

## 섹션 16. SYSTEM ANALYSIS, MODELING AND OPTIMIZATION

DOI 10.36074/logos-24.11.2023.33

### ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ

ORCID ID: 0000-0002-5277-2577

Костянтин В'ячеславович Беглов

канд.техн.наук, доцент

Національний університет «Одеська політехніка»

ORCID ID: 0009-0000-2491-3015

Олександр Юрійович Попов

аспірант

Національний університет «Одеська політехніка»

УКРАЇНА

**Анотація.** В статті розглянуті основні задачі, що вирішуються при керуванні енергосистемою з метою забезпечення ефективної та безперебійної роботи системи: визначення оптимальних графіків виробництва, передачі та споживання електроенергії з урахуванням попиту, наявних ресурсів, обмежень і вимог щодо надійності та ефективності системи; керування споживанням електроенергії з метою балансування попиту та забезпечення стійкості системи, а саме: перерозподіл навантаження, планування пікового навантаження, управління споживачами; моніторинг, керування та оптимізація роботи розподільчих мереж, включаючи керування переключенням, оптимізацію напруги, виявлення та відновлення відмов, підтримку стійкості.

**Вступ.** У сучасному світі, що стрімко розвивається, автоматизація різних систем стала необхідністю. Однією з таких систем, яка потребує автоматизації, є енергетична система. Зі зростанням попиту на енергію та необхідністю ефективного управління, використання інформаційних моделей стало критично важливим.

Інформаційна модель – це абстрактна представлення реальної системи, яке використовується для збору, організації, аналізу та передачі інформації про цю систему. Вона описує структуру, функції, взаємозв'язки та властивості системи, дозволяючи розуміти її роботу і взаємодію з навколишнім середовищем.

Інформаційна модель може бути представлена у вигляді діаграм, схем, математичних моделей, баз даних або програмного забезпечення. Вона включає в себе різні компоненти, такі як дані, процеси, правила, взаємодії та інші елементи, які необхідні для опису системи [1].

Основні характеристики інформаційної моделі включають [2,3]:

1. Структура: Визначає, як компоненти системи пов'язані між собою і як вони організовані у внутрішньому та зовнішньому середовищі.

2. Функції: Описують, які процеси, операції або функції виконує система для досягнення своїх цілей.

3. **Взаємодії:** Визначають, як система взаємодіє з іншими системами, користувачами або зовнішнім середовищем через обмін інформацією або сигналами.

4. **Поведінка:** Описує реакції системи на зміни у вхідних даних або взаємодію з іншими системами.

5. **Властивості:** Включають характеристики системи, такі як продуктивність, надійність, безпека, ефективність тощо.

Інформаційні моделі використовуються у багатьох галузях, включаючи інженерію, бізнес-аналітику, комп'ютерні науки, управління проектами та інші. Вони допомагають розуміти, аналізувати та оптимізувати роботу системи, а також сприяють ефективному прийняттю рішень.

Інформаційні моделі забезпечують структуроване представлення енергетичної системи, що дозволяє краще її розуміти та аналізувати. Ці моделі охоплюють різні компоненти системи, такі як електростанції, лінії електропередач та розподільчі мережі. Представляючи ці компоненти в цифровому форматі, інформаційні моделі дозволяють автоматизувати завдання, пов'язані з управлінням енергією.

Однією з ключових переваг використання інформаційних моделей для автоматизації енергосистеми є покращення процесу прийняття рішень. Ці моделі надають дані про виробництво, споживання та розподіл енергії в режимі реального часу, що дозволяє операторам приймати обґрунтовані рішення. Наприклад, при раптовому збільшенні попиту на енергію інформаційна модель може попередити оператора і запропонувати найбільш ефективний спосіб задоволення попиту [4].

Крім того, інформаційні моделі дозволяють проводити прогнозний аналіз, що має вирішальне значення для ефективного управління енергоспоживанням. Аналізуючи історичні дані та поточні тенденції, ці моделі можуть прогнозувати майбутній попит та пропозицію енергії. Це дозволяє операторам оптимізувати виробництво та розподіл енергії, гарантуючи, що не буде втрат або дефіциту енергії.

Ще однією перевагою використання інформаційних моделей для автоматизації енергосистем є підвищення надійності та безпеки. Ці моделі можуть виявляти аномалії та потенційні збої в системі, дозволяючи операторам вживати превентивних заходів. Наприклад, якщо є несправність в лінії електропередачі, інформаційна модель може ідентифікувати несправність і запропонувати альтернативні маршрути для передачі енергії [5].

