

5. Вимірювальні канали для установок динамічної компенсації реактивної потужності / М.Й. Бурбело, О.М. Кравець, М.В. Никитенко, А.В. Гадай // *Енергетика та електрифікація*. – 2008. – № 11. – С. 42–45. 6. Бурбело М.Й. Спосіб вимірювання параметрів несиметрії навантажень вузлів електричних мереж / М.Й. Бурбело, М.В. Кузьменко, М.В. Никитенко // *Вісник ВПІ*. – 2009. – № 3. – С. 30–33.

УДК 519.237.8

А.В. Волошко, Т.М. Лутчин

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ВАРІАЦІЇ КУТА ПОЛІНОМІВ

© Волошко А.В., Лутчин Т.М., 2010

Наведено використання вейвлет-перетворень для ефективного аналізу графіків електричних навантажень. Запропонований метод кластеризації з урахуванням варіації кута нахилу поліномів дає змогу спростити існуючі алгоритми пошуку кластерного рішення, поєднуючи відомі статистичні методи з передовими методиками вейвлет-аналізу.

Ключові слова: кратномасштабний аналіз, графіки електричних навантажень, вейвлет-коефіцієнти, адаптація, сигнал, кластеризація.

In this paper is presented the usage of wavelet – transformation for effective analysis of graphs of electric loads. The proposed clustering method taking into account the angle variation of polynoms to simplify the existing search algorithms cluster solutions through a combination of known statistical methods with advanced wavelet methods – analysis.

Keywords: multiresolution analysis, graphs of electrical loads, wavelet – coefficients, adaptation, signal, clusterization.

Вступ

Постановка проблеми. Актуальною проблемою нині є розробка достатньо швидкої системи обробки складних графіків електричних навантажень (ГЕН). Використання класичного математичного апарата, при цьому не завжди є ефективним. Проблема ускладнюється різними видами ГЕН, при цьому під час збору інформації можуть одночасно спостерігатися практично всі існуючі види ГЕН [1]. Варто зазначити, що безліч енергокомпаній зіткнулися з проблемою створення універсального комплексного методу кластеризації ГЕН, який був би адаптований до різних кластерних категорій для спрощення алгоритмів обробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним з перспективних напрямів, якому присвячено багато наукових публікацій, є аналіз тимчасових рядів за допомогою вейвлет-перетворення, тобто розкладання одновимірного сигналу за системою ортонормованих функцій $\varphi_{m,k}(t)$ і $\psi_{m,k}(t)$. Ці функції локалізовані по осі аргументів, інваріантні до зрушення, лінійні до операції масштабування (стиснення/ розтягування) і відповідно до [2] визначаються так:

$$\varphi_{m,k}(t) = a \varphi(2^m t - k), \quad (1)$$

$$\psi_{m,k}(t) = a \psi(2^m t - k), \quad (2)$$

де $a = 2^{m/2}$ – коефіцієнт ортонормування, який забезпечує одиничну норму функції; $\varphi_{m,k}(t)$ і $\psi_{m,k}(t)$ – масштабуюча (скейлінг-функція) і вейвлетна функції відповідно.

Ціль статті

Основна ідея вейвлет-перетворення відповідає специфіці тимчасового ряду – ГЕН, що демонструє еволюцію в часі своїх основних характеристик, – середнього значення, дисперсії, періодів, амплітуд і фаз гармонійних компонент. У зв'язку з цим розглянемо можливість і ефективність використання кратномасштабного аналізу (КМА) для кластеризації ГЕН з урахуванням варіації кута поліномів.

Кратномасштабний аналіз

Кратномасштабний аналіз (multiresolution analysis) заснований на представленні простору сигналів U у вигляді системи вкладених підпросторів U_j , що відрізняються один від одного тільки перемасштабуванням незалежної змінної. Сигнал $p(t)$ можна зобразити безліччю послідовних наближень $p_j(t)$ в субпросторах U_j . Змінна j при цьому називається масштабним коефіцієнтом.

