділяють на розділи. Нумерувати сторінки починають з титульного аркуша. Зразок оформлення титульного аркуша наведено в додатку.

Дані для виконання розрахунково-графічної роботи визначаються за допомогою табл. 1.1-1.4 по номеру залікової книжки.

1. ПОБУДОВА ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ГЕНЕРУВАЛЬНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

1.1. Загальні положення

У процесі оптимізації розвитку електроенергетичних систем розв'язують задачі оптимізації структури генеруючих потужностей за видами енергоресурсів і типами електростанцій, а також оптимізації розвитку електростанцій в енергосистемах.

Вибираючи структуру генеруючих потужностей енергосистем, визначають найвигідніші пропорції розвитку груп електростанцій різного типу, що вирізняються видом використовуваних енергоресурсів, засобами виробництва електроенергії і типом основного устаткування. Розв'язуючи задачу, як правило, виділяють такі типи електростанцій: конденсаційні паротурбінні, атомні, гідравлічні, теплоелектроцентралі, гідроакумулявальні і газотурбінні.

Задачу оптимізації структури генеруючих потужностей розв'язують для рівня енергосистеми України при підготовці техніко-економічних доповідей про розвиток енергетики на перспективу 15 – 20 років. Отримані розв'язки уточнюють під час розроблення схем розвитку енергосистем на перспективу 10 – 15 років.

Вихідними даними для розв'язання задач оптимізації розвитку генеруючих потужностей енергосистем є: економічні й технічні характеристики можливих типів нових електростанцій, існуюча схема енергосистеми, характеристики нових ліній електропередачі, якісні та кількісні характеристики придатних для використання енергоресурсів, інформація про динаміку зростання навантаження окремих енерговузлів і т. ін. У процесі оптимізації виникають утруднення, викликані великою кількістю змінних, на змінювання яких накладено численні лінійні і нелінійні обмеження, необхідність урахування динаміки розвитку системи, багатокритеріальність задачі.

Велика кількість змінних, необхідність урахування динаміки розвитку системи, великої кількості режимних і ресурсних обмежень щодо балансу потужності й енергії в енерговузлах і енергосистемі в цілому, пропускної здатності існуючих і нових ліній електропередачі, можливостей використання різноманітних енергоресурсів та можливостей будівництва зумовлюють істотні ускладнення під час розроблення ефективних методів і алгоритмів оптимізації та неможливість розв'язання задачі в повному обсязі навіть на сучасних комп'ютерах. Тому загальну задачу оптимізації розвитку генеруючих потужностей енергосистем спрощують і зводять до задачі лінійного програмування, тобто до визначення мінімуму функції

$$\Phi = \sum_{j=1}^J q_j x_j, \quad (1.1)$$

за наявності обмежень у вигляді рівностей і нерівностей

$$\sum_{j=1}^J a_{ij} x_j \geq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad (1.2)$$

причому

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, J. \quad (1.3)$$

У виразах (1.1) – (1.3) x_j – змінні, що оптимізуються; a_{ij} – коефіцієнти для змінних, використовуваних для запису основних обмежень задачі; q_j – коефіцієнти функціонала, що, як правило, відповідають питомим зведеним динамічним витратам на одиницю зміни j -ї змінної.

Виконуючи цей розділ розрахункової роботи, необхідно розрахувати зведені витрати на спорудження й експлуатацію електростанцій кожної групи першого і другого енерговузлів, визначити цільову функцію оптимізації структури генеруючих потужностей енергосистеми, сформулювати обмеження лінійної моделі оптимізації.

Для розв'язання задачі (1.1) – (1.3) в роботі використовують симплекс-метод (див. розд. 2.1).

Після завершення процесу оптимізації потрібно визначити оптимальні потужності груп електростанцій першого і другого енерговузлів, річні витрати різних видів палива в енергосистемі, необхідний обсяг капіталовкладень на впровадження нових генеруючих потужностей і зведені витрати на спорудження й експлуатацію електростанцій. Крім того, необхідно побудувати графіки змінювання потужностей груп електростанцій енерговузлів і зведених витрат у процесі оптимізаційного розрахунку. Результати оптимізації слід занести на розрахункову схему енергосистеми.

1.2. Лінійна модель оптимізації структури генеруючих потужностей

Обґрунтовуючи рішення щодо оптимізації структури генеруючих потужностей України на 12 – 15-річну перспективу, широко використовують лінійні математичні моделі. Їх застосування дає змогу спростити задачу оптимізації структури генеруючих потужностей і звести її до задачі лінійного програмування (1.1) – (1.3). Характерною ознакою лінійної моделі є лінійна залежність між цільовою функцією і змінними, змінювання яких, у свою чергу, описується лінійною системою рівнянь зв'язку й обмежень.

Розглянемо основні принципи побудови лінійної моделі оптимізації структури генеруючих потужностей енергосистеми за умови статичної постановки задачі.

Енергосистему подають у вигляді узагальнених вузлів навантаження

$$j = 1, 2, \dots, J.$$

Для кожного вузла задають навантаження P_j , необхідні резерви потужності P_j^{pec} і потреби в електроенергії E_j , а також намічають можливі для спорудження типи електростанцій

$$r = 1, 2, \dots, R$$

та можливі види використовуваного палива

$$i = 1, 2, \dots, I.$$

Зображення узагальнених вузлів навантаження, можливих електричних і паливних зв'язків у лінійній моделі енергосистеми ілюструє рис. 1.1. Суцільною лінією показано електричні зв'язки, а пунктиром – паливні.

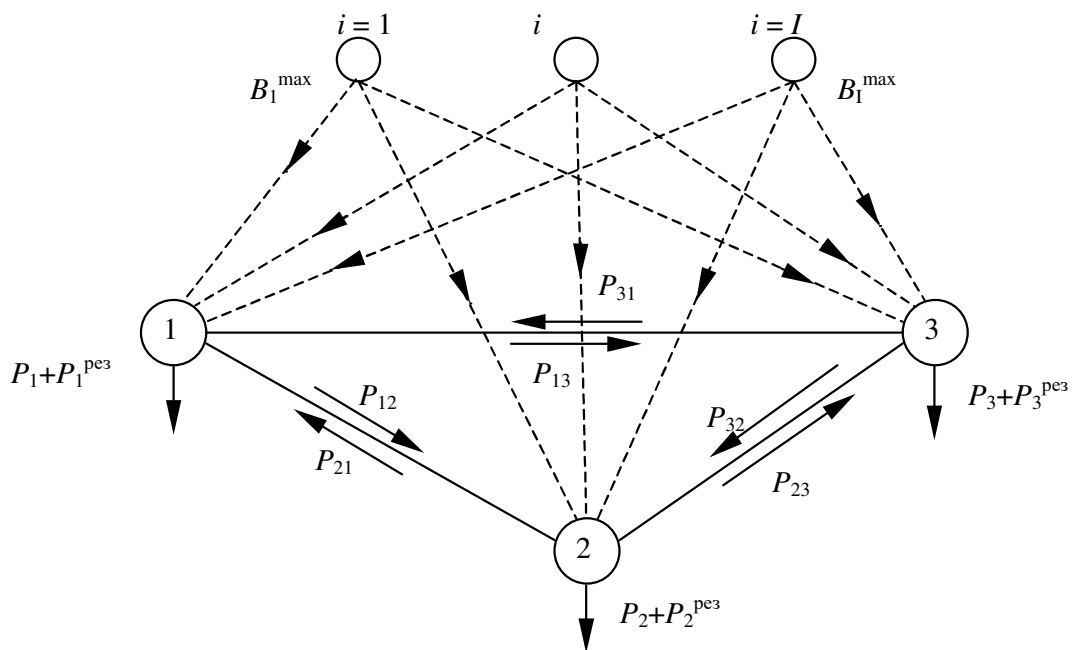


Рис. 1.1. Електричні та паливні зв'язки узагальнених вузлів навантаження в лінійній моделі енергосистеми

Методи лінійного програмування потребують змінних, які не набувають від'ємних значень. Тому перетікання потужності й енергії по міжсистемним зв'язкам рекомендується подавати у вигляді суми двох протилежних потоків P_{12} і P_{21} , E_{12} і E_{21} .