**Постановка задачі.** При керуванні енергосистемою вирішуються різноманітні задачі з метою забезпечення ефективної та безперебійної роботи системи. Основними задачами є:

– Планування режиму роботи. Визначення оптимальних графіків виробництва, передачі та споживання електроенергії з урахуванням попиту, наявних ресурсів, обмежень і вимог щодо надійності та ефективності системи.

– Управління навантаженням (Load Management). Керування споживанням електроенергії з метою балансування попиту та забезпечення стійкості системи. Це може включати перерозподіл навантаження, планування пікового навантаження, управління споживачами тощо.

– Управління розподільчими мережами. Моніторинг, керування та оптимізація роботи розподільчих мереж, включаючи керування переключенням, оптимізацію напруги, виявлення та відновлення відмов, підтримку стійкості тощо.

– Прогнозування навантаження. Використання статистичних методів та аналітики для прогнозування майбутнього попиту на електроенергію. Це допомагає управляти виробництвом та передачею енергії, планувати роботу генеруючих потужностей та оптимізувати використання ресурсів.

– Управління резервами та резервними генеруючими потужностями. Забезпечення наявності достатнього резерву електроенергії для вирівнювання коливань попиту та забезпечення надійності системи. Це може включати управління запасними генеруючими потужностями, запасами палива, акумуляторами тощо.

– Управління енергоефективністю. Впровадження заходів для зниження споживання енергії та підвищення енергоефективності. Це може включати моніторинг та аналіз споживання, розробку енергетичних програм економії, впровадження схем енергоменеджменту тощо.

Ці задачі допомагають оптимізувати енергосистему з точки зору ефективності, надійності, енергоефективності та стійкості, що є важливими аспектами при керуванні енергосистемою. Розглянемо кожну задачу в контексті використання інформаційної моделі.

**Викладення основного матеріалу.** Для автоматизації управління енергосистемою використовуються різні інформаційні моделі, що допомагають збирати, аналізувати та керувати великим обсягом даних. Деякі з таких моделей включають [6]:

– SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – система збору та нагляду за даними, яка використовується для збору інформації з різних датчиків, контролювання пристроїв та надання операторам інформації про стан енергосистеми.

– EMS (Energy Management System) – система управління енергетичними ресурсами, яка включає в себе моделі для прогнозування навантаження, планування виробництва електроенергії, оптимізації режимів роботи та контролю стану системи.

– DMS (Distribution Management System) – система управління розподільчими мережами, яка використовується для моніторингу та керування розподільчими пристроями, оптимізації навантаження та виявлення відмов.

– Аналітичні моделі та алгоритми машинного навчання – вони використовуються для аналізу великого обсягу даних, прогнозування навантаження, виявлення аномалій та оптимізації режимів роботи енергосистеми.

– Моделі оптимізації та розкладу – вони використовуються для оптимального розподілу виробництва енергії, планування підтримки стійкості системи та максимізації використання ресурсів.

Вказані системи і моделі допомагають автоматизувати процес управління енергосистемою, забезпечуючи ефективну роботу, оптимізацію використання ресурсів та підтримку стійкості системи.

Розглянемо використання інформаційних систем для вирішення вказаних задач детальніше. Використання інформаційних моделей застосовується для планування режимів роботи енергосистеми, включаючи виробництво, передачу та споживання електроенергії. За їх допомогою забезпечується збір, аналіз та обробка великого обсягу даних, необхідних для прийняття рішень щодо оптимального режиму роботи системи. Ось деякі способи, якими інформаційні моделі допомагають у плануванні режимів роботи енергосистеми [7,8].

**Прогнозування навантаження.** Інформаційні моделі використовуються для аналізу історичних даних про споживання електроенергії та інших факторів,

що впливають на навантаження. На основі цих даних моделі можуть прогнозувати майбутнє навантаження з різною гранулярністю (години, дні, місяці), що дозволяє планувати потрібні режими роботи.

*Оптимізація виробництва.* Інформаційні моделі можуть враховувати наявні ресурси, включаючи генеруючі потужності, відновлювальні джерела енергії, запаси палива та інші фактори, щоб оптимізувати розподіл виробництва електроенергії. Вони можуть враховувати ціни на енергію, обмеження щодо викидів, економічні показники тощо для прийняття оптимальних рішень [8-10].

*Планування передачі енергії.* Інформаційні моделі допомагають планувати оптимальні шляхи передачі електроенергії в системі, враховуючи витрати на передачу, ступінь навантаження ліній, обмеження щодо струму, надійність та інші фактори. Вони можуть моделювати різні сценарії передачі енергії та оцінювати їх ефективність [10].

