

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ MANEUVER-NEW ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

О.В. Фесюк¹, П.І. Стецюк², О.Ф. Буткевич³,
^{1,2} Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
sasha.fesyuk@gmail.com,

³ Інститут електродинаміки НАН України,
butkevych@ied.org.ua.

Проблеми сучасної електротехніки – 2018,
4-8 червня, Київ

Вступ

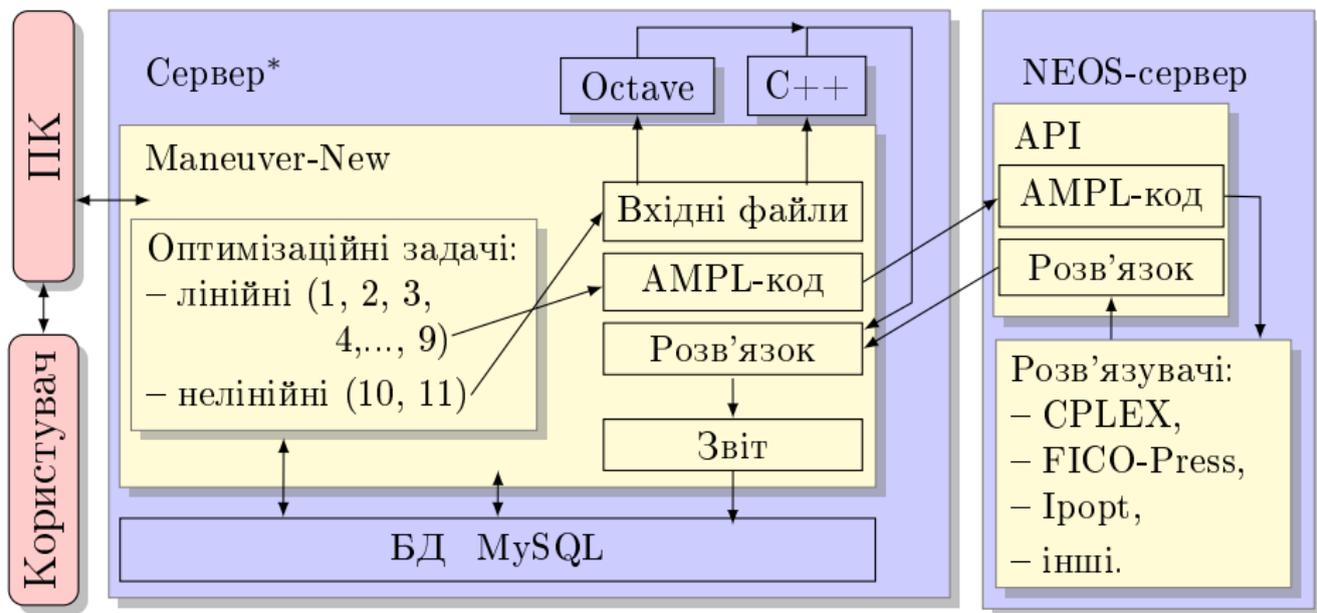
① Актуальність проблеми підтверджується роботами:

1. Tseng C. L., Li C.A., Oren S.S. Solving the Unit Commitment Problem by a Unit Decommitment Method // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2000. – vol. 105, No 3. pp 707–730.
2. Chiang C. Improved genetic algorithm for power economic dispatch of units with valve-point effects and multiple fuels. // IEEE Transactions on Power Systems. – 2005. – vol. 20(4), pp 1690-1699.
3. Jafari S., Abdolmohammadi H.R., Nazari M.E., Shayanfar H.A. A new approach for global optimization in high dimension problems // 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. – 2008.
4. Yuan X., Wang L., Zhang Y., Yuan Y. A hybrid differential evolution method for dynamic economic dispatch with valve-point effects // Expert Systems with Applications. – 2009. – vol. 36, – pp 4042–4048.
5. Morales-España G., Gentile C., Ramos A. Tight MIP formulations of the power-based unit commitment problem // OR Spectrum. – 2015. – vol. 37, pp 929–950.

