**КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ
КОЕФІЦІЄНТІВ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Г. О. Мірських, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: mirskih@i.ua

В. В. Васюк, кандидат технічних наук, старший викладач

E-mail: vasyuk@nubip.edu.ua

Т. С. Книжка, кандидат технічних наук, старший викладач

E-mail: knizhkatatyana@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. При проектуванні енергетичних об'єктів зазвичай виникає завдання порівняння можливих їх варіантів виконання з огляду на споживчу якість. Найрозповсюдженішим і найпростішим в реалізації є метод, що полягає в формуванні узагальненого показника, однак йому властива суб'єктивність. З огляду на це, особливої актуальності набуває завдання розробки алгоритмів та методів які об'єктивно розглядають показники якості об'єкта енергетики.

Стверджується, що відповідно до умови прийняття рішення за видом синтезуючої функції основним об'єктом невизначеності, відповідно і показника якості, якому властивий суб'єктивний характер, є вектор коефіцієнтів значущості вагових коефіцієнтів.

Представлені алгоритми в умовах невизначеності, які дозволяють побудувати узагальнений критерій якості об'єктів енергетики. Для комплексної оцінки якості енергетичних об'єктів запропоновано застосовувати методи довільних зведених показників, а саме: метод довільних зведених показників, метод пріоритетності часткових показників якості та метод мінімізації відхилення зведеного показника якості. Запропоновано для зменшення впливу суб'єктивних чинників при визначенні вагових коефіцієнтів використати поєднання цих методів. Для методу мінімізації відхилення зведеного показника, використовуючи принцип об'єктивності розроблено алгоритм визначення вагових коефіцієнтів, при цьому враховано, що в області допустимих змін параметрів, значення критерію буде мінімальним.

Відповідно, для вирішення завдання порівняння варіантів побудови об'єктів енергетики, яке включає в себе визначення вагових коефіцієнтів для формування зведеного показника, необхідно використати результати експертного оцінювання, доповнені розрахунковими методиками, що дозволить зменшити суб'єктивний чинник, який властивий методу експертного оцінювання.

Ключові слова: *показник якості, методи визначення вагових коефіцієнтів, зведений показник якості*

Актуальність. Будь-який інженерний об'єкт (і об'єкти енергетики, звичайно, не є виключенням) описується визначеною сукупністю показників, що характеризують його властивості задовольняти визначені вимоги та потреби людей (споживачів), які користуються даним об'єктом та/або результатами його експлуатації. З такої точки зору сукупність показників об'єкту формує споживчу якість останнього, якою, власне, і визначається необхідність даного об'єкту з точки зору споживача. При цьому на стадії проектування більш-менш складного об'єкту, а тим більше об'єктів енергетики, які відносяться до класу складних систем, неминуче виникає завдання порівняти пропоновані до реалізації варіанти об'єкту з точки зору їх споживчої якості. На сьогодні з метою такого порівняння переважно застосовується метод, заснований на формуванні узагальненого (зведеного) показника (критерію) якості, яким в узагальненому вигляді відображається необхідність для споживача (користувача) сукупності всіх показників розгляданого об'єкту з урахуванням їх значущості. При цьому, звичайно, означений узагальнений показник якості (ПЯ) має характеризувати споживчу якість об'єкту, так би мовити з максимальною об'єктивністю, незважаючи на те, що в процесі його формування зазвичай застосовуються експертні методи, які, неминуче, вносять визначену частку суб'єктивності. Останнє актуалізує завдання розробки методів та алгоритмів, спрямованих на об'єктивізацію сформованих на підставі експертизи показників якості об'єкту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботах [1, 2] розглянуті основні принципи формування узагальненого показника якості (ПЯ) енергетичних об'єктів. Показано, що за умови прийняття рішення щодо виду синтезуючої функції головним об'єктом невизначеності, а отже і суб'єктивності ПЯ стає вектор коефіцієнтів значимості (вагових коефіцієнтів – ВК).

Мета дослідження – розробка методів об'єктивізації значень ВК під час формування узагальненого показника якості об'єкту енергетики. Результати цієї

роботи представлені в цій статті.

Матеріали і методи дослідження. Розглядаються розрахункові та експертно-розрахункові методи, що застосовуються для отримання вагових коефіцієнтів в задачах комплексної оцінки якості енергетичних об'єктів: пріоритетності часткових показників, довільних зведених показників та мінімізації відхилення зведеного показника.

