

# ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

## ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 621.311

DOI 10.20535/1813-5420.1.2025.324212

**В.П. Калінчик**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000 - 0003- 4028- 0185

**О.В. Бориченко**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-6127-2945

**О.В. Мейта**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4132-5202

**В.В. Калінчик**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ORCID 0000-0003-3931-646X

**В.А. Побігайло**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-2673-7329

<sup>1</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ

*Показано, що в сформованій енергетичній галузі України базові електрогенеруючі потужності суттєво переважають маневрові, які вкрай необхідні для ефективного покриття потреб в електроенергії, особливо в періоди пікового попиту на неї. Створення маневрових електроенергетичних потужностей вимагає значних коштів і, що не менш важливо, значного часу. Іншим шляхом вирішення цієї задачі є управління електроспоживанням. Зниження електроспоживання промисловими підприємствами в пікові години може сприяти вирівнюванню графіків навантаження енергосистем, що дозволить зменшити необхідну кількість маневрових джерел живлення для покриття дефіциту в години максимуму і, відповідно, знизити вартість електричної енергії. На підприємствах зниження навантаження можна досягти за рахунок споживачів-регуляторів. Для ранжування та оптимізації роботи споживачів-регуляторів запропоновано генетичний алгоритм – евристичний метод пошуку, що використовується для рішення задач оптимізації і моделювання шляхом випадкового підбору комбінування і варіації шуканих параметрів. Досліджено та побудовано генетичний алгоритм вибору споживачів-регуляторів, за допомогою яких відбуватиметься регулювання навантаження. Проведена перевірка даної моделі для підприємства хімічної промисловості з вироблення аміаку.*

**Ключові слова:** електроспоживання, навантаження, управління, ранжування, генетичний алгоритм.

**Вступ.** Графік навантаження об'єднаної енергосистеми України має нерівномірний характер, характерною особливістю якого є наявність двох піків – ранкового й вечірнього. Для згладжування піків навантаження необхідно вводити додаткові (маневрові) джерела генерації. В сформованій енергетичній галузі України базові електрогенеруючі потужності суттєво переважають маневрові, які вкрай необхідні для ефективного покриття потреб в електроенергії, особливо в періоди пікового попиту на неї. Створення маневрових електроенергетичних потужностей вимагає значних коштів і, що не менш важливо, значного часу. Іншим шляхом вирішення цієї задачі є управління електроспоживанням. Потужні промислові підприємства мають значний вплив на енергосистему. Зниження їх електроспоживання в пікові години може сприяти вирівнюванню графіка навантаження енергосистем, що дозволить зменшити необхідну кількість маневрових джерел живлення для покриття дефіциту в години максимуму і, відповідно, знизить вартість електричної енергії. Зниження споживання електроенергії досягається різними способами, проте необхідно обирати такі, що мають мінімальний вплив на технологічний процес. На підприємствах зниження навантаження можна досягти за рахунок споживачів-регуляторів (СР). В цьому випадку виникає задача вибору та ранжування СР, за критерієм мінімального впливу на технологічний процес, тобто виконати задачу дискретної оптимізації. В роботах [1 - 4] для ранжування та оптимізації роботи СР запропоновано генетичний алгоритм (ГА) – евристичний метод пошуку, що використовується для рішення задач оптимізації і моделювання шляхом випадкового підбору комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів аналогічних природньому відбору. Досліджено та побудовано генетичний алгоритм вибору споживачів-регуляторів, за допомогою яких відбуватиметься регулювання навантаження. В цій роботі вказаний алгоритм застосовано для управління електричним навантаженням потужного промислового підприємства.

**Метою роботи** є обґрунтування застосування генетичного алгоритму для регулювання електричного навантаження.

**Викладення основного матеріалу.** За допомогою генетичного алгоритму обирають СР, які мають найменший вплив на технологічний процес та часті включення і виключення яких не призводять до пошкодження самого обладнання. Перевірку даної моделі проведемо для підприємства хімічної промисловості з вироблення аміаку [5].

Укрупнена схема технологічного процесу показана на рисунку 1. Так як основні технологічні операції безперервні і не допускають переривання електропостачання, то очевидно, вони не можуть бути застосовані для регулювання навантаження.