Мета роботи та особливості UC- і ED-задач

Створення програмної системи Maneuver-New для розв'язання оптимізаційних задач, зокрема Unit Commitment Problem (UC-задач) та Economic Dispatch Problem (ED-задач) диспетчерського керування електроенергетичними системами, здатної оперативно знаходити оптимальні розв'язки.

Блок-схема функціонування системи Maneuver-New



* Вимоги: Ubuntu 14.04, Apache, MySQL, PHP5, Octave 4.2.1.

Лінійні оптимізаційні задачі №1, №2,...,№9

Мінімізуються:

- вартість вироблення електроенергії;
- зміни потужності енергоблоків.

Враховуються:

- граничні межі навантаження енергоблоку;
- допустима зміна потужності енергоблоку;
- можливість вмикання/вимикання енергоблоку;
- використання електротермічних споживачів регуляторів;
- екологічні обмеження.

Нелінійні оптимізаційні задачі №10, №11

Точніше моделюють:

- витрати на вироблення електроенергії.

Мінімізується:

- вартість вироблення електроенергії.

Враховуються:

- граничні межі навантаження енергоблоку;
- допустима зміна потужності енергоблоку.

Оптимізаційна задача №4

Це задача з поділом енергоблоків з множини N на дві підмножини N_1 і N_2 з вимкненням енергоблоків та без.

Математична модель. Знайти:

$$f_{opt} = \min \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} c_i x_{i,t} \quad (1)$$

- x – невідоме навантаження енергоблоку,
- c – витрати умовного палива,
- T – кількість періодів в плановому навантаженні,

при обмеженнях

$$\sum_{i \in N} x_{i,t} = E_t, \quad t \in T, \quad (2)$$

- E – потужність планового навантаження енергосистеми,

$$O_i^{low} \leq \sum_{t \in T} y_{i,t} \leq O_i^{up}, \quad i \in N_1, \quad y_{i,t} \in \{0; 1\}, \quad (3)$$

- y – булева змінна, 0 – енергоблок вимкнений, 1 – увімкнений,
- обмеження (3) задає мінімальну та максимальну кількість періодів роботи енергоблоку,

$$p_i^{low} y_{i,t} \leq x_{i,t} \leq p_i^{up} y_{i,t}, \quad i \in N_1, \quad t \in T, \quad y_{i,t} \in \{0; 1\}, \quad (4)$$

$$p_i^{low} \leq x_{i,t} \leq p_i^{up}, \quad i \in N_2, \quad t \in T, \quad (5)$$

- обмеження (4) і (5) задають допустимі межі роботи енергоблоків,

$$\sum_{t \in T \setminus \max\{T\}} |x_{i,t+1} - x_{i,t}| \leq \Delta_i, \quad i \in N_2, \quad (6)$$

- обмеження на сумарну допустиму зміну потужності енергоблоку.

Оптимізаційні задачі №10 і №11

№10. Опукла функція витрат

$$f^1(x) = \min \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} (a_i + b_i x_{i,t} + c_i x_{i,t}^2),$$

№11. Неопукла функція

$$f^2(x) = f^1(x) + \min \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} (|e_i \times \sin(h_i \times (p_i^{\min} - x_{i,t}))|),$$

обмеження класичні:

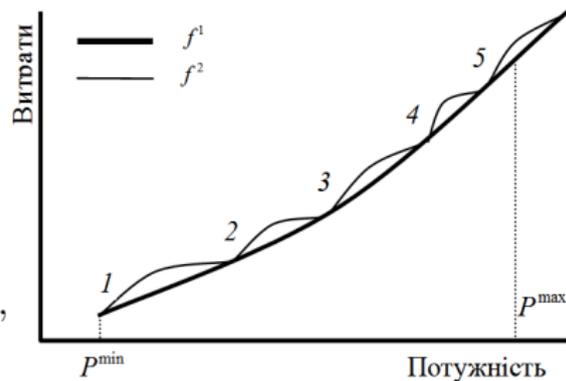
$$\sum_{i \in N} x_{i,t} = E_t, \quad t \in T,$$

$$p_i^{\text{low}} \leq x_{i,t} \leq p_i^{\text{up}}, \quad i \in N, \quad t \in T,$$