Математично ця функція (ГЕН) представляється у вигляді ряду з розкладанням за системою ортогональних функцій $\varphi_{m,k}(t)$, утворених прямокутним ваговим вікном φ тривалістю $\Delta t = \frac{1}{2^j}$, ортогональність яких забезпечується послідовним зрушенням функцій один щодо одного на величину Δt . У разі зрушувальної ортогональності прямокутних базисних функцій розкладання пряме перетворення (проекція сигналу на базис) виконується за формулою:

$$c_{j,k} = \frac{1}{p} \int_{k\Delta t}^{(k+1)\Delta t} p(t) j (2^j t - k) dt. \quad (3)$$

Структурна схема декомпозиції ГЕН по (3) наведена на рис. 1. При цьому $j = 5$, де апроксимуючі коефіцієнти (Апрох) відповідають низькочастотній, а деталізуючі (Details) – високо-частотній частині $p(t)$.

Формування вектора ознак кластеризації ГЕН проводиться відповідно до [3, 4].

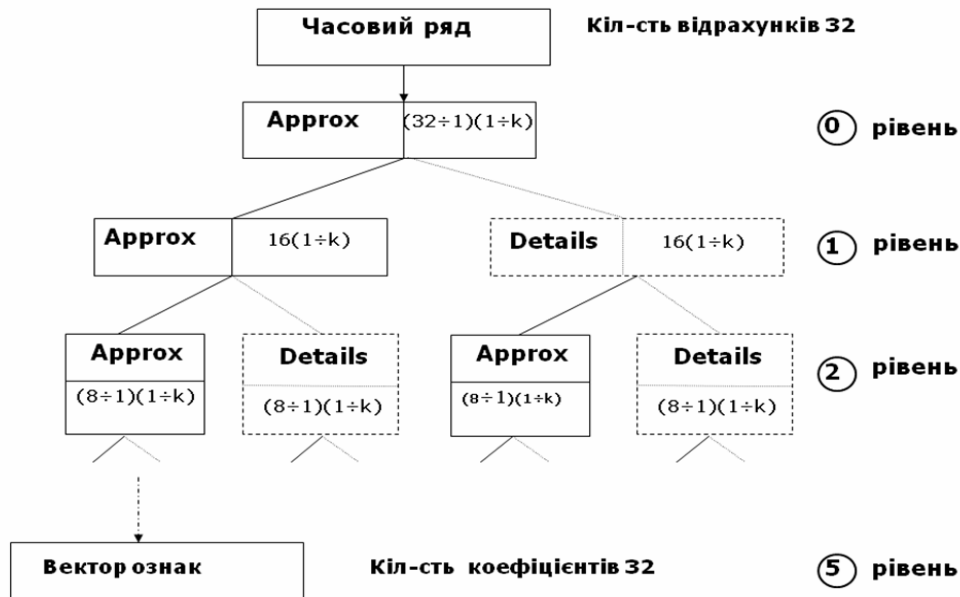


Рис. 1. Структурна схема декомпозиції ГЕН

Комбінований метод статистичної кластеризації

Для виконання завдань класифікації широко використовуються статистичні методи розпізнавання образів, теорія яких розвинена доволі добре. Ці методи розділяються на дві групи: параметричні і непараметричні [5]. Вони універсальні, роботоздатні при будь-яких розподілах вірогідності вектора параметрів статистичної вибірки, але в той же час багато з даних методів є дуже громіздкими і повільно сходяться.

У роботі розглядається, так званий, комбінований метод статистичної кластеризації [8]. Метод базується на пошуку вирішального правила розділення двох класів у вигляді полінома n – ступенів.

При вивченні можливості застосування цього методу були розглянуті комбіновані методи у вигляді поліномів першого і другого ступеня. Ці поліноми подібні за формою запису, але методи рішення можуть бути скорочені за рахунок способу рішення. Тобто на представницьких вибірках кожного з класу визначається ступінь впливу спрощення виразу на точність обчислень. Якщо значення похибки допустимо мале, то нехтується деталізуючими складовими рівняння.

