

Рассмотрены меры, уменьшающие потери электроэнергии и размер оплаты за нее, а также процедуры, обеспечивающие точность, оперативность и достоверность измерительной информации, поступающей из автоматизированных систем учета электроэнергии.

Доказана важность мониторинга и контроля текущих технологических параметров режимов электропотребления на промышленных предприятиях.

Разработано несколько новых текущих технологических параметров режимов электропотребления.

Сделан вывод о том, что на промышленном предприятии необходимо создать целостную автоматизированную систему мониторинга режимов электропотребления (а в дальнейшем и всех энергоресурсов) для проведения комплекса мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности предприятия в целом.

Ключевые слова: режим электропотребления, учет электроэнергии, система мониторинга.

Надійшла 29.11.2014

Received 29.11.2014

УДК 621.311

В. М. Сулейманов, канд. техн. наук, профессор

В. А. Баженов, канд. техн. наук, доцент, **Т. Л. Кацадзе**, канд. техн. наук, доцент
НТУУ «КПІ»

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ОСНОВНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМ В УМОВАХ РИНКОВИХ ВІДНОСИН

У статті проведено аналіз чинної методики оптимізації розвитку та техніко-економічного обґрунтування проектних рішень з перспективного розвитку сучасних електроенергетичних систем. Представлена методика визначення оптимальної конфігурації основної мережі електроенергетичної системи, яка базується на методі виключення гілок. Показані потенційні загрози, спрямовані на зниження якості прийнятих проектних рішень, серед яких – недостатня об'єктивність економічних критеріїв ефективності технічних рішень, штучне обмеження простору пошуку на попередньому етапі відбору можливих рішень. Для розв'язання оптимізаційних задач з перспективного розвитку електроенергетичних систем запропоновано використовувати математичний апарат генетичних алгоритмів. Показано, що запропонований підхід забезпечує стійку збіжність процесу пошуку за прийнятну кількість кроків без штучного обмеження простору пошуку і використання додаткової експертної інформації щодо доцільності можливих проектних рішень.

Ключові слова: електроенергетична система, прийняття проектних рішень, оптимізація, техніко-економічне обґрунтування, генетичний алгоритм

Вступ. Енергетика України є базовою галуззю національної економіки, найважливішим фактором її розвитку. Стале функціонування та розвиток паливно-енергетичного комплексу визначає долю реформування енергетики та майбутнього України.

На перспективу до 2030 р в Об'єднаній енергосистемі України зберігається стратегія розвитку живлячих електричних мереж, де системоутворюючі функції видачі потужності крупних електричних станцій та забезпечення паралельної роботи з енергетичними системами інших держав, як і раніше, залишається за електричними мережами напруг 330 та 750 кВ при суттєвому зростанні частки мереж надвисокої номінальної напруги [1, 2].

Енергетика України має у своєму розпорядженні унікальні резерви генеруючих потужностей, але здатність цих резервів стало забезпечувати електроенергією економіку країни обмежено такими негативними факторами:

- 1) недостатньою пропускну здатністю міжсистемних зв'язків;
- 2) моральним та фізичним зносом основних фондів енергооб'єднань внаслідок систематичної недостатності бюджетних коштів;

- 3) непривабленістю енергетичної галузі України для приватних інвестицій;
- 4) низькою ефективністю виробництва та передачі електричної енергії;
- 5) критичним фінансово-економічним станом теплових генеруючих та енергорозподільчих компаній;
- 6) суттєвими заборгованостями між суб'єктами енергоринку.

Перераховані недоліки вказують на необхідність суттєвого реформування енергетики України. Стратегічні цілі подальшого розвитку електроенергетичного комплексу мають полягати у наступному.

1. Корінна перебудова на базі новітніх технологій по забезпеченню маневреності, енергетичної та економічної ефективності.
2. Екологічність.
3. Зовнішня конкурентоспроможність в ринкових умовах функціонування.
4. Забезпечення сталого, надійного, безпечного, якісного та ефективного електропостачання галузей економіки та соціальної сфери країни.

Мета та завдання досліджень. Для електроенергетичної галузі характерні висока концентрація генеруючих потужностей і унікальна централізація енергопостачання великих регіонів з енергетичними потоками різної потужності по електричних мережах декількох класів номінальної напруги. Це забезпечує ефективність електропостачання, але водночас породжує суттєву інерційність розвитку галузі. В результаті дуже дорогі рішення про будівництво великих електростанцій та ліній електропередачі доводиться приймати за багато років до того, як на ринку з'явиться реальний попит на них, а запізнення загрожує великими соціально-економічними витратами. Вихід з положення полягає в організації спеціальних робіт по перспективам розвитку електроенергетики.

