

П. М. Баран, В. П. Кідиба, Я. Д. Пришляк, М. І. Дембіцький  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра електричних систем та мереж

## КОМП'ЮТЕРНИЙ СИМУЛЯТОР УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЧАСТИНОЮ ЕНЕРГОБЛОКА ТЕС

© Баран П. М., Кідиба В. П., Пришляк Я. Д., Дембіцький М. І., 2015

**Розроблено комп'ютерний симулятор управління електричною частиною енергоблока для підготовки оперативного персоналу електричної станції.**

**Ключові слова:** *теплова електростанція, атомна електростанція, навчальна система, математична модель, цифрова модель, блочний щит управління.*

**A computer simulation control part of the electric power unit developed for operating staff power station.**

**Key words:** *thermal power, nuclear power, educational system, mathematical model, numerical model, block control panel.*

### Постановка проблеми

Висока якість підготовки спеціалістів, що експлуатують обладнання теплових та атомних електростанцій, є однією з умов безпечної, надійної та економічної їх роботи. У зв'язку з цим значна увага приділяється створенню ефективних систем підготовки і підтримки високого рівня кваліфікації оперативного персоналу енергоблоків ТЕС і АЕС [1–3].

### Аналіз останніх досліджень

Багато наукових та інженерних колективів працює над створенням систем навчання оперативного персоналу ТЕС й АЕС. Переважно розробляють спеціальні навчальні системи з застосуванням комп'ютерних технологій. Ринок таких систем навчання перенасичений різними системами екзамнування з техніки безпеки, відомо велику кількість тренажерів з оперативних перемикачів в електричних мережах, а ось навчальних систем з управління котлами, турбінами, генераторами й іншим складним технологічним обладнанням як і раніше мало [4, 5].

### Постановка задачі

Розробити спеціалізовану навчальну систему з підготовки оперативного персоналу енергоблоків ТЕС та АЕС. Система повинна бути побудована на основі сучасних досягнень функціонування комп'ютерних систем, тобто повинна являти собою комп'ютерний симулятор. Система повинна включати підсистему моделювання процесів в електричній частині енергоблока, підсистему управління електричною частиною енергоблока та навчальну підсистему.

### Виклад основного матеріалу

Однією з основних складових комп'ютерного симулятора є математична модель, котра відображає в реальному часі процеси в електричній частині енергоблока ТЕС.

Розроблена математична модель електричної частини енергоблока ТЕС [6]. Математична модель електричної частини енергоблока ТЕС складається з окремих моделей, а саме: турбоагрегату з системою регулювання швидкості обертання; приймальної електроенергетичної системи; турбогенератора; систем збудження (основної та резервної) з автоматичними системами регулювання струму збудження; електричної частини власних потреб енергоблока; релейного захисту; систем управління та сигналізації.

Кожна з цих моделей описана системами алгебро-диференційних рівнянь.

У загальному випадку систему рівнянь, яка описує математичну модель електричної частини енергоблока можна записати у вигляді

$$d\vec{y}/dt = \vec{f}(\vec{y}, t), \quad (1)$$

де  $\vec{y}$  – багатовимірний вектор координат режиму математичної моделі електричної частини енергоблока;  $\vec{f}(\vec{y}, t)$  – вектор-функція цих координат режиму.

Для розв'язання диференційних рівнянь застосований неявний метод Ейлера, який є стійким до моделювання процесів за значних збурень у системі, таких як аварійне вимкнення блока з мережі, накиди навантаження, втрата збудження тощо. Також цей метод є стійким за інтегрування системи рівнянь на довготривалих часових інтервалах – до кількох годин.

Із застосуванням неявного методу Ейлера система рівнянь має вигляд

$$\vec{y}_{k+1} - \vec{y}_k - h \cdot \vec{f}(\vec{y}_k, t) = 0, \quad (2)$$

де  $\vec{y}_{k+1}$  – багатовимірний вектор координат режиму математичної моделі електричної частини енергоблока на певному кроці інтегрування;  $\vec{y}_k$  – багатовимірний вектор координат режиму математичної моделі електричної частини енергоблока на попередньому кроці інтегрування;  $h$  – крок інтегрування.