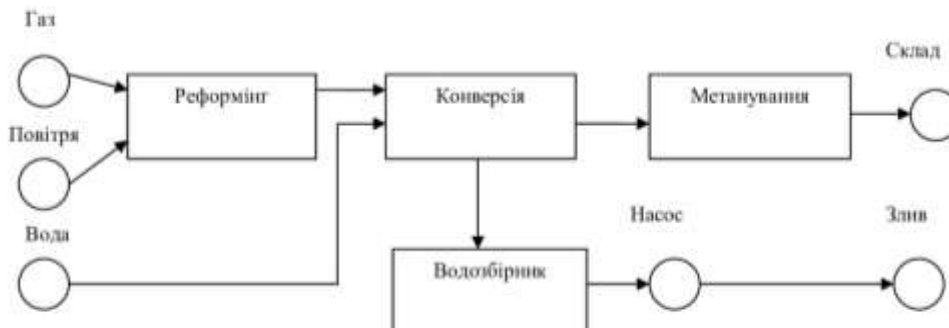


Рисунок 1 - Технологічна схема вироблення аміаку

Розглянемо ранжування СР за процедурою генетичних алгоритмів. Для цього складаються два списки споживачів, які можуть бути використані для регулювання навантаження. Списки наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 – Перший список споживачів

Споживач	Потужність $P$ кВт
Насос водоочищення	1000
Насос водоочищення	1000
Насоси водовідведення	200
Насоси водовідведення	200
Насоси водовідведення	600
Насоси водовідведення	600
Насоси промивки фільтрів	400
Насоси промивки фільтрів	400

Таблиця 2 - Другий список споживачів

Споживач	Потужність $P$ , кВт
Вентилятор повітряного охолодження	400
Вентилятор повітряного охолодження	400
Компресор водонагрівача	800
Компресор водонагрівача	800
Насоси водовідведення	400
Насоси водовідведення	400
Допоміжне виробництво	1500
Допоміжне виробництво	1500

Сформовані хромосоми  $G_1$  і  $G_2$  визначають склад споживачів-регуляторів [1]. Кількість споживачів  $m_1 = 10$  і  $m_2 = 5$  і вони відносяться до нижнього рівня ієрархії електричної мережі підприємства.

1-й ген	2-й ген	3-й ген	4-й ген	5-й ген	6-й ген	7-й ген	8-й ген
1	1	0	1	1	0	1	0

Рисунок 2- Хромосома  $G_1$  особи  $Z_1$

1-й ген	2-й ген	3-й ген	4-й ген	5-й ген	6-й ген	7-й ген	8-й ген
0	0	1	0	0	1	0	1

Рисунок 3 - Хромосома  $G_2$  особи  $Z_2$

Споживачі технологічного процесу виключені зі списку СР, так як їх відключення впливає на випуск продукції та на надійність роботи самого обладнання. Тобто збитки від простою технологічного обладнання дуже значні, тому це обладнання не бере участь у регулюванні споживання електричної енергії.

Вагові коефіцієнти мають однакове значення, оскільки за умовою збиток і кількість перемикачів однаково важливі

$$\varphi_1 = 0,6;$$

$$\varphi_1 = 0,4.$$

Сумарна потужність

$$Q^Z = \sum_{i=1}^{m_n} P_i k_i G_i^Z,$$

Для кожної хромосоми (споживача зі списку) значення булевої функції дорівнює  $k_i = 1$ .

Від простою обладнання збиток умовно встановимо рівний 1, тобто збитки незначні, а, отже, основний фактор вибору СР це навантаження, на яке можна знизити загальне споживання електроенергії.

Для першого списку сумарна потужність буде рівна:

$$Q^{Z_1} = 1000 \cdot 1 \cdot 1 + 1000 \cdot 1 \cdot 1 + 200 \cdot 1 \cdot 0 + 200 \cdot 1 \cdot 1 + 600 \cdot 1 \cdot 1 + 600 \cdot 1 \cdot 0 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 0 = 3200 \text{кВт},$$

Для другого списку сумарна потужність буде рівна:

$$Q^{Z_2} = 400 \cdot 1 \cdot 0 + 400 \cdot 1 \cdot 0 + 800 \cdot 1 \cdot 1 + 800 \cdot 1 \cdot 0 + 400 \cdot 1 \cdot 0 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 1500 \cdot 1 \cdot 1 + 1500 \cdot 1 \cdot 1 = 4200 \text{кВт}.$$

Цільова функція для першого і другого списків вирішується з урахуванням збитку від простою обладнання і впливає на самий вибір обладнання.

Необхідно виконати схрещування особин [1]. Схрещування особин відбувається наступним чином: із поточного покоління випадково обираються дві різні особини і далі кожний ген хромосоми нащадку з однаковою ймовірністю  $p = 0,5$  може прийняти значення відповідного гена одного або іншого із батьків.