Завдання проектування електричних систем і мереж полягає в розробці та техніко-економічному обґрунтуванні рішень, що визначають їх розвиток та забезпечують постачання споживачів електричною енергією за найменших витрат та виконанні технічних обмежень щодо надійності електропостачання та якості електроенергії [3, 4].

Проектування електричних систем і мереж починається з розробки обґрунтовуючих матеріалів для визначення економічної ефективності та доцільності проектування, будівництва або реконструкції та розширення електромережних об'єктів. Цей комплекс проектних робіт включає схеми розвитку електричних систем і мереж, розробки енергетичних і електромережних розділів у складі проектів електростанцій, а також схеми зовнішнього електропостачання великих промислових підприємств.

Проект розвитку електричної мережі може виконуватися як самостійна робота або як складова частина схеми розвитку енергосистеми. При проектуванні електричних мереж ув'язуються рішення щодо розвитку мереж різних призначень і напруг. На різних етапах проектування електричних мереж вирішуються різні за складом і обсягом завдання, які мають такий зміст:

- аналіз існуючої мережі електроенергетичної системи (району, міста, об'єкта), що включає її розгляд з погляду завантаження, умов регулювання напруги, виявлення «вузьких місць» в роботі;
- визначення електричних навантажень споживачів і складання балансів активної потужності за окремими підстанціями та енерговузлами, обґрунтування спорудження нових підстанцій;
- вибір розрахункових режимів електричних станцій та визначення завантаження проектованої електричної мережі;
- електричні розрахунки різних режимів роботи мережі та обґрунтування схеми побудови мережі на розглянуті розрахункові періоди;
- перевірочні розрахунки статичної та динамічної стійкості паралельної роботи електростанцій, виявлення основних вимог до системи протиаварійної автоматики;
- складання балансу реактивної потужності та виявлення умов регулювання режиму напруги в мережі, обґрунтування розміщення компенсуючих пристроїв, їх типу та потужності;
- розрахунки струмів короткого замкнення проектованої мережі і встановлення вимог до комутаційної апаратури, розробка пропозицій з обмеження струмів короткого замкнення;
- вибір та обґрунтування кількості, потужності та місць встановлення реакторів для компенсації ємнісних струмів;
- зведені дані за наміченим обсягом розвитку електричної мережі, натуральні і грошові показники, черговість розвитку тощо.

Зміст проектів розвитку електричних мереж показує, що до їх складу входить дуже широке коло питань, які вирішуються із використанням системного підходу. При цьому необхідно розглядати схеми електростанцій та підстанцій, вирішувати питання захисту від перенапруг, вибирати пристрої захисту та автоматики для автоматичного управління і регулювання режиму роботи електричної системи, включаючи мережі всіх напруг. Таке завдання надмірно громіздке, практично його можна вирішувати тільки по частинах: проектувати окремо мережі різних призначень, релейний захист, пристрої автоматики і так далі. При проектуванні кожної з цих частин окремі частини представляються

наближено, в них враховуються лише впливають на дану частину елементи, для яких передбачаються типові рішення. Надалі ці отримані при проектуванні рішення уточнюються і узгоджуються.

Ефективність функціонування систем виробництва, передачі та розподілу електричної енергії багато в чому визначається конструкторськими рішеннями, які були використані в процесі формування електричних мереж і систем. У загальному випадку, задача проектування розвитку електроенергетичних систем та електричних мереж полягає в розробці та економічному обґрунтуванні технічних рішень, що забезпечують надійне і якісне енергопостачання споживачів електричної енергії з урахуванням всіх технічних, технологічних, екологічних, соціальних та інших обмежень. При цьому суть техніко-економічного обґрунтування конструкторського рішення полягає у вирішенні оптимізаційної задачі мінімізації функції економічної ефективності, наприклад, зведених дисконтованих витрат, серед можливих альтернативних варіантів проектних рішень [3-5].

Матеріал і результати досліджень. Спорудження будь-якого нового електроенергетичного об'єкту, зокрема, електричної мережі, пов'язане з додатковим залученням грошових коштів до електроенергетики. Ефективність використання цих коштів в енергетиці, як і у будь-якій іншій галузі економіки України, має визначальне значення. Тому під час проектування електричної мережі обов'язковою умовою є виконання відповідних техніко-економічних розрахунків, що дозволяють обрати оптимальний варіант електропостачання району з найменшими фінансовими витратами [5].

Вибір економічних перерізів провідників являється однією з найважливіших задач під час проектування і спорудження більшості електричних систем. Саме спорудження та експлуатація багато чисельних ЛЕП пов'язані зі значними капіталовкладеннями, основними витратами провідникових матеріалів та втратами потужності та електроенергії в електричних системах. Зниження втрат потужності в мережах електричних систем тільки на 1% дозволяє звільнити більше 300 МВт встановленої потужності електростанцій, яка може бути використана для живлення додаткових споживачів. При такому суттєвому впливі мереж на економічність електричних систем вибір економічно доцільних перерізів провідників має важливе значення [4, 6].

При оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем вибирають напругу, конфігурацію мережі, марку і переріз проводів лінії електропередач встановлюють черговість спорудження електромережних об'єктів. Оптимальна конфігурація електричної мережі являє собою оптимальний динамічний граф. У складі елементів мережі виділяють лінії електропередачі і трансформатори. Кожен елемент характеризується рядом параметрів, серед яких можуть бути, наприклад, напруга, перетин і число ланцюгів лінії, потужність трансформатора і т. п. Зазначені параметри є дискретними, що викликає істотні ускладнення при розв'язанні задачі оптимізації. Для подолання дискретності задачі застосовується метод економічних інтервалів потужності, в результаті використання якого параметри елементів мережі можуть бути представлені функціями потоку потужності по лінії електропередачі або через трансформатор. Тому при оптимізації для скорочення розмірності розв'язуваного завдання доцільно їх виключити із числа незалежних змінних.

В якості критерію оптимальності при розв'язанні задачі оптимізації розвитку електричної мережі використовують мінімум функції сумарних дисконтованих витрат по всіх елементах мережі

$$Z^c = \sum_{i \in M} Z_i$$

де i – індекс поточного елементу електричної мережі; M – множина допустимих елементів.

При цьому дисконтовані витрати на спорудження i -ї гілки електричної мережі за будь-якого значення транзиту активної потужності по елементу мають задовольняти умові

$$Z_i(P_i) = \min \{Z_{i1}(P_i), Z_{i2}(P_i), \dots, Z_{iv}(P_i)\},$$

де P_i – транзит активної потужності по i -му елементу електричної мережі; V – загальна кількість варіантів технічного виконання i -ї ділянки.

У статичній постановці задачі дисконтовані витрати можуть бути визначені за формулою

$$Z = \frac{I}{E} + K - L, \quad (1)$$

де E – норма дисконту; K – одноразові капіталовкладення в розглянутий варіант розвитку системи; I – щорічні поточні витрати; L – ліквідаційна (залишкова) вартість устаткування, яке демонтується (для об'єктів, які знову споруджують, $L = 0$).

Витрати на спорудження лінії електропередачі можуть бути представлені у вигляді

$$Z_i = Z_{v0} l, \quad (2)$$

де l – довжина лінії; Z_{v0} – дисконтовані витрати на спорудження та експлуатацію одиниці довжини лінії заданого типу, напруги та перетину провозів відповідно до V -го варіанту.

Таким чином з урахуванням виразів (1) і (2) отримуємо вираз, що описує функцію оптимальних витрат для лінії електропередачі

$$Z_{v0} = K_{v0} + \left(\frac{P_i^2}{E \cdot U_{cp}^2 \cdot \cos^2(\varphi)} \cdot r_{v0} \cdot Z_e \cdot \tau \right), \quad (3)$$

де K_{v0} – капіталовкладення на одиницю довжини лінії перетину V (тис. грн/км); U_{cp} – середня експлуатаційна напруга (кВ); $\cos\varphi$ – середнє значення коефіцієнта потужності електропередачі; r_{v0} – погонний активний опір лінії перетином V (Ом/км); Z_e – питома вартість втрат електроенергії (коп/кВт год); τ – число годин максимальних втрат. Якщо транзит активної потужності відсутній, витрати в лінію також приймають рівними нулю.

Такі функції можна записати для всіх припустимих перетинів лінії заданого типу та напруги. Тоді, відповідно до (3), функція оптимальних витрат в лінію від потужності відображає собою нижню криву, що огинає сімейство парабол, кожна з яких побудована для одного із припустимих перетинів. Аргументом функції оптимальних дисконтованих витрат є активна потужність лінії, тому використання даної функції під час оптимізації розвитку мережі дозволяє виключити переріз лінії з числа незалежних змінних. Переріз лінії може бути знайдений за заданим перетоком потужності по лінії за допомогою економічних інтервалів. Аналогічно зі складу незалежних змінних виключається кількість паралельних кіл лінії електропередачі.

Аналогічні функції можна побудувати також для трансформаторних підстанцій з дво- та триобмотковими трансформаторами. Сукупність таких функцій для всіх можливих об'єктів електроенергетичної системи визначає цільову функцію, оптимізація якої визначає найбільш ефективний шлях перспективного розвитку електроенергетичної системи та дозволяє організувати техніко-економічне обґрунтування конфігурації та конструктивного виконання основної мережі проектованої електроенергетичної системи.