Для розв'язання системи рівнянь (2) застосований метод Ньютона, ітераційна формула якого має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \overline{W}(\vec{f}(\vec{y}_{k+1}^{(l)})) \cdot \Delta y_{k+1}^{(l)} &= \vec{y}_{k+1}^{(l)} - \vec{y}_k - h \cdot \vec{f}(\vec{y}_{k+1}^{(l)}); \\ \vec{y}_{k+1}^{(l+1)} &= \vec{y}_{k+1}^{(l)} - \Delta y_{k+1}^{(l)}, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $\vec{y}_{k+1}^{(l)}$  – багатовимірний вектор координат режиму математичної моделі електричної частини енергоблока для  $l$  – і ітерації на  $k+1$  кроці інтегрування;  $\overline{W}(\vec{f}(\vec{y}_{k+1}^{(l)}))$  – матриця Якобі системи рівнянь (2).

Розв'язують систему рівнянь (3) алгоритмом LDU перетворення на основі методу Гаусса [7, 8]. За цим алгоритмом попередньо переставляють місцями рівняння вихідної системи з метою отримання мінімальної кількості ненульових коефіцієнтів під час перетворення матриці Якобі, вилучені тривіальні операції – множення та додавання нуля, множення на одиницю тощо.

Крім того, з метою оптимізації розв'язання системи рівнянь (3), матриця Якобі записана в рядковому вигляді.

Така оптимізація розв'язання системи рівнянь передусім зумовлена потребою моделювання процесів в електричній частині енергоблока *в реальному часі*.

На основі математичної моделі енергоблока була сформована цифрова модель з використанням об'єктно-орієнтованого програмування. Блок-схема цифрової моделі наведена на рис. 1. Програма розпочинає свою роботу створенням екземплярів класів (об'єктів) елементів моделі та графіки, ініціалізацією початкових умов розрахунку, форм та графічних елементів управління, приладів відображення інформації тощо.

Потім активується таймер розрахунку координат моделі. Цей таймер запускає паралельний потік, в якому розв'язують систему диференційних рівнянь, моделюють дії релейного захисту, виводять результати розрахунку на прилади, сигнальні табло тощо. Ці дії періодично ініціалізують з заданим кроком інтегрування.

В основному потоці програми реалізуються функції керування програмою, ключами управління, перемикачами БЩУ тощо.

Програмну реалізацію цифрової моделі здійснювали в середовищі програмування Lazarus 1.2.2. Це дає можливість компілювати програму для роботи в різних операційних системах.

Для створення графічних зображень елементів щита управління використовувалось 3d-середовище Blender 2.69. Використання циклічного рендерингу (cycles render) забезпечило отримання високоякісних максимально наближених до реальних зображень на рідкокристалічному моніторі необхідних об'єктів управління та контролю.

Для малювання стрілок приладів та написів використовували додатковий модуль BRGABitmaps, який дав змогу застосування таких ефектів, як згладжування і прозорість, що значно покращило реалістичність відображення об'єктів управління та контролю на рідкокристалічному моніторі.

Комп'ютерний симулятор для навчання оперативному управлінню електричною частиною енергоблока був реалізований для блока потужністю 300 МВт. Це пояснюється тим, що в Україні є найбільше теплових електростанцій саме з блоками потужністю 300 МВт (7 ТЕС). Тому розроблена уніфікована система управління електричною частиною енергоблока ТЕС потужністю 300 МВт.

На рис. 2 наведено відображення на рідкокристалічному моніторі графічних об'єктів, панелі та моторного поля управління турбогенератором ТГВ-300, на рис. 3 наведено відображення панелі управління електричною частиною власних потреб цього енергоблока.

Операції з перемикачами, ключами управління здійснюються за допомогою маніпулятора "миша". У результаті роботи моделі розраховуються координати режиму електричної частини енергоблока, визначається стан сигнальних табло, стан ламп сигналізації, блінкерів та відтворюються на відповідних до них відображеннях на рідкокристалічному моніторі.

Крім математичної моделі, яка відображає процеси в електричній частині енергоблока, розроблена підсистема навчання оперативному керуванню електричною частиною енергоблока [9].

Підсистема навчання побудована на основі сценаріїв, в яких відображена послідовність виконання операцій в електричній частині енергоблока під час реалізації конкретних режимів, наприклад, синхронізація генератора з приймальною електричною системою, переведення збудження генератора з робочої системи збудження на резервну та навпаки, переведення живлення власних потреб на пускорезервний трансформатор, переведення блока з робочого режиму на холостий хід тощо. Розроблені сценарії враховують специфіку конкретного енергоблока – інструкції з експлуатації обладнання, директивні матеріали тощо. Передбачені характерні нештатні ситуації, які можуть виникнути під час реалізації цих режимів.