Для кожного місця спорудження електростанцій необхідно знати максимально можливі встановлену потужність P_{rij}^{\max} і відпуск енергії E_{rij}^{\max} , питому витрату

палива b_{rij} і кількість годин використання встановленої потужності T_{rij} , а також гранично допустимі рівні споживання B_i^{\max} кожного виду палива.

Змінними, що оптимізуються, при розв'язанні задачі оптимізації структури генеруючих потужностей є потужності і вироблення енергії електростанцій вузлів навантаження, потоки потужності й енергії по міжсистемним зв'язкам.

Цільовою функцією у процесі оптимізації є зведені витрати на спорудження й експлуатацію електростанцій:

$$\Phi = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R Z_{rij} P_{rij}, \quad (1.4)$$

де Z_{rij} – питомі зведені витрати для електростанції типу r , що працює на паливі i та розташована у вузлі j ; P_{rij} – потужності електростанцій.

Питомі зведені витрати для споруджуваних електростанцій можна визначити за виразом

$$Z_{rij} = \frac{\varphi_{rij}^{\text{рез}} E_{\text{н}} K_{rij} + B_{rij}^{\text{пост}} + \varphi_{rij}^{\text{е}} B_{rij}^{\text{п}}}{P_{rij}}, \quad (1.5)$$

де $\varphi_{rij}^{\text{рез}}$, $\varphi_{rij}^{\text{е}}$ – коефіцієнти, що враховують потребу електростанцій даного типу в резерві й витратах на власні потреби; K_{rij} – капіталовкладення в споруджувану електростанцію; $B_{rij}^{\text{пост}}$, $B_{rij}^{\text{п}}$ – постійна і паливна складові щорічних витрат; P_{rij} – проектна потужність електростанції.

Капіталовкладення K_{rij} записуємо у вигляді

$$K_{rij} = K_{rij}^{\text{пит}} P_{rij}, \quad (1.6)$$

де $K_{rij}^{\text{пит}}$ – питомі капіталовкладення в спорудження електростанції аналізованого виду. З урахуванням (1.6) щорічні витрати дорівнюють:

$$B_{rij} = B_{rij}^{\text{пост}} + \varphi_{rij}^{\text{е}} B_{rij}^{\text{п}} = \varphi_{rij}^{\text{рез}} K_{rij}^{\text{пит}} P_{rij} P_{rij}^{\text{пост}} + \varphi_{rij}^{\text{е}} Z_{ij}^{\text{п}} b_{rij} T_{rij}, \quad (1.7)$$

де $P_{rij}^{\text{пост}}$ – питомий показник постійних витрат; $Z_{ij}^{\text{п}}$ – кінцеві витрати на паливо i -го виду в j -му вузлі. Після підставлення рівнянь (1.6) і (1.7) у вираз (1.5) остаточно отримують

$$Z_{rij} = \varphi_{rij}^{\text{рез}} K_{rij}^{\text{пит}} (E_{\text{н}} + P_{rij}^{\text{пост}}) + \varphi_{rij}^{\text{е}} Z_{ij}^{\text{п}} b_{rij} T_{rij}. \quad (1.8)$$

Для існуючих електростанцій Z_{rij} дорівнюють паливній складовій.

Виконуючи розрахункову роботу, значення $K_{rij}^{пит}$, $P_{rij}^{пост}$, b_{rij} , T_{rij} , $\varphi_{rij}^{рез}$, φ_{rij}^e , $Z_{ij}^п$ потрібно визначати за табл. 1.1 - 1.4 відповідно до номера залікової книжки.

Таблиця 1.1. Кінцеві витрати на паливо

Регіон	Витрати, грн/т		
	на природний газ	на мазут	на кам'яне вугілля
Північно-західний	42	49	36
Центр	41	49	35
Середня Волга	38	48	31
Урал	35	48	27
Південь	43	50	33
Північний Кавказ	42	49	33
Закавказзя	43	49	36
Північний Казахстан	33	48	17
Сибір	25	47	16
Середня Азія	29	49	21
Далекий Схід	30	51	20

Значення $K_{ie}^{пит}$ і p_a наведено в табл. 1.3 - 1.4.

Таблиця 1.2. Вихідні дані для задачі оптимізації структури генеруючих потужностей

Четверта цифра номера залікової книжки	$P_1 + P_1^{рез}$, млн. кВт	$P_2 + P_2^{рез}$, млн. кВт	B_1 , тис. т	B_2 , тис. т	Район спорудження
0	1,8	3,0	3000	–	Центр
1	2,2	2,6	–	3500	Урал
2	2,6	2,2	3200	–	Північна Волга
3	3,0	1,8	–	3000	Сибір
4	2,6	1,8	–	2900	Північний Кавказ
5	2,4	2,2	3200	–	Центр
6	1,8	2,8	3300	–	Південь
7	2,2	2,6	–	3600	Урал
8	2,6	2,4	3800	–	Північний-Захід
9	3,0	2,2	–	4000	Далекий Схід

Задачу розв'язуємо з урахуванням таких обмежень [7, 9]:

1. Умови балансу потужності у вузлах мережі

$$\sum_{i \in j} \sum_{r \in j} P_{rij} + \sum_e P_{ej} (1 + \alpha_{ej}^{\pi}) - \sum_e P_{ej} = P_j + P_j^{рез}, \quad (1.9)$$

де \sum_e означає, що підсумовування виконано за вузлами, безпосередньо пов'язаними з вузлом j ; α_{ej}^{π} – коефіцієнт урахування втрат потужності в лінії

Таблиця 1.3. Вихідні дані для вибору потужності груп електростанцій першого енерговузла