В проектній практиці широкого поширення тут набув метод послідовного вимикання гілок. Під час використання цього методу в результаті попереднього інженерного аналізу визначають вихідну розрахункову схему електричної мережі, яка містить надлишкові лінії. Для вихідної схеми мережі розраховують зведені дисконтовані витрати Z_0 . Далі при послідовному відключенні всіх допустимих ліній мережі визначають гілку, видалення якої не порушує зв'язність схеми і призводить до найбільшого зменшення зведених дисконтованих витрат на спорудження та експлуатацію електричної мережі. Отриману ділянку виключають зі складу схеми електричної мережі. Далі знову вибирають лінію, видалення якої призводить до найбільшого зменшення зведених дисконтованих витрат, знову виключають її і так далі. Процес продовжують до тих пір, поки не залишиться електрична мережа, видалення будь якої лінії зі схеми якої буде призводити до збільшення зведених дисконтованих витрат, або до порушення зв'язності схеми.

Алгоритм методу послідовного вимикання гілок можна записати в наступному вигляді.

1. Визначають вихідну надлишкову схему електричної мережі, розраховують зведені дисконтовані витрати на спорудження й експлуатацію даної мережі. В якості множини D приймають порожню множину.

2. Переглядаючи всі гілки електричної мережі з умови

$$Z_0 - Z(\bar{i}) = \max_{m \in M} \{ Z_0 - Z(\bar{m}) \mid m \notin D \} \quad (4)$$

знаходять лінію, відключення якої призводить до найбільшого зменшення зведених дисконтованих витрат. В наведеній умові (4) $m \in M$ показує, що лінія m належить множині гілок електричної мережі M , а $m \notin D$ – лінія m не належить множині D ; $Z(\bar{m})$ – зведені дисконтовані витрати на спорудження та експлуатацію мережі, яка отримана з вихідної схеми шляхом вилучення лінії m .

3. Якщо виконується умова

$$Z_0 - Z(\bar{i}) > 0,$$

то управління передають процедурі 4 алгоритму. В іншому разі роботу алгоритму завершують.

4. Якщо вилучення лінії i порушує зв'язність електричної схеми, то лінію i додають до множини D

$$D = D + i,$$

виключають із множини M

$$M = M - i$$

та передають управління процедурі 6 алгоритму. В іншому разі управління передають процедурі 5.

5. Виключають лінію i із схеми мережі та із множини M . Зведені дисконтовані витрати $Z(i)$ приймають як Z_0 .

6. Якщо множина M пуста, то виконання алгоритму завершують. В іншому разі управління передають процедурі 2 алгоритму.

Зазначимо, що отримана цільова функція оптимальності перспективного розвитку електроенергетичної системи є складною нелінійною дискретною функцією, що ускладнює застосування традиційних методів пошуків екстремуму та оптимізації. До того ж економічні показники ефективності проектних рішень в енергетичній галузі є об'єктивізованими і не забезпечують в повному обсязі всебічну оцінку альтернативних варіантів конструкторських рішень. У першу чергу, це пояснюється багатофакторністю критеріального простору пошуку. Тут вибір найбільш ефективного варіанту розвитку електроенергетичної системи часто пов'язаний з необхідністю врахування взаємоконфліктних, а, іноді, і непорівнянних факторів [7-9]. У сучасних моделях техніко-економічного обґрунтування проектних рішень зазвичай використовують непрямі показники якості, надійності та екологічності функціонування об'єктів електричних мереж. Це дозволяє реалізувати масштабування різних функціональних показників і побудувати функцію зведених дисконтованих витрат, яка полягає мінімізації з метою пошуку найбільш ефективного вирішення. Разом з тим, в сучасних умовах реформування ринку електричної енергії України, особливо з урахуванням монополізації енергетичного виробництва, впливу фінансово-економічних криз банківських систем та ряду інших факторів такі показники не забезпечують об'єктивності оцінювання пропонованих технічних рішень.

Крім того, традиційні методи багатовимірної оптимізації, які використовують в задачах техніко-економічного обґрунтування, є методами локального пошуку, їх ефективність істотно залежить від вибору початкової точки пошуку, а самі методи накладають додаткові обмеження на властивості цільової функції [10]. Окрему увагу слід приділити ще одному фактору, який несе потенційну загрозу погіршення якості проектних рішень в енергетичній сфері. Справа в тому, що рішення задачі мінімізації функції економічної ефективності на попередньому етапі передбачає генерацію декількох можливих альтернативних проектних рішень. Тут вибір найбільш ефективного варіанту розвитку електроенергетичної системи часто може виявитися обмеженим недостатнім досвідом проектувальника або «закостенілістю» його мислення, коли нетипове рішення, що забезпечує мінімум оціночної функції, не буде їм виявлено ще на передньому етапі і, отже, не буде включено до складу рішень, які будуть зіставлятися.