обмеження на переходи:

$$x_{i,t} - x_{i,t-1} \leq UR_i, \quad i \in N, \quad t \in T \setminus \min\{T\},$$

$$x_{i,t-1} - x_{i,t} \leq DR_i, \quad i \in N, \quad t \in T \setminus \min\{T\}.$$



Загальний алгоритм роботи системи (1/4)

Здійснюється вибір енергоблоків*

<input type="checkbox"/>	Блок	P _{max}	P _{min}	P _{opt}	Частота	У.О.	споживання палива	Стан	Примітка
<input type="checkbox"/>	ВАТ "Дніпроенерго" Станцій: 3 Максимальна доступна потужність: 7103 МВт								
<input checked="" type="checkbox"/>	Запорізька ТЕС Блоків: 6 Максимальна доступна потужність: 2800 МВт								
<input checked="" type="checkbox"/>	ЗаТЕС №1	300	240	270	0.2	362.5	1	в роботі	
<input type="checkbox"/>	ЗаТЕС №2	300	240	270	0.2	362.5	1	в роботі	
<input checked="" type="checkbox"/>	ЗаТЕС №3	300	240	270	0.2	362.5	1	в роботі	
<input checked="" type="checkbox"/>	ЗаТЕС №4	300	240	270	0.2	362.5	1	в роботі	
<input checked="" type="checkbox"/>	ЗаТЕС №5	800	640	720	0.2	362.5	1	в роботі	
<input checked="" type="checkbox"/>	ЗаТЕС №7	800	640	720	0.2	362.5	1	в роботі	
<input checked="" type="checkbox"/>	Криворізька ТЕС Блоків: 9 Максимальна доступна потужність: 2538 МВт								
<input checked="" type="checkbox"/>	Придніпровська ТЕС Блоків: 8 Максимальна доступна потужність: 1765 МВт								
<input checked="" type="checkbox"/>	ВАТ "Західенерго" Станцій: 3 Максимальна доступна потужність: 4621 МВт								
<input checked="" type="checkbox"/>	Бурштинська ТЕС Блоків: 12 Максимальна доступна потужність: 2321 МВт								

* Вхідні дані містяться в БД системи (плановий графік споживання електроенергії, інформація про енергоблоки, інше)

Загальний алгоритм роботи системи (2/4)

Вибираються дискретизація планового добового навантаження, математична модель задачі, спосіб розв'язання

24 (погодинний) ▾

Задача ЦЛП ▾

AMPL/NEOS-server

Опукла задача ▾

Local | C++ | ralgb5

Опукла задача ▾

Local | Octave | ralgb5

Загальний алгоритм роботи системи (3/4)

Автоматично формується AMPL-код задачі

```
param N > 0;
param T > 0;
param c{i in 1..N} >= 0;
param E{1..T} > 0;
param K > 0;
param A{k in 1..K} >= 0;
param a{i in 1..N,k in 1..K} >= 0;
param p_low{i in 1..N};
param p_up{i in 1..N};
param o_low{i in 1..N};
param o_up{i in 1..N};
var x{i in 1..N, t in 1..T};
var y{i in 1..N, t in 1..T} binary;
minimize Cost:
  sum {i in 1..N,t in 1..T} c[i]*x[i,t];

subject to ecology {k in 1..K}:
  sum {i in 1..N, t in 1..T} a[i,k]*x[i,t] <= A[k];

subject to Demand {t in 1..T}:
  sum {i in 1..N} x[i,t] = E[t];

subject to Power1 {i in 1..N,t in 1..T}:
```

Відправити на розв'язання програмою

milp/Gurobi

Загальний алгоритм роботи системи (4/4)