Третя цифра номера залікової книжки	Тип електростанції															
	I								II							
	Вид палива	$K_{11}^{пит}$, т·грн/МВт	$P_{11}^{пост}$, в.о.	b_{11} , г/кВт·год	T_{11} , роки	$\Phi_{11}^{рез}$, в.о.	Φ_{11}^E , в.о.	P_{11}^{max} , млн кВт	Вид палива	$K_{21}^{пит}$, т·грн/МВт	$P_{21}^{пост}$, в.о.	b_{21} , г/кВт·год	T_{21} , роки	$\Phi_{21}^{рез}$, в.о.	Φ_{21}^E , в.о.	P_{21}^{max} , млн кВт
0	Газ	121	0,12	315	5600	1,06	1,06	1,6	Вугілля	130	0,10	325	6000	1,05	1,08	–
1	Мазут	122	0,12	316	5400	1,05	1,08	–	Вугілля	132	0,10	335	4000	1,06	1,06	1,8
2	Газ	123	0,11	317	5200	1,07	1,08	1,8	Вугілля	134	0,12	334	4200	1,07	1,07	–
3	Мазут	124	0,11	318	4200	1,07	1,06	0,6	Вугілля	136	0,11	333	4800	1,07	1,06	0,6
4	Газ	125	0,10	319	4400	1,06	1,08	1,6	Вугілля	138	0,11	332	5000	1,06	1,08	–
5	Мазут	126	0,10	320	4800	1,05	1,06	–	Вугілля	140	0,10	331	5200	1,05	1,08	2,2
6	Газ	127	0,12	315	5000	1,05	1,07	2,0	Вугілля	142	0,10	330	5400	1,06	1,06	–
7	Мазут	128	0,12	316	5200	1,06	1,08	–	Вугілля	144	0,10	329	5600	1,08	1,08	1,6
8	Газ	129	0,11	317	5800	1,07	1,06	1,8	Вугілля	146	0,12	326	5800	1,07	1,07	–
9	Мазут	130	0,11	318	6000	1,07	1,06	–	Вугілля	148	0,12	325	6000	1,08	1,08	1,4

Таблиця 1.4. Вихідні дані для вибору потужності груп електростанцій другого енерговузла

Четверта цифра залікової книжки	Тип електростанції															
	I								II							
	Вид палива	$K_{12}^{пит}$, т·грн/МВт	$P_{12}^{пост}$, в.о.	b_{12} , г/кВт·год	T_{12} , роки	$\Phi_{12}^{рез}$, в.о.	Φ_{12}^E , в.о.	P_{12}^{max} , млн кВт	Вид палива	$K_{22}^{пит}$, т·грн/МВт	$P_{22}^{пост}$, в.о.	b_{22} , г/кВт·год	T_{22} , роки	$\Phi_{22}^{рез}$, в.о.	Φ_{22}^E , в.о.	P_{22}^{max} , млн кВт
0	Газ	115	0,11	335	4000 – 4800	1,05	1,08	1,0	Вугілля	125	0,12	343	4800	1,07	1,06	–
1	Мазут	116	0,10	333	4000 – 5200	1,07	1,06	–	Вугілля	126	0,11	341	4600	1,05	1,08	1,5
2	Газ	117	0,12	331	4000 – 4400	1,06	1,07	1,2	Вугілля	127	0,10	391	5200	1,06	1,07	–
3	Мазут	118	0,12	329	4200 – 4800	1,05	1,07	–	Вугілля	128	0,10	339	4600	1,06	1,06	1,8
4	Газ	119	0,11	328	4000 – 4600	1,06	1,06	0,8	Вугілля	129	0,11	337	4800	1,05	1,06	–
5	Мазут	120	0,10	325	4000 – 5000	1,07	1,08	–	Вугілля	130	0,12	335	5200	1,07	1,08	–
6	Газ	119	0,11	327	4000 – 5200	1,05	1,06	1,4	Вугілля	129	0,11	345	4500	1,07	1,08	–
7	Мазут	118	0,12	328	4000 – 5400	1,07	1,07	1,6	Вугілля	128	0,12	343	4400	1,06	1,07	–
8	Газ	117	0,10	333	4000 – 5600	1,06	1,06	–	Вугілля	127	0,10	341	5200	1,05	1,07	2,2
9	Мазут	116	0,12	335	4000 – 6000	1,05	1,08	1,8	Вугілля	126	0,10	339	5400	1,07	1,06	–

під час передачі з вузла e у вузол j . В роботі значення коефіцієнта $\alpha_{ej}^{\pi} = 0,05$.

2. Максимально допустимі значення потужності електростанцій такі:

$$P_{rij} \leq P_{rij}^{\max}; \quad (1.10)$$

3. Наявність паливно-енергетичних ресурсів

$$\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R P_{rij} T_{rij} b_{rij} \leq B_i^{\max}. \quad (1.11)$$

Значення величин $P_j + P_j^{\text{рез}}$, P_{rij}^{\max} , B_i^{\max} слід визначити за допомогою табл. 1.3 – 1.4.

Виконуючи роботу, необхідно оптимізувати відпуск енергії однієї з електростанцій, тобто визначити для цієї станції найбільш вигідну кількість годин використання встановленої потужності T_{rij} . Але при цьому порушується лінійність цільової функції й обмежень, які передбачають річний відпуск енергії $P_{rij} T_{rij}$. Цього можна уникнути, збільшивши розмірність задачі.

Нехай кількість годин T_{rij} змінюється в межах

$$T_{rij}^{\min} \leq T_{rij} \leq T_{rij}^{\max}.$$

Установлену потужність електростанції подаємо у вигляді суми двох складових – базисної P_{rij}' і пікової P_{rij}'' :

$$P_{rij} = P_{rij}' + P_{rij}'' . \quad (1.12)$$

Будемо вважати, що потужність P_{rij}' має кількість годин використання T_{rij}^{\max} , а P_{rij}'' – кількість годин використання T_{rij}^{\min} . При цьому річний відпуск енергії електростанції записуємо у вигляді

$$P_{rij} T_{rij} = P_{rij}' T_{rij}^{\max} + P_{rij}'' T_{rij}^{\min}. \quad (1.13)$$

Нелінійність, що виникає у разі оптимізації розмірів T_{rij} , усувається в результаті підставлення формул (1.12) і (1.13) у цільову функцію (1.4) і обмеження (1.9) – (1.11). Площа заштрихованих фігур відповідає відпуску енергії електростанції (рис. 1.2).

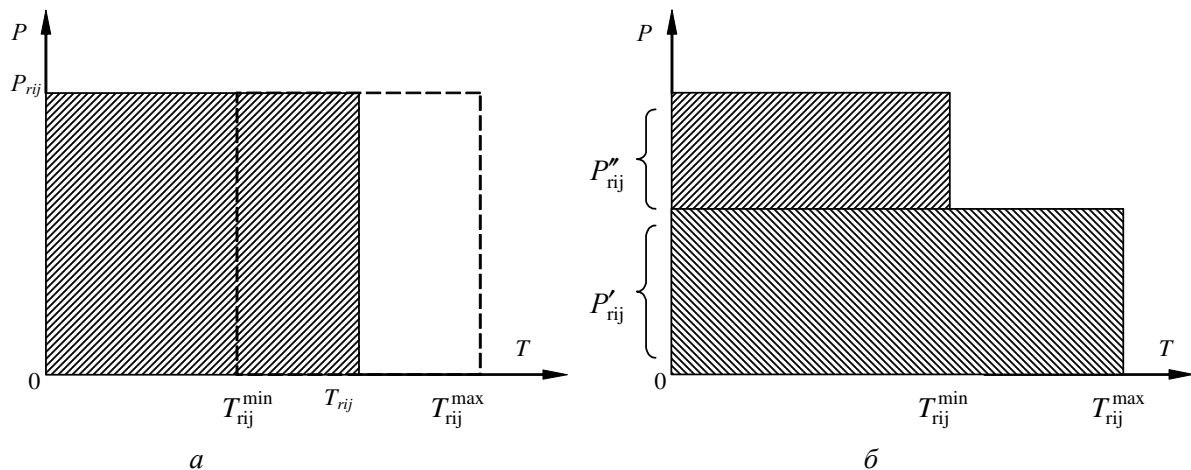


Рис. 1.2. Оптимізація річного відпуску енергії електростанцій в лінійній моделі: *a* – річний відпуск енергії електростанції; *б* – річний відпуск енергії електростанції у разі поділу її потужності на складові

1.3. Приклад побудови лінійної моделі оптимізації структури генеруючих потужностей.

