

England.:© JohnWiley&SonsLtd – 2009 – 362

6. *Dr. Ir. W. Lemstra* Cognitive Radiodefying Spectrum Management. – CRNI, Brussels. – 2008 – 41 p.

7. *Yang Xiao* Cognitive Radio Networks. –NYC.:CRCTaylor & Francis Group – 2009 – 459 p.

8. Matlab tutorials: www.mathworks.com/support/learn-with-matlab-tutorials.html – 2018

9. GNURadio.org – tutorials.:wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page. – 2018

Поступила 12.02.2018р.

УДК 621.3.51

В.О. Гурєєв, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ ТРЕНАЖЕРНИХ СИСТЕМ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Abstract.The important and topical questions of methods for modeling the operation modes of large electric energy systems (EES) and power connections (EO) with the purpose of selecting the most effective for use in distributed regime simulator systems are investigated. Conceptual, external and internal schemes of a database (DB) for storage and quick access to the parameters of power systems and the results of modeling their operation have been developed and implemented. The results of computational studies of methods for calculating the steady-state operation of large EES and examples of the application of the developed methods are presented. The ways of creation of modern professional system of continuous training and advanced training using the network of virtual scientific and training centers of modern electronic system of training and training of operational dispatch personnel in power engineering are suggested.

Вступ. Енергетика всіх країн світу виконує важливу функцію забезпечення сталого розвитку цивілізації і, як об'єкт керування, є складною людино-машинною системою. Надійність таких систем значною мірою залежить від рівня автоматизації і комп'ютерного забезпечення процесів виробництва, розподілу і споживання енергії, а також так само і від кваліфікації персоналу, що експлуатує це устаткування в різних режимах.

Нині у всьому світі велика увага приділяється питанням моделювання, дослідження надійності енергопостачання і оптимізації режимів роботи великих енергосистем, діагностики обладнання, модернізації і своєчасної заміни устаткування [1], а питання організації процесів навчання, контролю знань і тренажерної підготовки (розвиток ключових компетентностей) оперативного-диспетчерського персоналу залишаються на другому плані.

Необхідно враховувати, що збиток, пов'язаний з помилками персоналу, часто може бути неприпустимо великий.

Метою роботи є розгляд актуальних питань, пов'язаних з розробкою концептуальних, зовнішніх та внутрішніх схем баз даних (БД) інформаційної частини великих ЕЕС і ЕО та розробці швидкодіючих методів розрахунку їх режимів. Розробка концептуальної схеми є, як правило, дуже важливим і обов'язковим етапом дослідження, проектування, моделювання та оптимізації режимів роботи великих систем [2].

Взагалі дослідження та розробка ефективних структур концептуальних схем БД є складною науково-технічною проблемою. Від дослідників вимагається ретельне вивчення найбільш важливих властивостей предметної області застосування. Пропонована концептуальна схема БД призначена для використання в дистанційних режимних тренажерних системах і реалізована у складі розподіленої інтегрованої системи серверів додатків і систем управління базами даних (СУБД), включаючи віртуальні.

Необхідно взяти до уваги, що практично усі аварії і порушення в роботі сучасних енергосистем безпосередньо залежать від рівня кваліфікації проектувальників, конструкторів, виробників устаткування, експлуатаційного персоналу і його здатності (компетентності) розпізнавати умови виникнення і ліквідації аварій. Люди беруть участь і завжди будуть залучені до всіх операцій, пов'язаних з наладкою, пуском, ремонтом і заміною енергетичного устаткування. Помилки виникають на усіх цих етапах. І, можливо, приблизно 1% або менше кількості аварій, які сталися в енергосистемах і електричних мережах пов'язаний з неймовірним збігом певних технологічних процесів і обставин, внутрішніх і зовнішніх збурень.

Виклад основного матеріалу. Важливим і актуальним завданням для сучасної енергетики є створення комп'ютерних тренажерних систем, які могли б ефективно забезпечувати процеси навчання і тренажерної підготовки персоналу з усім наявним в експлуатації енергетичним устаткуванням з будь-якою потрібною мірою деталізації. Світові тенденції розвитку тренажеробудівництва підтверджують велику потребу і швидкий ріст виробництва тренажерів для енергетики у всіх розвинених країнах [1, 6, 7, 9]. Враховуючи величезний об'єм інформації для опису інформаційних моделей та режимів роботи великих енергосистем і принципову властивість технології енергетики з одночасності процесів виробництва і споживання енергії в часі, представляється доцільним використати для цих цілей розподілені (класстерні) сховища і БД [2, 3, 10].