Для кластеризації наведемо методику рішення у вигляді алгоритмів, а саме як поліном другого ступеня:

$$\sum_{i,j=1}^{m,n} P(\bar{P}_{m,n}) = A_0 + A_1 \cdot \sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n} + A_2 \cdot \sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n}^2 \quad (4)$$

де A_0 , A_1 і A_2 – розрахункові коефіцієнти; $\bar{P}_{m,n}$ – середні вейвлет – коефіцієнти.

Поліном першого ступеня набуває інший вигляд за рахунок спрощення. При розрахунках було встановлено, що A_2 гранично мале, при цьому $(A_2 \cdot \sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n}^2) \rightarrow 0$. Тобто, використання комбінованого методу статичної кластеризації з урахуванням бінома другого ступеня не виправдане ($A_2 = 0$). Враховуючи наведені допущення, вираз (4) набуде вигляд

$$\sum_{i,j=1}^{m,n} P(\bar{P}_{m,n}) = A_0 + A_1 \cdot \sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n} \quad (5)$$

У такому разі відсутні неінформативні дані, що дозволяє значно спростити розрахунок.

Поширеність цього виду кластеризації обумовлена:

- підвищенням точності обчислення;
- збільшенням швидкості збіжності рішень.

В результаті побудов необхідно ввести кут, варіація якого забезпечить проведення кластерного аналізу. Варіація кута α – величини нахилу характеристичної прямої наочно зображена на рис. 2.

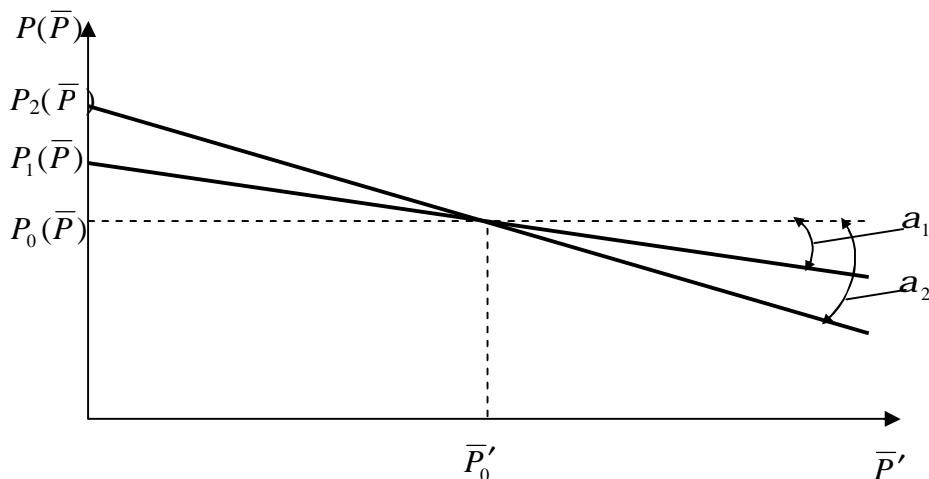


Рис. 2. Характеристика варіації кута:
 a_1 – для робочих днів; a_2 – для вихідних днів

Простота дослідження графіка полягає в тому, що раціонально використовується частина графіка $[\bar{P}'_0; +\infty)$ від точки $(\bar{P}'_0; P_0(\bar{P}))$, яка є точкою перетину характеристичних прямих. Числово прямі описуються, як:

$$P(\bar{P}) = A_0 + A_1 \cdot \bar{P}' \quad (6)$$

При цьому проводиться пряма лінія $y = \bar{P}_{0m,n \text{ const}}$ паралельно осі абсцис.

Кластеризація реальних ГЕН за допомогою цього методу з урахуванням варіації кута поліномів наведена на рис. 3.