Тут, на думку авторів, досить ефективним може виявитися підхід до формування можливих проектних рішень, заснований на математичному апараті генетичних алгоритмів. Класичний генетичний алгоритм, запропонований Дж. Голландоті, імітує адаптацію популяції до заданої функції пристосованості. При цьому під пристосованістю генотипу розуміється середнє число нащадків, породжуваних за час життя особи даного генотипу в певних умовах навколишнього середовища.

В загальному випадку процес роботи класичного генетичного алгоритму являє собою послідовну зміну популяцій (поколінь), що складаються з фіксованої кількості осіб. Чим більше значення цільової функції особи, тим більше шансів вона має залишити нащадків в наступному поколінні і тим більше пристосованість відповідного генотипу (цей принцип легко адаптується і стосовно завдань мінімізації). При формуванні наступного покоління частина нащадків повністю ідентична батьківським особам, а частина змінюється деяким випадковим чином під дією операторів мутації і кросинговеру (схрещування). Очевидно, що класичний генетичний алгоритм легко пристосувати до розв'язання оптимізаційних задач, зокрема задач пошуку оптимального шляху розвитку електроенергетичної системи.

Дійсно, задачу прийняття проектного рішення щодо вибору оптимального шляху розвитку електроенергетичної системи в загальному випадку можна представити як задачу пошуку оптимального (або прийняттого) рішення в багатофакторному просторі станів. Тут використання моделей інтелектуального пошуку [11]. Методи неінформативного (сліпого) пошуку гарантують визначення оптимального рішення поставленої задачі тільки після повного перебору і порівняння всіх можливих проектних рішень. Однак, внаслідок високої розмірності багатофакторного простору пошуку, використання таких методів часто пов'язано з проблемою комбінаторного вибуху і в реальних умовах проектування не може бути реалізоване. Інша група евристичних методів базується на штучному обмеженні простору пошуку і подальшому зіставленні економічної ефективності обмеженого обсягу альтернативних проектних рішень. Як вже зазначалося вище, «слабкою ланкою» у використанні евристичних методів пошуку є людський фактор, коли брак практичного досвіду особи, що приймає проектне рішення, призводить до того, що найбільш ефективне і перспективне рішення може бути відкинуто ним ще на попередньому етапі штучного обмеження простору пошуку.

Генетичні алгоритми, пропонувані авторами для вирішення проектних задач у багатофакторному просторі пошуку [12-14], значною мірою позбавлені зазначених недоліків. Основна ідея пропонованого підходу полягає у представленні характеристик і властивостей можливих проектних рішень за допомогою двійкового коду та формуванні вектору, що містить бінарні ланцюжки властивостей варіанту проектного рішення. Очевидно, що такий вектор певною мірою відповідає спрощеній математичній моделі генотипу біологічного організму, який містить повну інформацію про цей організм. Вказана обставина дозволяє застосувати основні генетичні операції схрещування, що буде призводити до формування нових проектних рішень з новими властивостями.

Тут формується оцінювальна функція, обумовлена параметрами проектних рішень, яка відповідає оцінці пристосованості біологічного організму до умов навколишнього середовища. Формування можливих проектних рішень здійснюється циклічно, на підставі попередніх поколінь, з використанням генетичних операцій кросинговеру (схрещування), інверсії і мутації, застосовуваних випадковим чином за стохастичними законами. При цьому пріоритет під час схрещування мають проектні рішення, які характеризуються найвищими значеннями оціночної функції ефективності, що гарантує поступове поліпшення якості проектних рішень.

Використання генетичних алгоритмів пошуку гарантує розгляд різноманітних, часто вже не типових рішень проектних задач [15-18], що є основною перевагою пропонованого авторами підходу. Вкажемо також ще на деякі додаткові позитивні якості методів генетичного пошуку:

- 1) простота та прозорість реалізації;
- 2) можливість розпаралелювання процесу пошуку;
- 3) простота кодування та декодування інформації;
- 4) знижена ймовірність зациклювання процесу пошуку у локальних оптимумах.

Разом з тим, використання генетичних алгоритмів пошуку оптимального проектного рішення пов'язано з наступними вадами методів, які необхідно враховувати в процесі вирішення практичних задач:

- 1) висока ітеративність алгоритмів;
- 2) суттєва залежність ефективності генетичного пошуку від його параметрів;
- 3) висока ймовірність передчасної збіжності циклічного пошуку.

Висновки

1. Ситуація, яка склалася в ринку електричної енергії України, характеризується суттєвим браком комерційної свободи для примушування платежів; неспроможністю застосування положень щодо кредитного покриття; неадекватною конкуренцією; неефективним формуванням оптових цін на електричну енергію; монополізацією ринка постачальниками електричної енергії; незавершеністю структури контрактів; перешкодами для приватних інвесторів; перехресними субсидіями в оптових цінах на електроенергію; відсутністю ринку допоміжних послуг; браком положень щодо міжнародної торгівлі електроенергією.