1-й ген	2-й ген	3-й ген	4-й ген	5-й ген	6-й ген	7-й ген	8-й ген
1	1	0	1	1	0	1	0
$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$
1-й ген нащадку	2-й ген нащадку	3-й ген нащадку	4-й ген нащадку	5-й ген нащадку	6-й ген нащадку	7-й ген нащадку	8-й ген нащадку
1	0	1	1	1	1	1	1
$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$	$p = 0,5$
1-й ген	2-й ген	3-й ген	4-й ген	5-й ген	6-й ген	7-й ген	8-й ген
0	0	1	0	0	1	0	1

Рисунок 4 – Процедура схрещування особин популяції

На наступному етапі визначимо сумарну потужність  $Q_{\text{спож}}$  списку споживачів, представленого нащадком  $G_{\text{спож}}$

$$Q_{\text{спож}} = \sum_{i=1}^{m_n} P_i k_i G_{i\text{спож}}$$

$$Q_{\text{спож}} = 1000 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 0 + 800 \cdot 1 \cdot 1 + 200 \cdot 1 \cdot 1 + 600 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 1500 \cdot 1 \cdot 1 = 4900 \text{кВт},$$

Збиток від простою обладнання не змінився, а потужність, яка вимикається збільшилась, тому поточний список кращий ніж попередні.

Проводимо мутацію списку, тобто обираємо із списків деяку особину і інвертуємо ген, тобто  $G_i^L = \bar{G}_i^L$ , в результаті утвориться особина  $G^{L^*}$  - мутант особини  $G^L$ ;

Розрахуємо параметри мутанта  $Q^{L^*}, F^{L^*}$

1-й ген нащадку	2-й ген нащадку	3-й ген нащадку	4-й ген нащадку	5-й ген нащадку	6- й ген нащадку	7-й ген нащадку	8- ген нащадку
1	<u>1</u>	1	1	1	1	1	1

Рисунок 5 - Хромосома  $G_2$  після мутації

$$Q^{L^*} = \sum_{i=1}^{m_n} P_i k_i G^{L^*}$$

$$Q^{L^*} = 1000 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 800 \cdot 1 \cdot 1 + 200 \cdot 1 \cdot 1 + 600 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 400 \cdot 1 \cdot 1 + 1500 \cdot 1 \cdot 1 = 5300 \text{ кВт},$$

При застосуванні другого гену нащадку (споживачів списку, що утворився) значення цільової функції нового списку не змінюється, а потужність, що вимикається збільшилась без впливу на технологічний процес, це означає, що відбулася «добра» мутація, тому новий список задовольняє умови і є остаточним списком споживачів для регулювання потужності, і має наступний вигляд

Таблиця 4 – Новий список споживачів-регуляторів

Споживач	Потужність $P$ , кВт
Насос водоочищення	1000
Насос водоочищення	1000
Компресор водонагрівача	800
Насоси водовідведення	200
Насоси водовідведення	600
Насоси водовідведення	400
Насоси промивки фільтрів	400
Насоси промивки фільтрів	1500

Новий список має найбільшу потужність, на яку можна знизити споживання у пікові години навантаження, а отже найбільше задовольняє вирішенню задачі.

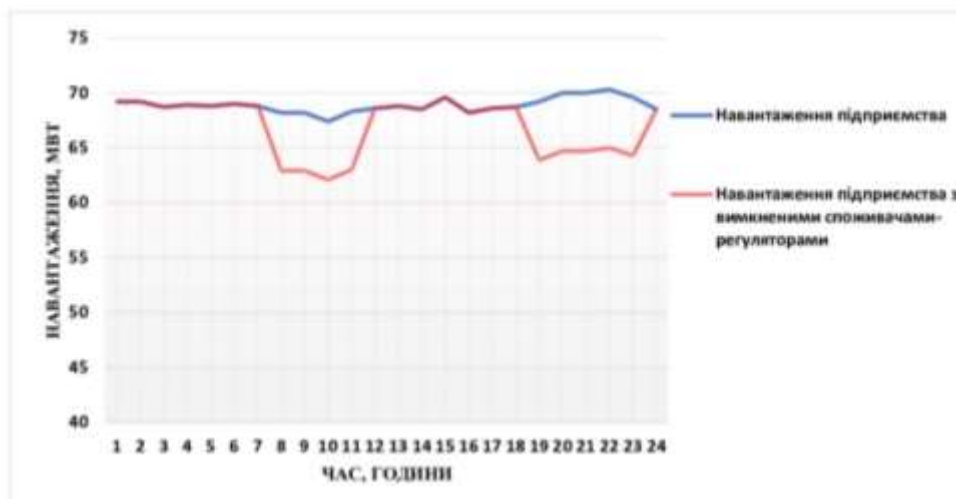


Рисунок 5 – Порівняння графіків навантажень без управління та з управління навантаженням хімічного підприємства

За допомогою обраних СР загальна потужність підприємства знизилась в середньому на 8%. В залежності від кількості СР, які братимуть участь у регулюванні навантаження, потужність можна знизити до 20%.