Результати досліджень та їх обговорення. Метод довільних зведених показників, принцип якого полягає в моделюванні невизначеності елементу Z із множини $Z = \{x^{(\theta)}, \theta \in \Theta\}$ подібних елементів. Сутність цього методу полягає у виборі елементу Z , що має бути *довільним*, тобто містити випадковість. Результатом є задавання підмножин множини Z , міра Лебега якої відповідає ймовірнісній мірі. Відповідно, результатом є елемент $\tilde{Z}$, що приймає значення із множини Z , і в повному обсязі задовольняє визначенням теорії ймовірностей. За своєю змістовною суттю означена процедура означає введення до синтезуючої функції елементів випадковості, пов'язаної з коефіцієнтами значущості, тобто в деякому сенсі означає моделювання результатів відповідної експертизи [3].

Тому наслідком довільної невизначеності, що пов'язана з побудовою сумарного ПЯ, оцінкою якості об'єкту, що досліджується, є випадкова величина:

$$Q = Q(\tilde{q}, w),$$

де $\tilde{q}$ - випадковий вектор окремих ПЯ об'єкту енергетики; w - випадковий вектор ВК об'єкту енергетики.

Отже, застосування довільних зведених показників для оцінки об'єктів енергетики, полягає в порівнянні довільних величин, зведених довільних ПЯ об'єктів енергетики.

Для оцінки довільного зведеного ПЯ Q необхідно використати математичне сподівання

$$\overline{Q} = M Q.$$

Використовуючи цей підхід, можна отримати точність оцінки математичного очікування, що представлено у вигляді відхилення

$$s = \sqrt{DQ},$$

де DQ - дисперсія довільного зведеного ПЯ.

Порівняння довільно зведених ПЯ, визначених їх математичними очікуваннями, за своєю суттю зводяться до встановлення домінування в середньому показнику Q_i показника Q_j , що математично записується як

$$(Q_i \succ Q_j)^M \Leftrightarrow (M Q_i > M Q_j) \Leftrightarrow (\overline{Q}_i > \overline{Q}_j).$$

Поруч зі співвідношенням домінування в середньому, можна, звичайно, використати й інші співвідношення домінування за ймовірністю.

Довільність окремих компонент, які складають зведений ПЯ, дають можливість розрахунку необхідних оцінок якості, міри точності та достовірності оцінок об'єктів енергетики, які необхідно порівняти. Використовуючи отримані величини, можна виконати поділ будь-яких об'єктів енергетики, що порівнюється відповідно до ПЯ, оцінити точність отриманих оцінок та визначити, чи достовірно проведений поділ. Зазвичай знаходження відповідних величин є складною задачею. У випадку практичного застосування цю задачу необхідно спростити за допомогою визначення більшості математичних об'єктів, які складають зведений ПЯ, а саме синтезуючої функції Q , функції φ , за допомогою яких можна отримати вихідні параметри, їх розмірність та перетворення їх у безрозмірні ПЯ. При цьому вважатимемо, що дефіцит інформації міститься лише у значеннях ВК, а отже й процес довільно поширюється лише на ці значення.

Враховуючи вище наведене, для адитивної синтезуючої функції довільно зведений ПЯ визначатиметься так:

$$Q(q; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i .$$

Для прикладу можна розглянути як ймовірність розподіл значень ВК, що представляє відсутність інформації за пріоритетністю часткового ПЯ, в наслідок чого можна застосувати спосіб максимальної ентропії. У такому разі значення ВК є максимально розподіленими на відрізку, що розглядається $[0, 1]$. Відповідно очікування та відхилення i -го компонента вектору ВК знаходять:

$$\overline{w_i} = M w_i = 1/m ,$$

$$s_i = \sqrt{D w_i} = (m-1)/[m^2(m+1)] .$$

Метод пріоритетності часткових показників якості. Інформація про величину ВК задається за допомогою судження, яке відображує результати проведеної експертизи у вигляді «для розрахунку зведеного показника якості деякий показник q_i буде більший, ніж окремий показник q_j , однак окремий показник q_k необхідно порівняти з показником q_l ». Ці роздуми визначатимуть думку щодо пріоритетності впливу показників об'єкта енергетики на його якість. Математично це можна представити у вигляді відображення нечислової інформації про значення ВК, записаної як система рівнянь і нерівностей:

$$w_i > w_j; w_k = w_l \quad (1)$$

Для кількісного визначення інформації про значення ВК, записується система нерівностей

$$0 < a_i \leq w_i \leq b_i < 1, \quad (2)$$

які визначають границі інтервалів $\bigcap_{i=1,m} [a_i, b_i]$ варіювання відповідних ВК, причому $0 \leq a_i \leq b_i \leq 1$.