2. Назріла необхідність переходу на нову модель ринку двосторонніх контрактів, що дозволить запровадити новий механізм балансування електричної енергії та створити ринок допоміжних послуг.

3. Чинні методики техніко-економічного обґрунтування варіантів розвитку основних мереж енергосистем України є застарілими та не відповідають сучасним реаліям ринкових відносин. На сьогодні техніко-економічному обґрунтуванню проектних рішень в енергетиці приділяють недостатньо уваги, що призводить до неефективних перевитрат коштів на будівництво нових електроенергетичних об'єктів. Це пояснюється, у першу чергу, застарілістю чинних методик вибору оптимальних економічних рішень, їх невідповідністю реаліям сучасних ринкових відносин.

4. Розроблено математичну модель та алгоритм прийняття проектних рішень з розвитку електроенергетичних систем, які базуються на апараті генетичних алгоритмів. Запропонований підхід забезпечує розгляд різноманітних, особливо нетипових рішень проектних задач, що гарантує виявлення найбільш ефективного проектного рішення в багатофакторному просторі пошуку.

5. Застосування генетичних алгоритмів оптимізації проектного рішення характеризуються високою ефективністю і кращими властивостями в порівнянні з методами неінформативного і евристичного пошуку, що забезпечує виявлення оптимального рішення у всьому просторі пошуку за прийнятну кількість кроків.

6. Ефективне використання математичного апарату генетичних алгоритмів у задачах прийняття проектних рішень розвитку електроенергетичних систем вимагає розв'язання проблеми налаштування параметрів алгоритму – обсягу початкової популяції, тривалість життєвого циклу породжуваних рішень, способу формування батьківських пар, імовірнісних характеристик генетичних операцій тощо. Для розв'язання такої задачі автори передбачають використовувати апарат нечіткої логіки, що забезпечує виконання «тонкого» налаштування генетичного алгоритму на основі вербальних оцінок його функціонування.

Список літератури

1. Сулейманов В.Н., Кацадзе Т.Л. Оценка стратегических направлений развития Национальной энергетической системы Украины на удаленную перспективу на основе аппарата q -анализа // *Технічна електродинаміка*. Тематичний випуск. - 2006. - Ч.4. - С.35-38.
2. Сулейманов В. М., Баженов В. А., Кацадзе Т. Л. Оптимізація робочих режимів електричних мереж системоутворювальних ліній електропередач надвисокої номінальної напруги // *Вісник Чернігівського державного технологічного університету : наук. зб.* - Чернігів: ЧДТУ, 2012. - №1(55) - С. 211-218
3. Поспелов Г. Е. Электрические системы и сети. Проектирование: Учеб. пособие для вузов / Г. Е. Поспелов, В. Г. Федин. – Минск: «Вышэйшая школа», 1988. – 308 с. – ISBN 5-339-00015-X.
4. Арзамасцев Д. А. Модели оптимизации развития энергосистем: Учеб. пособие для студентов вузов / Под ред. Д. А. Арзамасцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 272 с.
5. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика ГКД 340.000.002-97. Энергосистемы і електричні мережі [Текст]. – К.: Міненерго України, 1997. – 48 с.
6. Баженов В.А. Модели оптимального развития энергосистем, Учебное пособие. – К.: КПИ 1984. – 100 с.
7. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения: пер. с англ./ Р. Л. Кини, Х. Хайфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с
8. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений [Текст] / И. Г. Черноруцкий. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 416 с. - ISBN 5-94157-481-9.
9. Башлыков А. А. Проектирование систем принятия решений в энергетике [Текст] / А. А. Башлыков. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 120 с.
10. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С. О. Субботіна. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с.
11. Бондарев В. Н. Искусственный интеллект [Текст]: учеб. пособ. / В. Н. Бондарев, Ф. Г. Аде. - Севастополь : Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2002. - 616 с.: ил. - Библиогр.: с. 605-608 (95 назв.). - ISBN 966-7473-45-7.
12. Кацадзе Т. Л., Сулейманов В. Н., Баженов В. А. Применение аппарата генетических алгоритмов для принятия проектных решений по развитию электроэнергетических систем / *Енергетика: економіка, технології, екологія*. - 2013, №2. - с. 58-65
13. Кацадзе Т. Л. Принятие оптимальных проектных решений по развитию электроэнергетических систем // *Материалы III ежегодной Международной научно-практической конференции "Повышение эффективности энергетического оборудования - 2013"*, Москва, 2013. Том 1. - с. 257-274
14. Кацадзе Т. Л. Принятие решений по размещению возобновляемых источников энергии в электроэнергетической системе // *Відновлювана енергетика XXI століття*. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції. – Крим, 2013
15. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с. – ISBN 5-7768-0293-8.
16. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы: пер. с польского / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. – ISBN 5-93517-103-1.
17. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: учебн. пособие / под ред. В. М. Курейчика. – Ростов-на-Дону: ООО «Ростиздат», 2004. – 400 с. – ISBN 5-7509-0067-3
18. Haupt R. L. Practical Genetic Algorithms / Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt. – John Wiley & Sons, 2004. – 272 pp.