Навчальна підсистема дає змогу організувати навчальний процес у кілька етапів. Тому передбачені такі режими роботи навчальної підсистеми:

- режим демонстрації. У цьому режимі навчальна підсистема покроково реалізує сценарій управління енергоблоком у конкретному режимі;
- режим навчання. У цьому режимі навчальний персонал самостійно реалізує запропонований режим блока, а підсистема навчання відслідковує його дії та пропонує конкретні підказки у разі його помилкових дій;



Рис. 1. Блок-схема цифрової моделі

– режим контролю. У цьому режимі автоматично оцінюють дії персоналу під час реалізації конкретного режиму електричною частиною енергоблока.

Розроблений комп'ютерний симулятор впроваджений у навчальному процесі на кафедрі електричних систем та мереж для дисципліни "Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії".

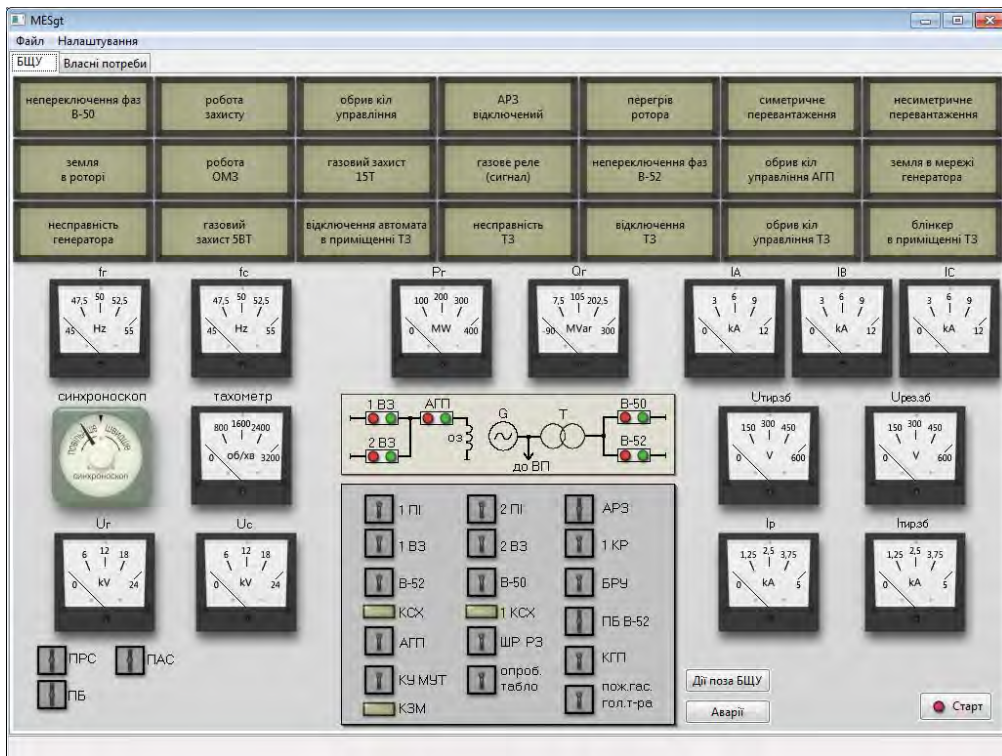


Рис. 2. Відображення фрагменту БЩУ управління генератора

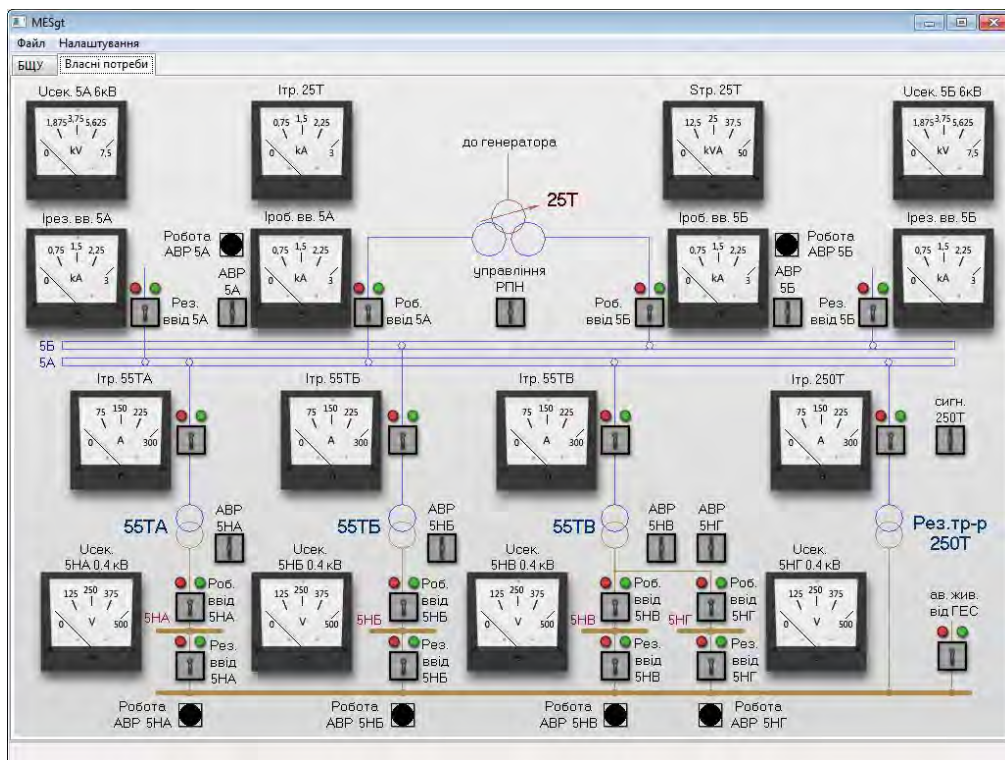


Рис. 3. Відображення фрагменту БЩУ управління електричної частини власних потреб ТЕС

## Висновки

1. Створений комп'ютерний симулятор – це система навчання оперативного персоналу управління електричною частиною енергоблока в стаціонарних, і особливо, в аварійних ситуаціях, дає змогу покращити навички управління енергоблоком та загалом підвищити рівень кваліфікації оперативного персоналу.

2. Сформована математична модель електричної частини енергоблока ТЕС та її цифрова реалізація дає змогу моделювати електромеханічні процеси в електричній частині енергоблока в реальному часі та з необхідною точністю.

3. Математична модель електричної частини енергоблока сформована так, що після незначних доповнень в окремі моделі елементів електричної частини власних потреб блока, її можна використати для моделювання процесів в електричній частині блока АЕС.

4. Використання спеціальних засобів програмування дозволило отримати графічні високоякісні реалістичні зображення на рідкокристалічному моніторі необхідних елементів блокового щита управління, що посилює відчуття реальності під час роботи з імітаторами органів управління електричною частиною енергоблока.