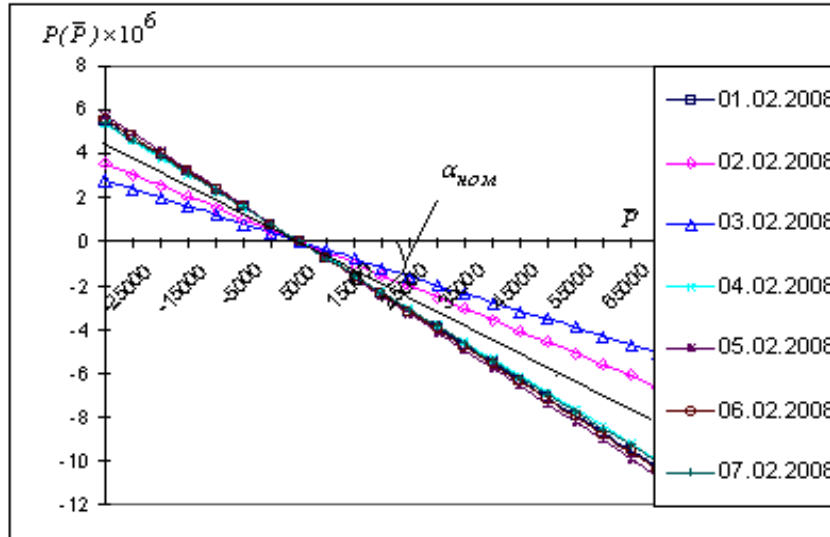


Рис. 3. Кластеризація з використанням варіації кута

З рис. 3 витікає, що величина кута безпосередньо вказуватиме на відповідність робочому або вихідному дню:

- $a > a_{ном}$ – робочий день;
- $a < a_{ном}$ – вихідний день.

Має місце випадок $a = 0$ тобто характеристична пряма збігається з прямою $y = 0$. Збіг свідчить про те, що початковий графік споживання рівномірний.

Для наведеного методу при визначенні меж кластеризації рекомендується завжди проводити контрольний облік шляхом порівняння базисних і поточних сигналів.

У вектор – матричній формі поліном другого ступеня можна подати так:

$$d_1(\bar{P}_{m,n}) = \frac{P(\bar{P}_{m,n})}{\sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n}} \quad (7)$$

При підстановці виразу (5) формула (7) представляється в розгорненому вигляді

$$d_1(\bar{P}_{m,n}) = \frac{A_0}{\sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n}} + A_1 + A_2 \cdot \sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n} \quad (8)$$

Враховуючи попередні міркування, поліном першого ступеня у вектор – матричній формі має вигляд:

$$d_2(\bar{P}_{m,n}) = \frac{A_0}{\sum_{i,j=1}^{m,n} \bar{P}_{m,n}} + A_1 \quad (9)$$

Необхідно відзначити, що раціонально використовується тільки частина графіка $[0; +\infty)$ оскільки графік поліномів у вектор – матричній формі має гіперболічний характер. Результати розрахунку в графічному вигляді наведені на рис. 4.

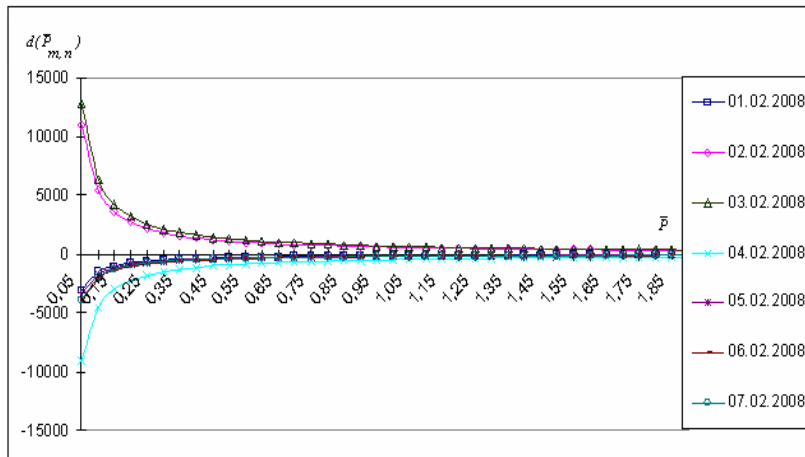


Рис. 4. Кластеризація з використанням варіації поліномів у вектор-матричній формі