У випадку розгляду реальних об'єктів енергетики, напрямлених на побудову загального ПЯ, може виникнути випадок, коли відсутня можливість визначення

значень ВК навіть у попередньому вигляді, тому в цьому випадку інформація про ВК буде не повністю представлена.

Слід звернути увагу, що інформація про величини деяких ВК представлена у вигляді інформації за інтервалами (2), яку можна застосувати для оцінки всієї системи ВК. Тому, окремий показник q_i зі значущістю, яка більша за значущість інших показників, що розглядаються разом, можна представити у вигляді $0,5 \leq w_i < 1$.

У випадку, якщо значущість іншого показника q_j не більша за значущість показника q_i , а також значущість суми всіх показників не перевершує значущість показника q_j , то виконуються такі нерівності:

$$0,5 \leq w_i \leq 1; 0,25 \leq w_j \leq 0,5.$$

Аналогічним підходом можна визначити інформацію за інтервалами будь-якого ланцюга значущостей будь-яких показників.

З урахуванням співвідношення (1) нормування ВК можна звужити інтервалами, інформація про які представлена у вигляді (2). Якщо представити нерівності

$$\forall_{i=1, m} 0 \leq a_i \leq w_i, \sum_{i=1}^m a_i = a \leq 1,$$

які призведуть до обмеження ВК знизу, а при врахуванні (1) маємо нерівності

$$w_i = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} w_k - \sum_{l=i+1}^m w_l \leq 1 - \sum_{k=1}^{i-1} a_k - \sum_{l=i+1}^m a_l = 1 + a_i - \sum_{k=1}^m a_k = a_i + (1 - a),$$

які обмежать ВК відповідно зверху.

Застосовуючи подібний підхід, якщо запишемо нерівності, які призводять обмеження ВК зверху

$$\forall_{i=1, m} w_i \leq b_i \leq 1, \sum_{i=1}^m b_i = b \geq 1,$$

то нерівності, які обмежують ВК відповідно знизу, матимуть вигляд:

$$w_i = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} w_k - \sum_{l=i+1}^m w_l \geq 1 - \sum_{k=1}^{i-1} b_k - \sum_{l=i+1}^m b_l = 1 + b_i - \sum_{k=1}^m b_k = b_i + (b - 1),$$

Отриману вище інформацію за інтервалами

$$\forall_{i=1, m} a_i \leq w_i \leq b_i$$

можна представити у вигляді відповідної системи нерівностей:

$$\forall_{i=1, m} \max[a_i, b_i - (b_i - 1)] \leq w_i \leq \min[b_i, a_i + (1 - a_i)], \quad (3)$$

Ці нерівності дозволять отримати інтервали, за якими варіюється ВК. Відповідно у випадку наявності інформації за інтервалами величини ВК w_1, w_2, w_3 у можна представити у вигляді:

$$0,1 \leq w_1 \leq 0,3; 0,1 \leq w_2 \leq 0,3; 0,3 \leq w_3 \leq 0,5 \quad (4)$$

Застосовуючи (3) та зауваживши, що $a = 0,5, b = 1,1$, отримуємо такі нерівності:

$$0,2 \leq w_1 \leq 0,3; 0,2 \leq w_2 \leq 0,3; 0,4 \leq w_3 \leq 0,5 \quad (5)$$

Необхідно звернути увагу, що інтервали можливого варіювання значень ВК, які визначені за допомогою системи (5), менші за величиною за довжину інтервалів, які задані вихідною системою (4).

У випадку необхідного спрощення інтервалів можливого варіювання ВК це здійснюють шляхом співставлення інтервальної з ординальною інформації.

Для прикладу, разом з вихідною інформацією за інтервалами за інтервалами варіювання ВК w_1, w_2

$$0,3 \leq w_1 \leq 0,5; 0,1 \leq w_2 \leq 0,4, \quad (6)$$

представлена ординальна інформація про ці коефіцієнти:

$$w_1 < w_2.$$

Використовуючи наведені вище правила, отримуємо інформацію за інтервалами:

$$0,3 \leq w_1 \leq 0,4; 0,3 \leq w_2 \leq 0,4,$$

аналізуючи яку бачимо, що довжина інтервалів варіювання ВК буде менша за початкову.