*Управління резервами.* Інформаційні моделі використовуються для планування та управління резервними генеруючими потужностями, які можуть бути активовані в разі потреби. Вони аналізують наявність резервних потужностей, запасів палива, можливості їх мобілізації та допомагають виробляти плани дій.

*Моделювання та симуляція.* Інформаційні моделі також використовуються для моделювання та симуляції різних сценаріїв роботи енергосистеми. Це дозволяє аналізувати вплив різних факторів, таких як зміна попиту, введення нових генеруючих потужностей, ремонтні роботи тощо, на режими роботи системи. Моделювання допомагає зрозуміти можливі проблеми та знайти оптимальні рішення для їх вирішення.

Загалом, інформаційні моделі допомагають зрозуміти складні взаємодії в енергосистемі, аналізувати великі обсяги даних та приймати обґрунтовані рішення щодо оптимального планування режимів роботи. Вони забезпечують інструменти для управління та оптимізації енергосистеми з метою досягнення ефективності, стійкості та надійності роботи.

Наступна задача – керування споживанням електроенергії з метою балансування попиту та забезпечення стійкості енергетичної системи. Існує кілька способів, якими за допомогою інформаційних моделей досягають цілей керування.

*Моніторинг та прогнозування споживання.* Інформаційні моделі збирають і аналізують дані про споживання електроенергії, включаючи історичні дані та поточні виміри. Вони дозволяють прогнозувати попит на електроенергію з різною гранулярністю (години, дні, місяці) та робити передбачення майбутнього споживання. Це дозволяє операторам системи планувати та адаптувати режими виробництва електроенергії для забезпечення балансу між попитом і пропозицією.

Наступною важливою задачею управління енергосистемою є керування розподільчими мережами. Вона складається з моніторингу, керування та оптимізації роботи розподільчих мереж, включаючи керування перемиканням, оптимізацію напруги, виявлення та відновлення відмов, підтримку стійкості.

Управління розподільчими мережами є критично важливим аспектом забезпечення надійного та ефективного постачання електроенергії споживачам. Зі зростанням складності та взаємопов'язаності сучасних енергосистем, ефективний моніторинг, контроль та оптимізація розподільчих мереж набувають все більшого значення.

Одним з ключових аспектів управління розподільчими мережами є контроль за операціями перемикання. Комутаційні операції включають в себе

розмикання та замикання вимикачів для ізоляції або з'єднання різних ділянок мережі. Належний контроль перемикачів має вирішальне значення для підтримання стабільності та надійності розподільчої системи. Сучасні системи моніторингу та керування можуть надавати інформацію про стан вимикачів у режимі реального часу та забезпечувати автоматизовані перемикання на основі попередньо визначених правил та умов.

Ще одним важливим аспектом управління розподільчими мережами є оптимізація напруги. Методи оптимізації напруги спрямовані на підтримку рівня напруги в заданих межах для забезпечення ефективної роботи електрообладнання та мінімізації втрат енергії. Вдосконалені алгоритми керування напругою можуть коригувати налаштування відпайок на трансформаторах і регулювати перетікання реактивної потужності для підтримки оптимального рівня напруги в усій мережі.

При управлінні енергосистемою інформаційні моделі грають ключову роль у прогнозуванні майбутнього попиту на електроенергію. Вони збирають та аналізують різноманітні дані, що дозволяють зрозуміти тенденції та фактори, що впливають на споживання електроенергії, та використовують цю інформацію для створення прогнозів. При прогнозуванні майбутнього попиту на електроенергію використовують кілька способів, при яких використовуються інформаційні моделі.

Ще однією задачею при вирішенні якої використовуються інформаційні моделі є забезпечення резервування потужностей для генерації електроенергії та вирівнюванні коливань попиту з метою забезпечення надійності системи електропостачання. Основні підходи, які використовуються для досягнення цих цілей наступні.

*Прогнозування попиту.* Інформаційні моделі використовуються для прогнозування майбутнього попиту на електроенергію. Вони аналізують історичні дані, зовнішні фактори, такі як погода, та інші фактори, що впливають на споживання електроенергії, для створення прогнозів. Ці прогнози використовуються для планування та визначення оптимальних рівнів резервування потужностей.

*Резервування потужностей.* На основі прогнозів попиту інформаційні моделі допомагають визначити необхідні резервні потужності для забезпечення надійності системи електропостачання. Це може включати резерви у виробництві, які передбачають наявність запасних генеруючих потужностей, а також резерви у передачі та розподілі електроенергії. Інформаційні моделі допомагають оптимізувати розподіл резервних потужностей для ефективного використання ресурсів.