При використанні кластеризації на підставі варіації поліномів у вектор-матричній формі можливість використання цього методу графічно підтверджується на малюнку 5. Залежно від розташування побудованих характеристик щодо осі абсцис проводиться визначення класу.

Результати обчислень цього способу кластеризації оцінимо моделюванням ГЕН [9], які здійснюються у декілька етапів:

1. Обчислюємо середній показник енергоспоживання представницьких вибірок добових значень:

$$P_c = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l P_{ij}, \quad (10)$$

де i – кількість ГЕН початкової вибірки відповідного кластера; $j \in [1; 24]$ – порядкове значення часу доби.

2. Для оцінки ступеня кореляції ГЕН визначуваний коефіцієнт форми графіка:

$$k_f = \frac{1 + 2k_3}{3k_3}, \quad (11)$$

де k_3 – коефіцієнт заповнення графіка, який розраховується як:

$$k_3 = \frac{P_c}{P_{max}}, \quad (12)$$

де P_{max} – максимальне значення добового споживання.

3. Оцінюємо адекватність використовуваної моделі шляхом введення обмежень, а саме: якщо $RND = 0,5$, то для розрахунку приймається вираз $(1 - RND)$, інакше – використовується RND . Для того, щоб зберегти вид графіків споживання і виключити присвоєння ГЕН негативних значень, оцінюється допустиме відхилення модельованих параметрів від середнього значення добового енергоспоживання. Графічно відобразимо результати можливих варіантів аналізу (рис. 5).

Шукані значення добового споживання обчислюватимуться, як:

- $P_k = P_c (1 + k_f RND)$, якщо $P_i > P_c$; (13)

- $P_k = P_c (1 - k_f RND)$, якщо $P_i > P_c$. (14)

В результаті здійснення алгоритму створюються імітовані ГЕН. Подальші дії розрахунку проводяться аналогічно обробці початкових реальних даних для підприємства. Кластеризацію на підставі варіації кута перевіримо при обробці змодельованих ГЕН (рис. 6).

Сформовані нові кластери включають ГЕН, від яких відповідає вибраним раніше. Про це свідчить чітке дотримання розташування побудованих прямих щодо граничної прямої.

У всіх цих випадках поліноми розташовуються від максимально завантаженого робочого дня до мінімально завантаженого вихідного. При цьому, проводячи кластеризацію, передбачається, що тим або іншим способом враховується вид графіків споживання за добу. На підставі чого і проводиться розподіл всіх характеристик на вищезгадані групи.