Нехай необхідно записати цільову функцію й обмеження лінійної моделі оптимізації структури генеруючих потужностей енергосистеми, що складається з двох вузлів.

Енергосистему подано у вигляді узагальнених вузлів навантаження $j = 1, 2$. Вихідні дані для синтезу лінійної моделі, яка містить дані про економічні й технічні характеристики можливих типів нових електростанцій, існуючу схему енергосистеми, характеристики нових ліній електропередачі, якісні та кількісні характеристики енергоресурсів, потреби енерговузлів у потужності й енергії та інші, потрібно вибирати з табл. 1.1-1.4 відповідно до номера залікової книжки.

Узагальнені вузли навантаження, можливі електричні і паливні зв'язки у лінійній моделі розглянутої енергосистеми показано на рис. 1.1. У цьому випадку цільова функція – це витрати на спорудження й експлуатацію електростанцій

$$\Phi = \sum_{j=1} \sum_{i=1} 3_{ij} P_{ij} , \quad (1.14)$$

де 3_{ij} – питомі витрати для електростанції, що працює на i -му паливі і знаходиться в j -му вузлі; P_{ij} – потужність електростанції.

Питомі витрати на спорудження й експлуатацію електростанцій можна визначити за формулою

$$Z_{ij} = \varphi_{ij}^{pez} K_{ij}^{y0} (E_n + P_{ij}^{nocm}) + \varphi_{ij}^3 Z_{ij}^T b_{ij} T_{ij}, \quad (1.15)$$

Згідно з даними табл.1.3, відповідно до номеру залікової книжки ЕС-2435, знаходимо техніко-економічні характеристики електростанцій першого енерговузла, що працюють на першому виді палива:

$$K_{11}^{y0} = 124 \text{ т.грн./МВт}; P_{11}^{nocm} = 0,11 \text{ в.о.}; b_{11} = 318 \text{ г/кВт·год};$$

$$T_{11} = 4200 \text{ год}; \varphi_{11}^{pez} = 1,07 \text{ в.о.}; \varphi_{11}^3 = 1,06 \text{ в.о.}$$

Кінцеві витрати на паливо для заданого району спорудження електростанцій визначаємо за табл.1.1:

$$Z_{11} = 49 \text{ грн./т}$$

Підставляючи у формулу (1.15) числові значення, отримуємо:

$$Z_{11} = 1,07 \cdot 124 \cdot (0,12 + 0,11) + 1,06 \cdot 49 \cdot 318 \cdot 4200 \cdot 10^{-6} = 99,9 \text{ т.грн./МВт}$$

Аналогічно знаходимо техніко-економічні характеристики електростанції першого енерговузла, що працює на другому виді палива. Підставляємо їх значення у (1.15), одержуємо:

$$Z_{21} = 1,07 \cdot 136 \cdot (0,12 + 0,12) + 1,06 \cdot 35 \cdot 339 \cdot 4800 \cdot 10^{-6} = 95,2 \text{ т.грн./МВт}$$

Відповідно до даних табл.1.4 знаходимо техніко-економічні показники електростанцій другого енерговузла, що працюють на першому виді палива, для варіанта 5:

$$K_{12}^{y0} = 120 \text{ т.грн./МВт}; P_{12}^{nocm} = 0,1 \text{ в.о.}; b_{12} = 325 \text{ г/кВт·год};$$

$$T_{12}^{\min} = 4200 \text{ год}; T_{12}^{\max} = 5000 \text{ год}; \varphi_{12}^{pez} = 1,07 \text{ в.о.}; \varphi_{12}^3 = 1,08 \text{ в.о.}$$

Кінцеві витрати на паливо $Z_{12} = 49$ грн./т. Оскільки для електростанцій цього типу кількість годин використання встановленої потужності змінюється в межах

$$4200 \leq T_{12} \leq 5000,$$

то встановлену потужність подаємо як суму двох складових:

$$P_{12} = P'_{12} + P''_{12}$$

Будемо вважати, що потужність P'_{12} має кількість годин використання 5000, а $P''_{12} - 4200$. Річний відпуск енергії станції записуємо у вигляді

$$P_{12} T_{12} = 5000 P'_{12} + 4200 P''_{12}.$$

Питомі зведені витрати для електростанцій енерговузла, що працюють з максимальною кількістю годин використання встановленої потужності, дорівнюють:

$$Z'_{12} = 1,07 \cdot 120 \cdot (0,12 + 0,10) + 1,08 \cdot 49 \cdot 325 \cdot 5000 \cdot 10^{-6} = 114,2 \text{ т.грн./МВт}$$

а для електростанцій, що працюють з мінімальною кількістю годин використання

$$Z''_{12} = 1,07 \cdot 120 \cdot (0,12 + 0,10) + 1,08 \cdot 49 \cdot 325 \cdot 4200 \cdot 10^{-6} = 100,49 \text{ т.грн./МВт}$$

Питомі витрати для електростанцій другого енерговузла, що працюють на другому виді палива:

$$Z_{22} = 1,07 \cdot 130 \cdot (0,12 + 0,12) + 1,08 \cdot 35 \cdot 355 \cdot 5200 \cdot 10^{-6} = 99,2 \text{ т. грн./МВт}$$

Після підставлення значення Z_{ij} в (1.14) цільова функція набуде вигляду

$$\Phi = 99,9P_{11} + 94,2P_{21} + 114,2P'_{12} + 100,49P''_{12} + 99,2P_{22} .$$

Відповідно до даних табл. 1.2–1.4 задачу оптимізації розв'язуємо з урахуванням таких обмежень:

1. Умови балансу потужності у вузлах мережі;

$$P_{11} + P_{21} + P_{2-1} \cdot 0,95 - P_{1-2} = 2,4 \cdot 10^3 ;$$

$$P'_{12} + P''_{12} + P_{22} + P_{1-2} \cdot 0,95 - P_{2-1} = 2,2 \cdot 10^3$$

2. Максимально допустимі значення потужності електростанцій:

$$P_{11} \leq 0,6 \cdot 10^3 ; P_{21} \leq 0,6 \cdot 10^3 .$$

3. Наявність паливно-енергетичних ресурсів

$$P_{11} b_{11} T_{11} + P'_{12} b_{12} T_{12}^{\max} + P''_{12} b_{12} T_{12}^{\min} \leq B_1^{\max} .$$