Розв'язується задача та отримується її розв'язок

ID Блоку Година	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	150	150	150
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	150	120	150	0	120	150
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	0	0	0	0	0	150	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	150	0	0	0	150	0	120
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	310	310	259	0	0	0	310	248	248
6	0	0	0	0	0	0	0	0	285	0	269	0	228	285	285	285	254	261
7	0	0	0	0	0	0	0	0	285	285	285	228	279	252	285	285	285	285
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	285	228	285	285	285	285	0	285	228
9	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282
10	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282
90	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
91	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
92	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
93	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
94	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
95	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
96	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
97	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
98	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
99	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
100	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Сума	18926	18426	18126	18126	18426	19126	19926	20526	21426	21926	22026	21826	21726	21726	21826	22426	23626	24026

Задача №11, вхідна інформація за даними [4]

<i>units</i>	P_i^{max} , MW	P_i^{min} , MW	a_i , \$/h	b_i , \$/MWh	c_i , \$/MW ² h	e_i , \$/h	h_i , rad/MW	UR_i , MW	DR_i , MW
1	470	150	958.2	21.6	0.00043	450	0.041	80	80
2	460	135	1313.6	21.05	0.00063	600	0.036	80	80
3	340	73	604.97	20.81	0.00039	320	0.028	80	80
4	300	60	471.6	23.9	0.0007	260	0.052	50	50
5	243	73	480.29	21.62	0.00079	280	0.063	50	50
6	160	57	601.75	17.87	0.00056	310	0.048	50	50
7	130	20	502.7	16.51	0.00211	300	0.086	30	30
8	120	47	639.4	23.23	0.0048	340	0.082	30	30
9	80	20	455.6	19.58	0.10908	270	0.098	30	30
10	55	55	692.4	22.54	0.00951	380	0.094	30	30

4. Yuan X., Wang L., Zhang Y., Yuan Y. A hybrid differential evolution method for dynamic economic dispatch with valve-point effects // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36. – pp 4042-4048.

Розв'язок задачі №11, отриманий Maneuver-New

Години	Блок № 1	Блок № 2	Блок № 3	Блок № 4	Блок № 5	Блок № 6	Блок № 7	Блок № 8	Блок № 9	Блок № 10	Планове навантаження
1	226.6	309.5	73.0	60.0	73.0	57.0	93.1	68.8	20.0	55.0	1036
2	303.2	309.5	76.4	60.0	73.0	72.6	93.1	47.0	20.2	55.0	1110
3	303.2	309.5	117.3	60.0	122.9	122.4	93.1	54.6	20.0	55.0	1036
4	303.2	309.5	185.2	110.0	122.9	122.4	93.1	84.6	20.1	55.0	1406
5	303.2	309.5	198.7	120.4	172.4	122.4	93.1	85.1	20.0	55.0	1480
6	303.2	309.5	278.6	170.4	122.9	160.0	93.1	85.3	50.0	55.0	1628
7	379.9	316.4	276.1	180.8	172.7	122.7	93.1	85.3	20.0	55.0	1702
8	456.5	396.4	196.1	178.5	172.7	122.4	93.1	85.3	20.0	55.0	1776
9	456.4	396.8	217.6	218.3	222.6	122.4	99.6	85.3	50.0	55.0	1924
10	456.4	396.8	297.4	248.5	222.6	128.3	129.6	85.3	52.1	55.0	2072
11	456.4	396.8	297.4	298.4	222.6	122.4	129.6	115.3	52.1	55.0	2146
12	459.0	396.8	339.9	299.3	243.0	160.0	129.6	85.3	52.1	55.0	2220
13	456.5	396.8	274.7	249.3	222.6	122.4	129.6	115.3	49.8	55.0	2072
14	456.5	396.8	265.2	200.4	222.6	122.5	99.6	85.4	20.0	55.0	1924
15	456.5	389.5	185.3	166.3	172.7	122.4	93.1	85.3	49.9	55.0	1776
16	379.9	309.5	165.7	120.4	172.7	122.4	123.0	85.3	20.1	55.0	1554
17	303.2	309.5	193.8	122.7	172.7	122.4	93.2	85.3	22.2	55.0	1480
18	379.9	309.7	185.3	172.6	172.7	122.4	93.1	85.3	52.0	55.0	1628
19	303.2	389.6	265.3	180.8	222.6	122.4	99.6	85.3	52.2	55.0	1776
20	379.9	459.8	297.4	230.7	222.6	159.6	129.6	85.3	52.1	55.0	2072
21	379.9	389.5	306.8	180.8	222.6	122.4	129.6	85.3	52.1	55.0	1924
22	303.2	309.5	247.2	180.8	172.7	122.4	99.6	85.3	52.3	55.0	1628
23	226.6	229.4	185.2	162.1	122.9	122.4	93.1	85.3	50.0	55.0	1332
24	226.6	222.3	195.7	120.4	73.2	122.4	63.1	85.3	20.0	55.0	1184