Метод мінімізації відхилення зведеного ПЯ полягає у принципі об'єктивності [4] для здійснення порівняння різних варіантів виконання об'єкту енергетики, який розробляється. Слід враховувати, що різноманітність варіантів виконання об'єкту енергетики пов'язується з варіюванням його вихідних параметрів та не залежить від вибору ВК.

Застосовуючи принцип об'єктивності для порівняння варіантів виконання об'єктів енергетики, необхідною умовою є встановлення величин ВК так, щоб їх вплив на варіант виконання був мінімальний. Отже, функція Q , яка визначає показник якості об'єкту енергетики, повинен виявити стаціонарність відносно до зміни ВК. У випадку вибору сукупності ВК, яка здійснює забезпечення максимум зведених ПЯ всіх варіантів здійснення енергетичного об'єкту, порівняння варіантів виконання буде об'єктивним.

Відповідно до цього введемо критерій об'єктивності:

$$R = 1 - Q_j / \max Q^{(w)}.$$

Критерій прирівнюється до нуля, коли ПЯ Q_j j -го варіанту об'єкту енергетики порівнюється з максимальним значенням, що досягається за рахунок вибору ВК (тобто за рахунок максимізації Q в області можливих змін ВК та вихідних параметрів).

Слід мати на увазі, що для практичного застосування методу мінімізації відхилення ПЯ умова $R = 0$ є недосяжною, з огляду на це необхідно врахувати, що величини ВК визначені правильно за умови, якщо в області змін первинних параметрів, значення критерію буде найменше. Оцінювання області, в якій змінюються вихідні параметри об'єкту, можна застосувати в процесі проектування та оптимізації, при цьому необхідно повторювати ітерації при зміні значень ВК, також можна виконати спеціальний пошук оптимальних значень ВК.

Для останнього випадку алгоритм для визначення ВК можна представити так.

1. Вибрати методику та позначити область дослідження можливих змін вихідних параметрів, що повинна включати в себе точку оптимального об'єкту енергетики.

2. Отримати область зміни значень ВК, скориставшись методом експертного опитування.

3. Отримати вектор ВК, що призводить до зменшення зведеного ПЯ для кожного значення вектору вихідних параметрів.

4. Отримати для встановлених значень вектору первинних параметрів об'єкту значення зведеного ПЯ, прийнявши значення вектору ВК.

5. Кроки 3 та 4 виконати для всіх значень вектору вихідних параметрів, що визначені в 1 кроці.

6. Розподілити результати, отримані в 5 кроці та задати вектор ВК, який дозволить отримати найменше значення критерію об'єктивності, що дорівнює найменшому відхиленню зведеного ПЯ, яке виникає внаслідок впливу ВК.

Висновки і перспективи. Для порівняння варіантів виконання енергетичних об'єктів шляхом визначення вагових коефіцієнтів зведеного показника якості пропонується використовувати підхід, при якому результати експертного оцінювання доповнені методиками розрахунків. За рахунок застосування такого підходу відбувається зменшення суб'єктивного чинника, який притаманний методу експертного оцінювання.

Список використаних джерел

1. Жильцов А. В., Мірських Г. О. Евристичні і апроксимаційні моделі в проектуванні та експлуатації електротехнічного обладнання. Монографія у двох книгах. К.: Компринт, 2018. Кн.1 – 488 с, кн.2 – 330 с.

2. Ногин В. Д. Использование количественной информации об относительной важности критериев в принятии решений. Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2000. № 2. С. 89–93.

3. Хованов Н. В. Формальная схема составления интегрального прогноза по совокупности экспертных оценок. Исследование свойств полупроводниковых пленок и методов обработки информации. Элиста: Калмыцкий ун-т, 1992. С. 51 – 58.

4. Неклюдов Ю. В. О расчетном методе определения весовых коэффициентов

при скаляризации векторного критерия качества. Материалы Всероссийской НТК "Наука и образование – 2002". Московский гос. техн. ун-т. 2002. С. 141–142.

References

1. Zhiltsov, A. V., Mirskikh, G. O. (2018). Evrystychni i aproksymatsiyni modeli v proektuvanni ta ekspluatatsiyi elektrotekhnichnoho obladnannya [Heuristic and approximation models in the design and operation of electrical equipment]. Monograph in two books. Kyiv: Comprint, 488 (book 1). 330 (book 2).