5. Створена бібліотека типових елементів керування електричною частиною енергоблока – ключів управління, перемикачів режимів, приладів контролю координат режиму, табло аварійної сигналізації, сигнальних ламп тощо. На основі цих елементів можна формувати відображення на рідкокристалічному моніторі панелей управління та контролю для енергоблоків іншої потужності та інших типів.

6. Розроблений комп'ютерний симулятор можна впровадити в навчальному процесі для студентів електроенергетичних спеціальностей для отримання знань у галузі оперативного управління об'єктами електроенергетичних систем.

*1. Приоритеты в системе подготовки оперативного персонала АЭС / В. С. Каекин, В. С. Щербнев, А. Ю. Токов // Ядерная энергетика. – 1996. – № 5. – С. 17–19. 2. Мурадян С. Г., Самойлов В. Д., Цицюра Р. Д. Тенденции создания систем обучения и тренировки операторов энергоблоков тепловых и атомных электростанций // Электронное моделирование. – 1983. – № 1. – С.46–52. 3. Матвеев С. И., Беляев В. И. Надежность человеко-машинных систем в электроэнергетике и технические средства подготовки оперативного персонала электрических станций и сетей // Энергосбережение и водоподготовка. – 2002. – № 4. – С. 57–65. 4. ЗАО “Тренажеры для электростанций” /<http://fpps.ru/simulators/>. 5. АСОТ АТ “ЛьвовОРГРЭС” /[http://www.asot.com.ua/System\\_tren.asp](http://www.asot.com.ua/System_tren.asp). 6. Баран П.М., Кидыба В.П., Пришляк Я.Д. Специализована система навчання оперативного персоналу електричних станцій // Вісн. Нац. уні-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 597. – С. 30–33. 7. Основы логико-динамических моделей автоматизированных систем обучения и тренажа оперативного электротехнического персонала электростанций / В. Ф. Скляр, Р. Д. Цицюра, В. С. Перхач и др. // Техническая электродинамика. – 1985. – № 2. – С. 94–99. 8. Кидыба В. П., Скрыпник А.И. Об одном из путей оптимизации цифровых моделей анализа процессов электроэнергетических систем: Тез. Всесоюзн. научн. конфер. Моделирование электроэнергетических систем. – Ч. II. Баку, 1982. – С. 250–251. 9. Кидыба В. П., Пришляк Я. Д. Контроль знаний оперативного персонала автоматизованою системою навчання // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2009. – № 654. – С. 93–96.*