Основою режимних тренажерних систем для диспетчерського персоналу є достовірна і адекватна інформаційна модель ЕЕС або модель енергетичного об'єднання (ЕО), що об'єднує паралельно працюючі ЕЕС. У свою чергу, моделі ЕЕС і ЕО базуються на моделях їх елементів: вимикачах, трансформаторах, повітряних ліній, територіально адміністративних частин –

обленерго та ін. Процес створення прийнятних для використання в дистанційних тренажерах елементів і компонентів моделей ЕЕС і ЕО є дуже складною науковою задачею і залежить від цілей, системи припущень і постановки завдань.

Одним з найбільш перспективних напрямів рішення цієї задачі є розробка і використання концептуальної схеми БД комбінованих реальних і/або віртуальних (СУБД). В цьому випадку предметна область енергетики представляється деякою сукупністю сутностей і зв'язків, що відбивають найбільш важливі властивості, стосунки і параметри технології виробництва, розподілу і споживання електричної і теплової енергії. В якості сутностей можуть розглядатися будь-які елементи, компоненти і об'єкти предметної області енергетики, що беруть участь в процесах виробництва і споживання енергії. Такий підхід до моделювання процесів функціонування енергетики дозволяє побудувати її повну інформаційну модель і забезпечити усі можливості різноманітної деталізації її складових частин в промислових тренажерних системах для розрахунків різноманітних (нормальних і аварійних) режимів роботи.

Концептуальна схема БД об'єднує сутності предметної області енергетики, які можуть бути представлені реляційними таблицями. Сукупність таких таблиць однозначно описує структуру і зв'язки всіх складових елементів функціонуючих ЕЕС і ЕО.

Представлення інформаційної частини моделі ЕЕС або ЕО за допомогою концептуальної схеми дозволяє системно вирішувати оперативні завдання розрахунку і детальний аналіз різноманітних режимів роботи енергосистем в комп'ютерних тренажерних системах.

Концептуальна схема БД також допомагає легко інтегрувати швидко зростаюче різноманіття різних електроенергетичних завдань, що виникають в процесі створення варіантів сценаріїв навчання і тренажерної підготовки персоналу.

Сутності і зв'язки інформаційної частини моделі, представлені у вигляді концептуальної схеми, дозволяють створити також ефективне розподілене моделююче середовище для розробки і вибору найбільш швидкодіючих методів управління режимами роботи ЕЕС і ЕО.

Зв'язки є логічними відношеннями між сутностями і можуть означати приналежність або дію. В якості простого прикладу розглянемо сутності "підстанція" (ПС) і "електроенергетична система" (ЕЕС). Логічне відношення між ними визначає належність сутності ПС сутності конкретної ЕЕС. Зв'язки допомагають встановлювати однозначну відповідність між параметрами режиму і устаткування, окремими елементами, компонентами і цілком реальними частинами конкретної ЕЕС. В умовах експлуатації кожний елемент енергетичного устаткування завжди належить до конкретного об'єкту (підстанції, лінії електропостачання, електростанції і тому подібне), що входить, у свою чергу, до складу певної енергопостачальної компанії або ЕЕС, які розподілені та розташовані на певній території країни. Такий підхід

до створення інформаційних моделей окремих об'єктів значно спрощує створення повної інформаційної частини моделі ЕЕС або ЕО, і, що саме головне, забезпечує можливість швидко і легко підтримувати в розподілених БД усі моделі елементів, компонентів і об'єктів в актуальному стані. Також важною властивістю концептуальної схеми БД інформаційної частини енергетики є можливість моделювання і оптимізації структур керування окремими територіально-адміністративними системами.

Розробка режимних тренажерних систем заснована на використанні різних типів структурованої (впорядкованою) інформації в БД у вигляді окремих взаємозв'язаних моделей елементів ЕЕС або ЕО, які базуються на поняттях концептуальної, зовнішньої і внутрішньої схем. Концептуальні схеми використовуються для моделювання інформаційної частини предметної області дослідження, а внутрішні і зовнішні схеми – для реалізації моделюючих модулів та взаємодії з навколишнім світом.