Порівняння розв'язку з одержаним в [4]

Години	Блок № 2 [4]	Блок № 2	Блок № 4 [4]	Блок № 4	Блок № 8 [4]	Блок № 8
1	222.3	309.5	60.0	60.0	47.0	68.8
2	222.3	309.5	95.5	60.0	47.0	47.0
3	222.3	309.5	145.4	60.0	55.3	54.6
4	222.3	309.5	146.7	110.0	85.3	84.6
5	222.3	309.5	180.8	120.4	85.3	85.1
6	302.2	309.5	180.8	170.4	85.3	85.3
7	309.5	316.4	180.8	180.8	85.3	85.3
8	309.6	396.4	197.2	178.5	85.3	85.3
9	389.5	396.8	236.8	218.3	85.3	85.3
10	396.8	396.8	241.3	248.5	85.3	85.3
11	459.9	396.8	250.0	298.4	85.4	115.3
12	460.0	396.8	300.0	299.3	115.3	85.3
13	396.8	396.8	284.3	249.3	85.3	115.3
14	393.8	396.8	241.2	200.4	85.3	85.4
15	313.8	389.5	231.6	166.3	85.3	85.3
16	309.5	309.5	181.6	120.4	85.3	85.3
17	309.5	309.5	180.8	122.7	85.3	85.3
18	316.1	309.7	182.4	172.6	85.3	85.3
19	396.1	389.6	232.4	180.8	85.3	85.3
20	460.1	459.8	241.1	230.7	85.3	85.3
21	391.8	389.5	191.3	180.8	85.3	85.3
22	311.8	309.5	170.4	180.8	85.3	85.3
23	203.8	229.4	120.4	162.1	85.3	85.3
24	223.4	222.3	120.4	120.4	85.3	85.3

Значення $f_2 = \$1028676$
є меншим на **\$2041**
(**0.23%**) за значення в [4].

- Блоки №2 і №4 мають менше суттєвих змін потужності протягом планового періоду.
- Потужність блоку № 8 характеризується більшими змінами у порівнянні з іншими блоками.
- Решта блоків працюють за схожим планом.

Затрати системи Maneuver-New

Метод мультистарту і r-алгоритм Шора [6]			
Кількість запусків	Час розв'язання однієї задачі*, секунди		
	мінімальний	середній	максимальний
500	1.64	3.46	9.37

6. Shor N.Z. Minimization Methods for Non-Differentiable Functions. – Berlin: Springer-Verlag, 1985. – 178 p.

* Параметри сервера:

Intel Xeon CPU E5-1607 4x3.00GHz, Ubuntu 14.04, Octave 4.2.1.

Розв'язувач: Octave-програма ralgb5 [7, с. 383-386].

7. Стецюк П.И. Методы эллипсоидов и r-алгоритмы. – Кишинэу, Эврика, 2014. – 488 с.

Висновки

- Система Maneuver-New забезпечує оперативне розв'язання UC- та ED-задач із знаходженням глобального оптимуму.
- Результати виконаних досліджень, зокрема і з використанням даних, опублікованих в закордонних виданнях, свідчать про переваги вітчизняної розробки у порівнянні із зарубіжними аналогами.

Запитання?

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!