**Висновок.** Проведені в роботі дослідження вибору споживачів-регуляторів показали високу ефективність генетичного алгоритму з мінімальними збитками для підприємства. Генетичний алгоритм має високу точність тому його доцільно використовувати для управління електричним навантаженням підприємств з безперервним характером виробництва

**Список використаної літератури**

1. В.П. Калінчик. Ранжування споживачів – регуляторів електричного навантаження/ В.П. Калінчик, О.В. Бориченко, О.В. Мейта,, В.В. Калінчик, В.В. Побігайло// *Енергетика: економіка, тех-нології, екологія*. – 2024. - № 4. – С.20-27.
2. В. Калінчик. Управління електричним навантаженням за допомогою споживачів-регуляторів// В. Калінчик, М. Шкрєбтій./ Збірник наукових праць. Матеріали XXVI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції „Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії” – Переяслав-Хмельницький. – 2016.- С.246-248.
3. Clement R. Genetic Algorithms and Dus-Driver Scheduling. // Clement R., Wren A./ Presented at the 6th International Conference for Computer-Aided Transport Scheduling. Lisbon. Portugal. 1993.
4. Шкрєбтій М.В. Застосування генетичних алгоритмів для вибору споживачів-регуляторів/ Шкрєбтій М.В./ Збірник наукових праць. Матеріали VII міжнародної науко-во-технічної кон-ференції. Енергетика. екологія. людина. - – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, ІЕЕ, 2016. – С. 115-117.
5. Іншеков Є.М. Оптимізація режимів електроспоживання підприємств хімічної промисловості/ Іншеков Є.М., Калінчик І.В. - НТУУ „КПІ” Н.-д. ін-т автоматизації та енергетики „Енергія”. – Київ, 2012. – 11 с.: іл. –Укр. – Деп. в ДНТБ України 27.04.12, № 13-Ук – 2012.

**V.P. Kalinchyk**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-4028-0185

**O. Borychenko**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-6127-2945

**O.V. Meita**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4132-5202

**V.V. Kalinchyk**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0003-3931-646X

**V. Pobigaylo**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-2673-7329

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**MANAGEMENT OF ELECTRICAL LOAD OF PRODUCTION FACILITIES  
WITH THE HELP OF CONSUMER - REGULATORS**

*It is shown that in the existing energy sector of Ukraine, basic power generating capacities significantly outnumber shunting capacities, which are essential for efficiently covering electricity needs, especially during periods of peak demand for electricity. The creation of shunting power capacities requires significant funds and, just as importantly, considerable time. Another way to solve this problem is to manage electricity consumption. Reducing electricity consumption by industrial enterprises during peak hours can help to level the load schedules of power systems, which will reduce the required number of shunting power sources to cover the deficit during peak hours and, accordingly, reduce the cost of electricity. At enterprises, load reduction can be achieved at the expense of regulated consumers. To rank and optimize the work of consumer-regulators, a genetic algorithm is proposed - a heuristic search method used to solve optimization and modeling problems by randomly selecting a combination and variation of the desired parameters. A genetic algorithm for selecting consumers-regulators, which will be used to regulate the load, has been studied and built. This model was tested for a chemical industry enterprise producing ammonia.*

**Keywords:** *electricity consumption, load, control, ranking, genetic algorithm.*

**References**

- 1.Kalinchyk V.P.. Ranking of consumers - regulators of electric load/ V.P. Kalinchyk, O.V. Borichenko, O.V. Meyta,, V.V. Kalinchyk, V.A. Pobigailo // *Energy: Economics, Technology, Ecology*. - № 4. – С.20 - 27.
- 2.Kalinchyk V.. Management of electric load with the help of consumers-regulators // V. Kalinchyk, M. Shkrebtiiy. Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Internet Conference “Problems and Prospects for the Development of Science at the Beginning of the Third Millennium in Europe and Asia” - Pereyaslav-Khmelnytskyi - 2016.- P.246-248.
- 3.Clement R. Genetic Algorithms and Dus-Driver Scheduling. // Clement R., Wren A./ Presented at the 6th International Conference for Computer-Aided Transport Scheduling. Lisbon. Portugal. 1993.
- 4.Shkrebtiiy M.V. Application of genetic algorithms for the selection of consumers-regulators / Shkrebtiiy M.V. / Collection of scientific papers. Materials of the VII International Scientific and Technical Conference. Energy, ecology, man. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, IEE, 2016. - P. 115-117.
- 5.Inshekov E.M. Optimization of power consumption modes of chemical industry enterprises / Othera-kov E.M., Kalinchyk I.V. - NTUU “KPI” Research Institute of Automation and Energy “Energy” - Ky-iv, 2012. 11 p.: illus. - Dep. in SSTB of Ukraine 27.04.12, № 13-Uk - 2012.

Надійшла: 19.12.2024

Received: 19.12.2024