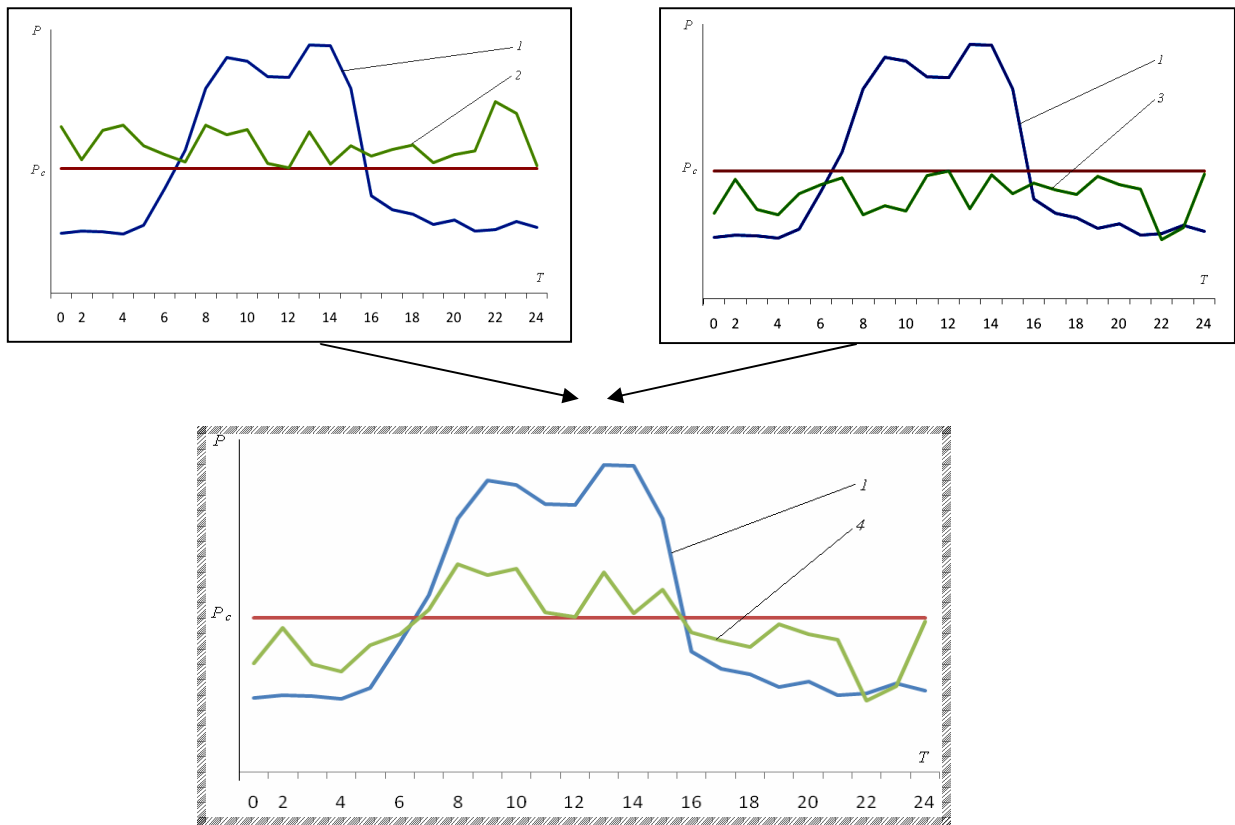


Рис. 5. Вид сформованих ГЕН:
 1 – представницький добовий графік споживання електроенергії в межах одного встановленого кластера; 2, 3 – вироджені ГЕН; 4 – змодельований графік з урахуванням відхилення щодо середнього значення енергоспоживання

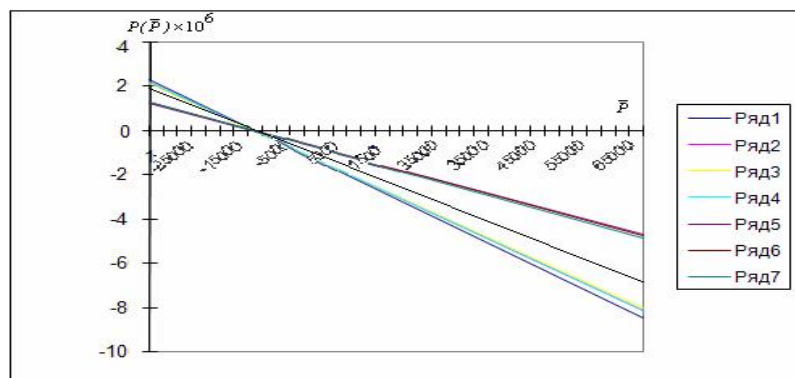


Рис. 6. Перевірка кластеризації з використанням варіації кута

Висновки

В результаті застосування системного математичного апарата до вейвлет-коефіцієнтів був представлений метод кластерного аналізу, який сприяє розширенню можливості обробки графіків електричних навантажень. Реалізація цього виду кластеризації проводилася з метою збереження точності розрахунків. На додаток до методу кластеризації з урахуванням варіації кута поліномів наведений метод варіації поліномів у вектор-матричній формі з обґрунтуванням актуальності застосування цього виду кластеризації.