Після підставлення числових значень це обмеження набуває вигляду

$$1,3P_{11} + 1,6P'_{12} + 1,3P''_{12} \leq 3200$$

Таким чином, задачу оптимізації структури генеруючих потужностей аналізованої енергосистеми можна подати як задачу визначення мінімуму функції

$$\Phi = 99,9P_{11} + 94,2P_{21} + 114,2P'_{12} + 100,49P''_{12} + 99,2P_{22}$$

за наявності обмежень у вигляді рівнянь і нерівностей

$$P_{11} + P_{21} + P_{2-1} \cdot 0,95 - P_{1-2} = 2400 ;$$

$$P'_{12} + P''_{12} + P_{22} + P_{1-2} \cdot 0,95 - P_{2-1} = 2200 ;$$

$$P_{11} \leq 600 ;$$

$$P_{12} \leq 600 ;$$

$$1,3P_{11} + 1,6P'_{12} + 1,3P''_{12} \leq 3200$$

2. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ЕНЕРГОСИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ СИМПЛЕКС-МЕТОДУ

2.1. Загальні положення

Для розв'язання задачі оптимізації розвитку генеруючих потужностей енергосистем, лінійна модель яких містить невелику кількість обмежень рівнянь і більшу частину обмежень нерівностей, доцільно застосовувати модифікацію симплекс-методу, запропоновану в роботі [5]. Використання цієї модифікації для розміщення і вибору потужності електростанцій розглянуто в роботі [2]. Застосовуючи модифікований симплекс-метод, задачу лінійного програмування (1.1) – (1.3) зручно записати у вигляді таблиці (табл. 2.1). При цьому обмеження-рівняння записують таким чином, щоб їх вільні члени були позитивні.

Таблиця 2.1. Симплекс-таблиця

	$-x_1$	$-x_2$	...	$-x_j$	...	$-x_n$	1
y_{01}	$-a_{11}$	$-a_{12}$	...	$-a_{1j}$	...	$-a_{1n}$	b_1
y_{02}	$-a_{21}$	$-a_{22}$	...	$-a_{2j}$	...	$-a_{2n}$	b_2
.....
y_i	$-a_{i1}$	$-a_{i2}$	...	$-a_{ij}$	...	$-a_{in}$	b_i
...
y_m	$-a_{m1}$	$-a_{m2}$	...	$-a_{mj}$	...	$-a_{mn}$	b_m
F	$-q_1$	$-q_2$	...	$-q_j$	...	$-q_n$	C

Алгоритм симплекс-методу поділяють на два етапи:

- 1) знаходження опорного плану, тобто плану, що належить одній з вершин багатогранника обмежень;
- 2) знаходження оптимального плану.

Для пошуку як опорного, так і оптимального планів організують багатокроковий обчислювальний процес, на кожному кроці якого здійснюють заміну однієї змінної базису вигляду x_j позабазисною змінною вигляду y_j . Опорний і оптимальний плани належать вершинам багатогранника обмежень, у кожній з яких перетворюються в нуль $n - r$ змінних. Якщо ці змінні розглядати як базис перетвореного простору, то це значить, що і в опорному, і в оптимальному планах усі змінні базису дорівнюють нулю. Тому процес пошуку починаємо з точки початку координат, у якому всі змінні базису дорівнюють нулю. Уведення змінної в базис означає, що на наступному кроці їй буде привласнено нульове значення. При цьому змінна, що вилучається з базису, набуває, як правило, ненульового значення.

Уведення в базис однієї змінної і виведення іншої потребує перерахунку коефіцієнтів системи обмежень і лінійної форми. Такий перерахунок називають кроком жорданового виключення.

Уведемо такі визначення. Стовпець, що містить змінну вигляду x_j , яка виводиться з базису, називають розв'язувальним стовпцем. Розв'язувальним рядком називають рядок, що відповідає змінній вигляду y_j , яка вводиться у базис. Елемент, що лежить на перетині розв'язувальних рядка і стовпця, називають розв'язувальним елементом.

Сформулюємо правила виконання кроку жорданового виключення [2, 5].

1. Коефіцієнти системи обмежень і лінійної форми, що не належать розв'язувальним рядку і стовпцю, розраховують за формулою

$$a'_{rs} = a_{rs} - \frac{a_{rj}a_{is}}{a_{ij}}, \quad (2.1)$$

де a_{rs} – попереднє значення коефіцієнта; a_{ij} – розв'язувальний елемент.

2. Розв'язувальний елемент заміняють одиницею.

3. Елементи розв'язувального рядка залишаються без зміни.

4. Елементи розв'язувального стовпця, крім самого розв'язувального елемента, змінюють знаки.

5. Елементи розв'язувальних рядка і стовпця ділять на попереднє значення розв'язувального елемента $-a_{ij}$.

Розглянемо етап знаходження опорного плану, що, як було показано, відповідає одній з вершин багатогранника обмежень. Початковим планом, тобто точкою початку пошуку, вважатимемо початок координат:

$$x_1 = x_2 = \dots x_j = \dots = x_n = 0.$$

На кожному кроці процесу пошуку будемо вводити в базис змінну y_i і виводити з базису змінну x_j . Це означає, що змінній y_i на наступному кроці присвоюється нульове значення. При цьому значення x_j , як правило, зростає. Обмеження типу рівнянь мають обов'язково виконуватися як в опорному, так і в оптимальному плані. Тому передусім у базис доцільно ввести змінні, що відповідають даному виду обмежень. Із цією метою розв'язувальним вибираємо стовпець j , що містить позитивний коефіцієнт в обмеженні-рівності. Розв'язувальний рядок визначаємо з умови

$$\frac{b_i}{-a_{ij}} = \min \left\{ \frac{b_s}{-a_{sj}} \mid b_s \geq 0, -a_{sj} > 0, s = 1, 2, \dots, m \right\}, \quad (2.2)$$

де вираз у правій частині потребує визначення мінімуму за умов $b_s \geq 0, -a_{sj} > 0, s = 1, 2, \dots, m$. Вибір обмежень з позитивними вільними членами обумовлений прагненням передусім вивести зі складу позабазисних змінних ті змінні, що відповідають обмеженням типу рівностей, оскільки в

цьому випадку y_{i0} фіксується на нульовому значенні й у базис не включається. При цьому розмірність області розв'язання зменшується на одиницю.

Однакові знаки вільних членів b_s та коефіцієнтів $-a_{sj}$ і мінімальність відношення $\frac{b_s}{-a_{sj}}$ забезпечують рух в допустимій області. Дійсно, з виразу

$$x_1 = x_2 = \dots x_j = \dots = x_n = 0$$

випливає, що

$$y_i = (-a_{ij})(-x_j) + b_i.$$

Оскільки на наступному кроці y_j дорівнює нулю, то з виразу також випливає, що виконання умови $x_j \geq 0$ забезпечується однаковими знаками b_i і $-a_{ji}$. Якби розв'язувальним був обраний не рядок i , а будь-який інший рядок ξ , для якого b_ξ і $-a_{\xi j}$ також більше нуля, то це призвело б до порушення умови $y_i \geq 0$. Справді, x_j на такому кроці дорівнювала б $\frac{b_\xi}{-a_{\xi j}}$, а

$$y_i = (-a_{ij})\frac{b_\xi}{-a_{\xi j}} + b_i. \text{ Оскільки } \frac{b_i}{-a_{ij}} \leq \frac{b_\xi}{-a_{\xi j}}, \text{ то } y_i \leq 0.$$

Візьмемо за розв'язувальні j -й стовпець та i -й рядок і виконаємо крок жорданового виключення. Далі знову вибираємо розв'язувальні стовпчик та рядок і виконуємо крок жорданового виключення і т. д. Ці операції виконуємо доти, доки в базис не будуть уведені всі змінні вигляду y_{i0} .