**V. Suleymanov, V. Bazhenov, T. Katsadze
NTUU “KPI”**

**THE MODELS AND METHODS FOR OPTIMIZATION OF BASIC NETWORKS POWER
SYSTEMS DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF MARKET RELATIONS**

The paper analyzes existing technique feasibility of design decisions on long-term development of electric power systems. Showing the potential threats to reduce the quality of the design decisions, among them – the lack of objective economic criteria of efficiency of technical solutions, the artificial restriction of the search space at the preliminary stage of the selection of possible solutions. To solve the problem of formation and selection of the optimal project plan of development of power system is proposed to use the mathematical apparatus of genetic algorithms. The main idea is to encode information about characteristics of possible design solutions in the form of binary vector – genome. Next, the application of genetic operations leads to the

generation of new design solutions, the quality of which is estimated by target function. The objective function is designed to assess the quality of design solutions, such as by means of economic efficiency criteria. The basic genetic operations - crossover is performed with genotypes of parental pairs of the current set of design decisions. Priority in the formation of parental pairs are design solutions that are characterized by the highest quality assessments. To provide reliable variety of design decisions carried in the evolution of additional genetic operations – mutation and inversion. Performing these operations provide a way out of local optima, which may fall evoltsionny algorithm. The paper presents the mathematical model and method of formation and feasibility making design decisions concerning future development of electric power systems based on mathematical apparatus of genetic algorithms. The functioning of the developed mathematical tools demonstrated for solving the transportation problem nutrition consumers from nodal power plant. It is shown that the proposed approach provides a stable convergence of the search process in a reasonable amount of steps without artificial restrictions of the search space and without use of additional expert information on the feasibility of possible design solutions. The problem of setting a genetic algorithm, that is the choice of the initial population, life expectancy of possible solutions, the probability characteristics of the genetic operations, etc. is considered. To set up a genetic algorithm is proposed to use the mathematical apparatus of fuzzy logic, which provides a definition of the parameters of the algorithm on the basis of verbal estimates.

Keywords: power system, making design decisions, optimization, feasibility study, genetic algorithm

1. Suleymanov V.N., Katsadze T.L. Evaluation of the strategic directions of development of the National Energy System of Ukraine to the remote prospect based on q-analysis apparatus // Technical electrodynamics. Thematic issue. - 2006. - Vol.4. - p.35-38 (Rus).

2. Suleimanov V.M., Bazhenov V.A., Katsadze T.L. Optimization of operating modes of electric networks system-EHV power lines rated voltage // Journal of Chernihiv State Technological University: Science. - Chernihiv, 2012. - №1(55) - p. 211-218 (Ukr)

3. Pospelov G. E. Electric Systems and Networks. Design / G/ E/ Pospelov, V. G. Fedin. – Minsk, 1988. – 308 pp. – ISBN 5-339-00015-X (Rus).

4. Arzamastsev D. A. Optimization Model of Power Systems / edited by Arzamastsev D. A. – Moscow, 1983. – 272 pp (Rus).

5. Determining the cost-effectiveness of investments in energy. Methods GKD 340.000.002-97. Energy and electricity networks. – Kyiv, 1997. – 48 pp (Ukr).

6. Bazhenov V. A. Model of optimal development energosistem. – Kyiv, 1984. – 100 pp (Rus).

7. Kini R. L. Decision-Making in Multi-Criteria: Preferences and Substitution / R. L. Kini, H. Hajfa. – Moscow: Radio i svjaz'. – 560 pp (Rus)

8. Chernorutsky I. G. Decision-making methods / Chernorutsky I. G. – SPb, 2005. - 416 pp. - ISBN 5-94157-481-9 (Rus).

9. Bashlykov A.A. Designing systems of decision-making in the energy sector [Текст] / Bashlykov A.A. – Moscow, 1986. - 120 pp (Rus).

10. Subbotin S. O., Oliinyk A. O., Oliinyk O. O. Not iterative, evolutionary and multi-agent methods for synthesis of fuzzy logic and neural network models: Monograph / edited by S. O. Subbotin. — Zaporizhzhia: ZNTU, 2009. — 375 pp (Ukr).