1. Фокин Ю.А. *Имовірно-статистические методы в расчетах систем электроспожвания*. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с. 2. Мала С. *Вейвлет в обработке сигналов / Пер. с англ.* – М.: Мир, 2005. – 671 с. 3. Дворников С.В., Сауков А.М. *Метод розпізнавання на основі*

вейвлет – пакетів // *Наукове приладобудування*. – 2004. – Т. 14, № 1 – С. 57–65. 4. Волошко А.В. Метод формування ознак класифікації графіків електричних навантажень на основі вейвлет – перетворення. // *ПРОМЕЛЕКТРО*. – 2009. – № 1. – С. 39–43. 5. Фомин В.Н. Математическая теория учебных систем. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-ту, 1976. – 136 с. 6. Ципкин Я.З. Основы теории систем, що навчаються. – М.: Наука, 1970. – 390 с. 7. Гайдийев І. Аналіз і обробка даних: спеціальний довідник – СПб.: Петер, 2001. – 752 с. 8. Павленко В.Д., Фомін А.А. Комбінований метод побудови вирішального правила статистичної кластеризації // *Автоматика – 2000: Міжнар. конф. з автоматичного управління, Львів, 11–15 вересня 2000: Праці в 7 т. – т. 7.* – Львів: Державний НДІ інфраструктури, 2000. – С. 151–156. 9. Куницман Ж. Чисельные методы / Пер. с фр.; Под ред. Д.П. Костомарова. – М.: Наука, 1979. – 160 с.

УДК 697.329

О. Дацько, С. Шаповал, О. Возняк, А. Романів
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра техногенно-екологічної безпеки

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДХОДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ПОВЕРХНЮ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЗМІННОЇ ОРІЄНТАЦІЇ

© Дацько О., Шаповал С., Возняк О., Романів А., 2010

Розроблений метод просторової оптимізації положення окремо розташованого сонячного колектора. Вивчена теорія надходження сонячної радіації на поверхні змінної орієнтації. Для максимізації задачі надходження добової кількості енергії знайдені оптимальні кути нахилу колектора до горизонту і його азимуту повороту при кожному дискретному положенні. Знайдений оптимальний час переорієнтації з одного дискретного положення на наступне. Розроблена математична модель надходження сонячної радіації на поверхню сонячного колектора змінної орієнтації.

Ключові слова: сонячна радіація, сонячний колектор, змінна орієнтація

A method of optimization the spatial position solar collector. Studied the theory of receipt of solar radiation on the surface of target variable. For task of max arrivals daily amount of energy finded optimum collector tilt angles to the horizon and its direction of rotation at each discrete position. Discovered the optimal time of reorientation from one discrete position on the following. It was treated mathematical model of solar radiation receipt on the surface of solar collector variable orientation.

Keywords: solar radiation, solar collector, variable orientation

Постановка проблеми

Зменшення традиційних запасів палива та щораз більше енергоспоживання людства призвело до пошуку альтернативних джерел енергії, серед яких першість має використання сонячної енергії. Фотоелектричні сонячні елементи, як і плоскі сонячні колектори є надійними і ефективними в роботі, але їхня ефективність протягом дня є змінною. Це пов'язано із зміною кута падіння сонячного проміння на поглинач енергії. Тому максимальна ефективність таких поглиначів спостерігається в обідні години (для південної орієнтації). Дискретною орієнтацією можна підвищити ефективність плоских поглиначів, але не відома мінімальна кількість поворотів для максимального отримання сонячної енергії.