Якщо зі складу позабазисних змінних виключені змінні, що відповідають обмеженням типу рівностей, а в r -му обмеженні є негативний вільний член, то це означає, що в одержаному плані порушено r -е обмеження-нерівність. У цьому випадку розв'язувальним стовпцем вибираємо стовпець j , що включає негативний коефіцієнт r -го рядка. При цьому розв'язувальний рядок вибираємо з умови

$$\frac{b_i}{-a_{ij}} = \max\left\{\frac{b_s}{-a_{sj}} \mid b_s < 0, -a_{sj} < 0, s = 1, 2, \dots, m\right\}. \quad (2.3)$$

Якщо $b_s \leq 0$, то рух у бік допустимої області забезпечується вибором максимуму відношення $\frac{b_s}{-a_{sj}}$.

Послідовну заміну змінних базису продовжуємо доти, доки не буде знайдено опорний план. В опорному плані зі складу позабазисних змінних мають бути виключені всі змінні вигляду y_{i0} , а вільні члени всіх нерівностей повинні бути позитивні.

На другому етапі симплекс-методу організується пошук оптимального плану. Якщо всі коефіцієнти останнього рядка симплекс-таблиці (див. рис. 2.1) позитивні, то оптимальний план знайдено. Дійсно, якщо всі коефіцієнти – $q_j > 0$, то зі збільшенням будь-якої змінної x_j цільова функція буде зменшуватися. Якщо є хоча б один негативний коефіцієнт, то пошук оптимального розв’язку здійснюємо послідовним виконанням кроків жорданового виключення. При цьому розв’язувальним стовпцем вибираємо стовпець j , який включає негативний коефіцієнт r -го рядка. Розв’язувальний рядок вибираємо з умови (2.2).

Записуємо алгоритм розв’язання задачі лінійного програмування (1.1) – (1.3) за допомогою симплекс-методу [2, 5].

1. Записуємо задачу лінійного програмування у вигляді таблиці. Як початковий план беремо початок координат.

2. Переглядаємо рядок таблиці, що відповідає будь-якому обмеженню-рівності (нуль-рядок) і вибираємо довільний позитивний коефіцієнт. Якщо в нуль-рядках такий коефіцієнт не знайдено, то вибираємо його в будь-якому іншому рядку. Стовпець j назвемо розв’язувальним. З умови

$$\frac{b_i}{-a_{ij}} = \min \left\{ \frac{b_s}{-a_{sj}} \mid b_s \geq 0, -a_{sj} > 0, s = 1, 2, \dots, m \right\}$$

визначаємо розв’язувальний рядок.

3. Вважаючи коефіцієнт $-a_{sj}$ розв’язувальним елементом, виконуємо крок жорданового виключення. Симплекс-таблиця після перетворення має вигляд табл. 2.2. У правому верхньому куті таблиці показано номер кроку оптимізації, змінні базису

$$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$$

дорівнюють нулю, позабазисні змінні

$$y_1, y_2, \dots, x_j, \dots, y_m$$

дорівнюють вільним членам, а елемент у правому нижньому куті показує значення лінійної форми.

Таблиця 2.2. Симплекс-таблиця після перетворення

	$-x_1$	$-x_2$	...	$-y_i$	...	$-x_n$	1
$-y_{10}$	$-a_{11}$	$-a_{12}$	...	$-a_{1j}$	...	$-a_{1n}$	b_1
$-y_{20}$	$-a_{21}$	$-a_{22}$	...	$-a_{2j}$	...	$-a_{2n}$	b_2
...
$-x_j$	$-a_{i1}$	$-a_{i2}$	...	$-a_{ij}$	...	$-a_{in}$	b_n
...
$-y_m$	$-a_{m1}$	$-a_{m2}$	...	$-a_{mj}$	...	$-a_{mn}$	
F	$-q_1$	$-q_2$	...	$-q_j$	...	$-q_n$	C^1

4. Якщо виключено всі змінні вигляду y_{i0} , то переходимо до п. 5 алгоритму. Якщо ні, то переходимо до п. 2.

5. Якщо всі вільні члени позитивні, то опорний план знайдено і переходимо до п. 9 алгоритму. Якщо є хоча б один від'ємний вільний член, то переходимо до п. 6.

6. Переглядаємо рядок r , що відповідає від'ємному вільному члену b_r . Якщо в r -му рядку є хоча б один від'ємний коефіцієнт вигляду $-a_{rj}$, то переходимо до п. 7 алгоритму. Якщо немає, то система обмежень є несумісною, тобто немає жодного опорного плану.

7. Вибираємо розв'язувальним стовпець j від'ємного коефіцієнта. Розв'язувальний рядок визначаємо з умови

$$\frac{b_i}{-a_{ij}} = \max \left\{ \frac{b_s}{-a_{sj}} \mid b_s < 0, -a_{sj} < 0, s = 1, 2, \dots, m \right\}.$$

8. Беремо за розв'язувальний елемент коефіцієнт $-a_{ij}$ і виконуємо крок жорданового виключення. Переходимо до п. 5 алгоритму.

9. Переглядаємо рядок цільової функції. Якщо всі коефіцієнти рядка $-q_j$ позитивні, то оптимальний план знайдено. Переходимо до п. 12 алгоритму. Якщо є від'ємний коефіцієнт, то переходимо до п. 10.

10. Беремо за розв'язувальний стовпець j від'ємного коефіцієнта $-q_j$. Розв'язувальний рядок вибираємо з умови

$$\frac{b_i}{-a_{ij}} = \min \left\{ \frac{b_s}{-a_{sj}} \mid b_s \geq 0, -a_{sj} > 0, s = 1, 2, \dots, m \right\}.$$

11. Беремо за розв'язувальний елемент коефіцієнт $-a_{ij}$ і виконуємо крок жорданового виключення. Переходимо до п. 9 алгоритму.

12. Кінець.

2.2 Приклад оптимізації структури генеруючих потужностей

У прикладі, що був розглянутий у розділі 1.3, задачу оптимізації структури генеруючих потужностей енергосистеми, що складається з двох вузлів, представлено як задачу визначення мінімуму функції

$$\Phi = 99,9P_{11} + 94,2P_{21} + 114,2P'_{12} + 100,49P''_{12} + 99,2P_{22}$$

при наявності обмежень у формі рівнянь

$$\begin{aligned} P_{11} + P_{21} + 0,95P_{2-1} - P_{1-2} &= 2400 ; \\ P'_{12} + P''_{12} + P_{22} + 0,95P_{1-2} - P_{2-1} &= 2200 \end{aligned}$$

і нерівностей

$$-P_{11} \geq 600 ;$$

$$-P_{21} \geq 600;$$

$$-1.3P_{11} - 1.6P'_{12} - 1.4P''_{12} \geq 3200$$

Уведемо позначення $X_1 = P_{11}$, $X_2 = P_{21}$, $X_3 = P'_{12}$, $X_4 = P''_{12}$, $X_5 = P_{22}$,
 $X_6 = P_{1-2}$, $X_7 = P_{2-1}$

У лінійному програмуванні задачу максимізації можна зводити до задачі мінімізації (і навпаки), якщо одночасно зі змінюванням “знака оптимізації” змінити знаки перед коефіцієнтами цільової функції. Мінімізація Φ еквівалентна максимізації функції $F' = -\Phi$.