*Керування навантаженням.* Інформаційні моделі допомагають керувати навантаженням у системі електропостачання. Вони аналізують інформацію про попит та використання ресурсів, щоб вирівняти навантаження в реальному часі. Це може включати встановлення пріоритетів для розподілу електроенергії, використання тарифів змінної ціни для стимулювання зміщення споживання в пікові години, а також застосування розумних мереж та технологій управління навантаженням.

*Моніторинг та керування.* Інформаційні моделі використовуються для моніторингу режиму роботи системи електропостачання, виявлення аномалій та вчасного втручання. Вони забезпечують постійний потік даних про стан мережі, навантаження, генерацію електроенергії та інші параметри. Ця інформація використовується для прийняття рішень щодо резервування потужностей,

координації роботи генеруючих установок, планування обслуговування та усунення несправностей.

**Висновки.** Ефективне управління розподільчими мережами має вирішальне значення для забезпечення надійного та ефективного постачання електроенергії. Передові методи моніторингу, контролю та оптимізації можуть підвищити продуктивність та надійність розподільчих систем, забезпечуючи ефективні перемикання, оптимізацію напруги, виявлення та усунення несправностей, а також підтримку стабільності. Інвестиції в сучасні системи управління можуть допомогти комунальним підприємствам покращити загальну продуктивність розподільчих мереж та надавати кращі послуги споживачам.

Завдяки інформаційним моделям можна розробляти ефективні стратегії розподілу ресурсів та використання енергії, що призводить до зменшення витрат та поліпшення загальної продуктивності систем електропостачання. Інформаційні моделі використовуються для аналізу і прогнозування попиту, оптимізації розподілу резервних потужностей, управління навантаженням та моніторингу системи електропостачання. Вони допомагають забезпечити надійність та ефективність роботи системи, а також вирівняти коливання попиту, забезпечуючи стабільне електропостачання.

#### Список використаних джерел:

- [1] Борукаєв З. Х. Моделі та засоби автоматизації систем організаційного управління енергоринком: монографія / З.Х.Борукаєв, І.В.Блінов,К.Б.Остапченко, О.А.Чемерис, В.В.Шкарупило; за заг. ред. З.Х.Борукаєва.– Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2022. –122с. ISBN 978-617-8037-82-6 DOI 10.36074/mtzasoye-monograph.2022
- [2] Медиковський М.О. Інформаційні технології контролю та управління енергоактивними об'єктами. – Львів: ДНДІ інформаційної інфраструктури, 2000. – 247 с.
- [3] Сікора Л.С., Медиковський М.О., Грицик В.В. (мол.) Перспективні інформаційні технології в системах автоматичного управління енергоактивними об'єктами виробничих структур.–Львів: ДНДІ інформаційної інфраструктури, 2002.–416 с.
- [4] Медиковський М.О., Сікора Л.С. Енергоактивні системи: базові концепції та моделі // Інформаційні технології і системи.– 2002.–Т.5, №1-2.– С.26-40.
- [5] Комп'ютерне моделювання електроенергетичних об'єднань як нелінійних динамічних систем: монографія / [В. М. Авраменко, О. В. Мартинюк, Н. Т. Юнеєва та ін.]. – К.: ВП «Едельвейс», 2019. – 128 с. – ISBN 978-617-7619-18-4.
- [6] Комп'ютерне моделювання електроенергетичних об'єднань як нелінійних динамічних систем: монографія / [В. М. Авраменко, О. В. Мартинюк, Н. Т. Юнеєва та ін.]. – К.: ВП «Едельвейс», 2019. – 128 с. – ISBN 978-617-7619-18-4.
- [7] О. С. Яндульський, О. В. Тимохін, А. О. Тимохіна. Деякі аспекти роботи автоматичного частотного розвантаження // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: V міжнар. конф., 29 черв. – 1 лип. 2014 р.: тези допов. – Луцьк – Шацькі озера, 2014. – С. 212–213.
- [8] Яндульський О. С., Труніна Г. О., Нестерко А. Б. Оптимальне регулювання напруги в розподільній електричній мережі з джерелом розосередженого генерування з урахуванням їх належності одному власнику при використанні резерву активної потужності // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – №2/91. – С. 50–54.
- [9] Gurieiev V., Sanginova O. Simulation and study of modes for full-scale mode simulator for Ukrainian energy systems // Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) IEEE Xplore Digital Library. – 2016. – p. 1–4. [Scopus]
- [10] Яндульський О. С., Марченко А. А., Гулий В. С. Дослідження ефективності вторинного регулювання частоти та потужності із залученням енергоблоків різних типів. Перспективні технології та прилади. – 2018 р. – №13. – С. 176–181