11. Bondarev V. N. Artificial Intelligence / V. N. Bondarev, F. G. Ade. - Sevastopol' : Izd-vo Sev. NTU, 2002. – 616 pp. – ISBN 966-7473-45-7 (Rus).

12. Katsadze T. L., Suleymanov V. N., Bazhenov V. A. Application of genetic algorithms apparatus for making design decisions for the development of electric power systems / Energy: economics, technology, ecology. - 2013, №2. - p. 58-65

13. Katsadze T.L. Making optimal design decisions on the development of electric power systems // Proceedings of the III Annual International scientific-practical conference "Improving the efficiency of energy equipment - 2013", Moscow, 2013. Vol 1. - p. 257-274 (Rus)

14. Katsadze T. L. Making decisions on placement of renewable energy in the electricity system // Renewable Energy XXI century. Materials XII International Scientific Conference. – Crimea, 2013 (Rus)

15. Voronovskij G. K. Genetic Algorithms, Artificial Neural Networks and the Problem of Virtual Reality / G. K. Voronovskij, K. V. Mahotilo, S. N. Petrashev, S. A. Sergeev. – Har'kov: OSNOVA, 1997. – 112 pp. – ISBN 5-7768-0293-8 (Rus).

16. Rutkovskaja D. Neural Networks, Genetic Algorithms and Fuzzy Systems / D. Rutkovskaja, M. Pilin'skij, L. Rutkovskij. – Moscow : Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 452 pp. – ISBN 5-93517-103-1 (Rus).

17. Gladkov L. A., Kurejchik V. V., Kurejchik V. M. Genetic Algorithms / edited by V. M. Kurejchik. – Rostov-na-Donu: OOO «Rostizdat», 2004. – 400 pp. – ISBN 5-7509-0067-3 (Rus).

18. Haupt R. L. Practical Genetic Algorithms / Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt. – John Wiley & Sons, 2004. – 272 pp.

В. Н. Сулейманов, канд. техн. наук, профессор;
В. А. Баженов, канд. техн. наук, доцент; **Т. Л. Кацадзе**, канд. техн. наук, доцент
НТУУ «КПІ»

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ СЕТЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ

В статье проведен анализ действующей методики оптимизации развития и технико-экономического обоснования проектных решений по перспективному развитию современных электроэнергетических систем. Представлена методика определения оптимальной конфигурации основной сети электроэнергетической системы, базирующаяся на методе исключения ветвей. Показаны потенциальные угрозы, направленные на снижение качества принятых проектных решений, среди которых – недостаточная объективность экономических критериев эффективности технических решений, искусственное ограничение пространства поиска на предыдущем этапе отбора возможных решений. Для решения оптимизационных задач по перспективному развитию электроэнергетических систем предложено использовать математический аппарат генетических алгоритмов. Показано, что предлагаемый подход обеспечивает устойчивую сходимость процесса поиска за приемлемое количество шагов без искусственного ограничения пространства поиска и использования дополнительной экспертной информации о целесообразности возможных проектных решений.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, принятия проектных решений, технико-экономическое обоснование, оптимизация, генетический алгоритм.

Надійшла 30.10.2014

Received 30.10.2014

Д.С. Серета; М.Ф. Боженко, канд. техн. наук, доцент
НТУУ «КПІ»

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ГРОМАДСЬКИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Наведена методика порівняння за зведеними витратами п'яти найбільш відомих постачальників на ринок України припливно-витяжних камер місцевих систем механічної вентиляції та місцевих автономних систем кондиціювання повітря (спліт-систем). Отримано графіки залежності зведених витрат від повітропродуктивності (для припливних камер) та холодопродуктивності (для спліт-систем кондиціювання повітря).

Ключові слова: вентиляція, припливна камера, кондиціювання, спліт-система, зведені витрати.

Вступ

Завданням вентиляційних пристроїв є створення у приміщеннях повітряного середовища, яке б задовольняло санітарно-гігієнічним вимогам та умовам виробництва. Це досягається шляхом видалення із приміщення забрудненого повітря та подачою до нього свіжого зовнішнього.

За допомогою систем механічної вентиляції можна очистити повітря від пилу та шкідливих речовин, в деяких випадках зволожити його та підігріти в холодний період року [1].

Найпоширенішими для громадських та промислових будівель є системи припливно-витяжної механічної вентиляції, основними елементами яких є: повітрозабірні пристрої, фільтри, калорифери, припливні та витяжні вентилятори, повітророзподільні та витяжні пристрої, повітропроводи. Обладнання для очищення повітря від пилу, нагрівання та переміщення повітря розташовується в припливних камерах.

Необхідною умовою в сучасних системах вентиляції є використання теплоти вентиляційних викидів для нагріву припливного повітря в спеціальних пристроях (рекуператорах, регенераторах).