Таким чином, задачу оптимізації структури генерувальних потужностей аналізованої системи з урахуванням уведених позначень можна записати як задачу визначення максимуму функції

$$F = -99,9X_1 - 94,2X_2 - 114,2X_3 - 100,5X_4 - 99,2X_5$$

при наявності обмежень у виді рівнянь та нерівностей

$$y_{10} = -X_1 - X_2 - 0.95X_7 + X_6 + 2400 = 0;$$

$$y_{20} = -X_3 - X_4 - X_5 - 0.95X_6 + X_7 + 2200 = 0;$$

$$y_3 = -X_1 + 600 \geq 0;$$

$$y_4 = -X_2 + 600 \geq 0;$$

$$y_5 = -1.3X_1 - 1.6X_3 - 1.3X_4 + 3200 \geq 0.$$

Отриману задачу лінійного програмування записуємо в табл.2.3.

Таблиця 2.3. Симплекс-таблиця на першому кроці

	$-X_1$	$-X_2$	$-X_3$	$-X_4$	$-X_5$	$-X_6$	$-X_7$	1
y_{10}	1	1	0	0	0	-1	0,95	2400
y_{20}	0	0	1	1	1	0,95	-1	2200
y_3	1	0	0	0	0	0	0	600
y_4	0	1	0	0	0	0	0	600
y_5	1,3	0	1,6	1,3	0	0	0	3200
F	99,9	94,2	114,2	100,5	99,2	0	0	0

Вибираємо розв'язувальним стовпцем стовпець 7, що містить позитивний коефіцієнт $-a_{17} = 0.95$ з першого нуль-рядка. Розв'язуючим є рядок 1, тому що інші рядки не містять позитивних коефіцієнтів. Таким чином, в базис вводимо y_1 , а виводимо x_7 . Виконуємо крок жорданового виключення. Розв'язувальний елемент замінюємо одиницею, елементи розв'язувального рядка, залишаємо без зміни, а елементи стовпця 7 змінюють свої знаки. Елементи розв'язувальних рядка і стовпця діляться на старе значення розв'язувального елемента $-a_{17} = 0.95$. Коефіцієнти, що не належать розв'язувальним рядку і стовпцю, розраховуємо за формулою (2.1)

$$a'_{21} = 0 - \frac{(-1) \cdot 1}{-0.95} = 1.05 ; \quad a'_{22} = 0 - \frac{(-1) \cdot 1}{-0.95} = 1.05 ;$$

$$a'_{26} = -0.95 - \frac{1 \cdot 1}{-0.95} = 0.1 ; \quad b_2 = 2200 - \frac{2400 \cdot 1}{-0.95} = 4726.32 .$$

Інші коефіцієнти залишаються без зміни.

Результати виконання кроку жорданового виключення записуємо в табл.2.4.

Таблиця 2.4. Симплекс-таблиця на другому кроці

	$-X_1$	$-X_2$	$-X_3$	$-X_4$	$-X_5$	$-X_6$	$-y_{10}$	2
X_7	1,05	1,05	0	0	0	-1,05	–	2526,32
y_{20}	1,05	1,05	1	1	1	-0,1	–	4726,32
y_3	1	0	0	0	0	0	–	600
y_4	0	1	0	0	0	0	–	600
y_5	1,3	0	1,6	1,3	0	0	–	3200
F	99,9	94,2	114,2	100,5	99,2	0	–	0

Вибираємо розв'язувальним стовпець 5, що містить позитивний коефіцієнт $-a_{25} = 1$ першого нуль-рядка. Всі елементи стовпця, крім a_{25} , дорівнюють нулю, тому розв'язувальним рядком вибираємо рядок 2 і виконуємо крок жорданового виключення. Результати зводимо в табл.2.5.

Таблиця 2.5. Симплекс-таблиця на третьому кроці

	$-X_1$	$-X_2$	$-X_3$	$-X_4$	$-y_{20}$	$-X_6$	$-y_{10}$	3
X_7	1,05	1,05	0	0	–	-1,05	–	2526,32
X_5	1,05	1,05	1	1	–	-0,1	–	4726,32
y_3	1	0	0	0	–	0	–	600
y_4	0	1	0	0	–	0	–	600
y_5	1,3	0	1,6	1,3	–	0	–	3200
F	-4,52	-10,22	15,0	1,3	–	9,92	–	-468850,94

В одержаному плані вилучено всі змінні, що відповідають обмеженням-рівнянням, усі вільні члени позитивні. Це значить, що опорний план знайдено і можна переходити до знаходження оптимального плану.

Рядок лінійної форми містить від'ємний коефіцієнт $-q_1 = -4.52$. Тому як розв'язувальний беремо стовпець 1. Розв'язувальний рядок вибираємо з умови

$$\frac{b_i}{-a_{i1}} = \min \left\{ \frac{2526.32}{1.05}, \frac{4726.32}{1.05}, \frac{600}{1}, \frac{3200}{1.3} \right\} = \frac{600}{1} = \frac{b_3}{-a_{31}} .$$

Таким чином, розв'язувальним елементом є $-a_{31}$. Виконуємо крок жорданового виключення. Результати обчислень зводимо в табл.2.6.

Таблиця 2.6. Симплекс-таблиця на четвертому кроці

	$-y_3$	$-X_2$	$-X_3$	$-X_4$	$-y_{20}$	$-X_6$	$-y_{10}$	4
X_7	-1,05	1,05	0	0	-	-1,05	-	1894,74
X_5	-1,05	1,05	1	1	-	-0,1	-	4094,74
X_1	1	0	0	0	-	0	-	600
y_4	0	1	0	0	-	0	-	600
y_5	-1,3	0	1,6	1,3	-	0	-	2420
F	4,52	-10,22	15,0	1,3	-	9,92	-	-466294,94

Рядок лінійної форми містить від'ємний коефіцієнт $-q_2 = -10.22$. Тому як розв'язувальний беремо стовпець 2. Розв'язувальний рядок вибираємо з умови

$$\frac{b_i}{-a_{i2}} = \min \left\{ \frac{1894.74}{1.05}, \frac{4096.32}{1.05}, \frac{600}{1} \right\} = \frac{600}{1} = \frac{b_4}{-a_{42}}.$$

Таким чином, розв'язувальним елементом є $-a_{42}$. Виконуємо крок жорданового виключення. Результати обчислень зводимо в табл.2.7.

Таблиця 2.7. Симплекс-таблиця на п'ятому кроці

	$-y_3$	$-y_4$	$-X_3$	$-X_4$	$-y_{20}$	$-X_6$	$-y_{10}$	5
X_7	-1,05	-1,05	0	0	-	-1,05	-	1263,16
X_5	-1,05	-1,05	1	1	-	-0,1	-	3463,16
X_1	1	0	0	0	-	0	-	600
X_2	0	-1	0	0	-	0	-	600
y_5	-1,3	0	1,6	1,3	-	0	-	2420
F	4,52	10,22	15,0	1,3	-	9,92	-	460005,88

Отриманий розв'язок є оптимальним планом, тому що всі коефіцієнти лінійної форми позитивні.

В оптимальному плані $X_1 = X_2 = 600$; $X_5 = 3463.16$; $X_7 = 1263.16$; $X_3 = X_4 = X_6 = 0$; $y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = 0$; $y_5 = 2420$; $F = -460005.88$.