2. Nohyn, V. D. (2000). Ispol'zovaniye kolichestvennoy informatsii ob otnositel'noy vazhnosti kriteriyev v prinyatii resheniy [Using quantitative information about the relative importance of criteria in decision making]. Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGTU, 2, 89-93.

3. Khovanov, N. V. (1992). Formal'naya skhema sostavleniya integral'nogo prognoza po sovokupnosti ekspertnykh otsenok [Formal scheme for making an integral forecast based on a set of expert assessments]. Issledovaniye svoystv poluprovodnikovyykh plenok i metodov obrabotki informatsii. Elista: Kalmytskiy un-t, 51 – 58.

4. Neklyudov, Y. V. (2002). O raschetnom metode opredeleniya vesovykh koeffitsiyentov pri skalyarizatsii vektornogo kriteriya kachestva [On the computational method for determining the weight coefficients in scalarization of the vector quality criterion]. Materialy Vserossiyskoy NTK "Nauka i obrazovaniye – 2002". Moskovskiy gos. tekhn. un-t, 141-142.

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Г. А. Мирских, В. В. Васюк, Т. С. Книжка

Аннотация. При проектировании энергетических объектов обычно возникает задача сравнения возможных их вариантов исполнения, учитывая потребителское качество. Распространенным и простым в реализации является метод, заключающийся в формировании обобщенного показателя, однако ему свойственна субъективность. Учитывая это, особую актуальность приобретает задача разработки алгоритмов и методов, которые объективно рассматривают показатели качества объекта энергетики.

Утверждается, что в соответствии с условием принятия решения по виду синтезирующей функции основным объектом неопределенности, соответственно и показателя качества, которому присущ субъективный характер, является вектор коэффицентов значимости весовых коэффицентов.

Представлены алгоритмы в условиях неопределенности, которые позволяют построить обобщенный критерий качества объектов энергетики. Для комплексной оценки качества энергетических объектов предложено применять методы произвольных сводных показателей, а именно: метод произвольных сводных показателей, метод приоритетности частных показателей качества и метод минимизации отклонения сводного показателя качества. Предложено для уменьшения влияния субъективных факторов при определении весовых коэффицентов использовать сочетание этих методов. Для метода минимизации

отклонения сводного показателя, используя принцип объективности, разработан алгоритм определения весовых коэффициентов, при этом учтено, что в области допустимых изменений параметров значение критерия будет минимальным.

Соответственно, для решения задачи сравнения вариантов построения объектов энергетики, которое включает в себя определение весовых коэффициентов для формирования сводного показателя, необходимо использовать результаты экспертного оценивания, дополненные расчетными методиками, что позволит уменьшить субъективный фактор, который присущ методу экспертной оценки.

Ключевые слова: *показатель качества, методы определения весовых коэффициентов, сводный показатель качества*

COMBINED METHODS FOR DETERMINING WEIGHT COEFFICIENTS IN THE PROBLEMS OF ASSESSING THE QUALITY OF POWER OBJECTS

G. Mirskikh, V. Vasyuk, T. Knizhka

Abstract. *When designing power facilities, the problem usually arises of comparing their possible options for performance, taking into account consumer quality. A common and easy-to-implement method is the formation of a generalized indicator, however, subjectivity is inherent in it, given this, the task of developing algorithms and methods that objectively consider the quality indicators of an energy object becomes especially urgent.*

It is argued that, in accordance with the condition for making a decision on the type of the synthesizing function, the main object of uncertainty, respectively, of the quality indicator, which is inherently subjective, is the vector of the significance coefficients of the weight coefficients.

The presented algorithms in conditions of uncertainty that allow you to build a generalized quality criterion for energy facilities. For a comprehensive assessment of the quality of energy facilities, it is proposed to use the methods of arbitrary summary indicators, namely: the method of arbitrary summary indicators, the method of priority of private quality indicators and the method of minimizing the deviation of the summary quality indicator. It is proposed to reduce the influence of subjective factors in determining the weight coefficients, it is advisable to use a combination of these methods. For the method of minimizing the deviation of the aggregate indicator, using the principle of objectivity, an algorithm for determining the weight coefficients has been developed, taking into account that in the area of permissible changes in parameters, the value of the criterion will be minimal.

Accordingly, to solve the problem of comparing the options for constructing energy facilities, which includes the determination of weight coefficients for the formation of a composite indicator, it is necessary to use the results of expert assessment that are supplemented by calculation methods that will reduce the subjective factor that is inherent in the method of expert assessment.

Key words: *quality indicator, methods of determining weighting factors, summary quality indicator*