Оптимальні потужності груп електростанцій першого енерговузла становлять $P_{11} = 600$ МВт; $P_{21} = 600$ МВт.

Потужності груп електростанцій другого енерговузла складають

$$P_{12} = P'_{12} + P''_{12} = 0 ; P_{22} = 3463.16 \text{ МВт.}$$

Перетік потужності між енерговузлами $P_{2-1} = 1263.16$ МВт.

Річна витрата мазуту при оптимальних потужностях груп електростанцій енерговузлів

$$B_1 = P_{11} b_{11} T_{11} = 600 \cdot 318 \cdot 4200 \cdot 10^{-6} = 801.36 \text{ тис. т.}$$

Річна витрата кам'яного вугілля

$$B_2 = P_{21} b_{21} T_{21} + P_{22} b_{22} T_{22} = 600 \cdot 339 \cdot 4800 \cdot 10^{-6} + 3463.16 \cdot 335 \cdot 5200 \cdot 10^{-6} = 976.32 + 6031.82 = 7009.14 \text{ тис. т.}$$

Потужність що споживається в першому енерговузлі

$$P_1 + P_1^{pez} = P_{11} + P_{21} + 0.95 \cdot P_{2-1} - P_{1-2} = 600 + 600 + 0.95 \cdot 1263.16 = 2400 \text{ МВт,}$$

а потужність другого енерговузла

$$P_2 + P_2^{pez} = P_{12} + P_{22} + 0.95 \cdot P_{1-2} - P_{2-1} = 3463.16 - 1263.16 = 2200 \text{ МВт,}$$

Обсяг капіталовкладень, необхідних для введення нових генерувальних потужностей

$$K = K_{11}^{ПИТ} P_{11} + K_{21}^{ПИТ} P_{21} + K_{12}^{ПИТ} P_{12} + K_{22}^{ПИТ} P_{22} = 124 \cdot 600 + 136 \cdot 600 + 130 \cdot 3463.16 = 606210.8 \text{ тис. грн.}$$

На рис.2.3 показано перетікання потужностей та палива по електричних і паливних зв'язках розглянутої енергосистеми в оптимальному режимі.

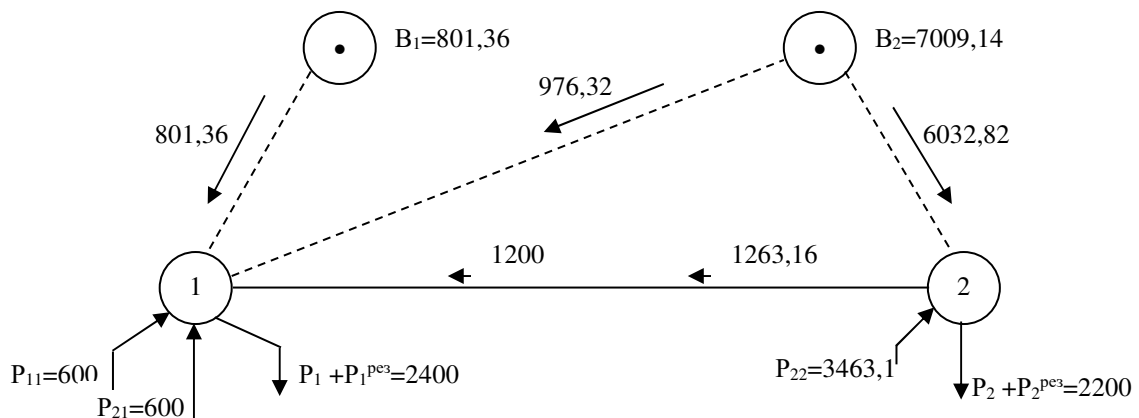


Рис.2.3. Результати оптимізації структури потужностей генеруючої енергосистеми.

Витрати на спорудження й експлуатацію електростанцій

$$\Phi = -F = 3_{11} P_{11} + 3_{21} P_{21} + 3'_{12} P'_{12} + 3''_{12} P''_{12} + 3_{22} P_{22} = 99,9 \cdot 600 + 94,2 \cdot 600 + 99,2 \cdot 3463,16 = 460005,88 \text{ тис. грн.}$$

Зразок титульного аркуша

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Кафедра електричних мереж і систем

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА
з дисципліни «Моделі оптимального розвитку енергосистем»

Керівник В. А. Баженов

Допущений до захисту
_____ “_____” 200_р.

Варіант № 2435

Захищена з оцінкою

Виконав _____
прізвище, ім'я, по батькові

Група ЕС–91
Залікова книжка № ЕС-2435

Київ, 2022

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Баженов В.А. Моделі оптимального розвитку енергосистем. Методичні вказівки до вивчення дисципліни для студентів спец. 7.090602 «Електричні системи та мережі», 7.090615 «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії» усіх форм навчання К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 40 с.
2. Баженов В.А. Паненко О.М., Янковська О.М. Моделі оптимального розвитку енергосистем : Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 78 с.
3. Баженов В.А. Янковська О.М. Моделі оптимального розвитку енергосистем Оптимізація структури генерувальних потужностей. Навчальний посібник. Практикум: Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 22 с.
4. Баженов В.А. Паненко О.М., Янковська О.М. Моделі оптимального розвитку енергосистем: Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни “Моделі оптимального розвитку енергосистем” для студентів всіх форм навчання та студентів іноземців спеціальності “Електричні системи та мережі”. К.: НТУУ”КПІ” (електронне видання), 2012. – 77 с.
5. Баженов В.А., Гижа В.А. Янковська О.М. Методи оптимізації режимів енергосистем: Метод. вказівки до викон. курсової роботи для студентів усіх форм навчання та студ.-іноземців спец. «Електричні системи і мережі». К.: НТУУ”КПІ” (електронне видання), 2013. – 28 с.
6. Баженов В.А., Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И. Оптимизация режимов электрических сетей. – Киев: Наукова думка, 1992. 216 с.
7. Модели оптимального развития энергосистем /В.А.Баженов. Учеб.пособие -Киев:КПИ,1984 -100с.
8. Баженов В.А. Використання методів лінійного програмування для оптимізації розвитку електричних сучасних енергосистем. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 2, с.93-97.
9. Баженов В.А. Використання методу гілок і границь для оптимізації розвитку електричних мереж сучасних енергосистем. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 6 (158), с.71-78. -(фахове видання).

Додаткова:

10. Галузевий стандарт вищої освіти України. Освітньо-кваліфікаційна характеристика. Бакалавр. Галузь знань 0507 «Електротехніка та електромеханіка». Напрямок підготовки 6.050701

Електротехніка та електротехнології / Баженов В.А., Бардик Є. І., Безбереж'єв Ю.В. та інші Затверджений наказом Міністерства освіти та науки України № 1308 від 12 листопада 2014.-47с.

10. Модели оптимизации развития энергосистем: Учебн. для электроэнергет. спец. вузов/ Д.А.Арзамасцев, А.В.Липес, А.Л.Мизин /Под ред. Д.А.Арзамасцева. -М.: Высш. школа., 1987. -272с.

11. Волькенау И.М., Зейлигер А.Н., Хабачев Л.Д. Экономика формирования электроэнергетических систем. - М.: Энергия,1981.-320с.

12. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики: Учебное пособие. -М.: Высш.школа.1982. -316с.