Найбільш важливою складовою тренажерної системи є моделюючий комплекс, який повинен адекватно та в комфортний термін реагувати на різні внутрішні або зовнішні збурення. Адекватність забезпечується коректним вибором системи нелінійних рівнянь і нерівностей, які здатні коректно моделювати різні нормальні і аварійні режими.

Відомо [1, 2, 3], що для будь-якого моменту часу t режим роботи довільної електричної мережі або будь-якої з її частин f в загальному вигляді може бути описаний лінійним матричним рівнянням для відомих (заданих/вимірних) струмів вузлів $[\dot{I}_s(t)]_f$:

$$[\dot{I}_s(t)]_f = [\dot{Y}_{ss}]_f \cdot [\dot{U}_s(t)]_f \quad (1)$$

де $[\dot{Y}_{ss}]_f$ – матриця вузлової провідності f -ої частини електричної мережі; $[\dot{U}_s(t)]_f$ – вектор-стовпець напруги вузлів; $[\dot{I}_s(t)]_f$ – вектор-стовпець струмів вузлів.

Якщо відомі або задані потужності вузлів, то формулу (1) можна переписати у вигляді скалярного множення вектору струмів вузлів $[\dot{I}_s(t)]$ на спряжений вектор напруги вузлів $[\hat{U}_s(t)]$:

$$[\dot{S}_s(t)] = ([\dot{Y}_{ss}] \cdot [\dot{U}_s(t)]), [\hat{U}_s(t)] \quad (2)$$

де $[\dot{S}_s(t)]$ – вектор заданих потужностей вузлів.

Формула (2) є матричною формою запису системи нелінійних рівнянь, які однозначно описують режими роботи ЕЕС та ЕО.

Зазвичай формулу (2) використовують у вигляді системи нелінійних рівнянь:

$$\dot{S}_i = -|U_i|^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} \dot{Y}_{ji} + \hat{U}_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} \dot{U}_j \cdot \dot{Y}_{ji} \quad (3)$$

де $|U_i|^2$ – квадрат модулю напруги вузла i , k – кількість прилеглих гілок до вузла i , i – загальна кількість вузлів мережі.

В декартовій системі координат потужність вузлів \dot{S}_i є комплексним числом і не має похідних. Тому зазвичай переходять до полярної системи подвійної розмірності.

$$P_i = -V_i^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} g_{ji} + V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} V_j (g_{ji} \cos \delta_{ij} + b_{ji} \sin \delta_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_i = -V_i^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} b_{ji} + V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} V_j (b_{ji} \cos \delta_{ij} - g_{ji} \sin \delta_{ij}) \quad (5)$$

Повна потужність вузла i $\dot{S}_i = P_i + jQ_i$, кут $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$.

У складі схем заміщення ліній електропередач, трансформаторів і реакторів можуть бути задані поперечні провідності $\dot{Y}_{i0} = G_{i0} + jB_{i0}$.

Формули (4) і (5) доповнюються цими провідностями:

$$P_i = -V_i^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} g_{ji} + V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} V_j (g_{ji} \cos \delta_{ij} + b_{ji} \sin \delta_{ij}) - V_i^2 \cdot G_{i0} \quad (6)$$

$$Q_i = -V_i^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} b_{ji} + V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=k} V_j (b_{ji} \cos \delta_{ij} - g_{ji} \sin \delta_{ij}) - V_i^2 \cdot B_{i0} \quad (7)$$

Вектор напруги вузла в декартовій системі координат запишеться так:

$\dot{U}_i = U_i' + jU_i''$, спряжений вектор – $\hat{U}_i = U_i' - jU_i''$, прямий в полярній $\dot{U}_i = V_i \cdot \cos \delta_i + j(V_i \cdot \sin \delta_i)$, а спряжений комплекс напруги $\hat{U}_i = V_i \cdot \cos \delta_i - j(V_i \cdot \sin \delta_i)$,

де $V_i = \sqrt{(U_i')^2 + (U_i'')^2}$ – модуль вектору напруги.

Кут вектора напруги i -го вузла можна розрахувати за формулою:

$$\delta_i = \arctg\left(\frac{U_i''}{U_i'}\right).$$

Перевірку правильності рішення систем рівнянь (6,7) потрібно робити після закінчення ітераційного процесу розрахунку режиму роботи електричної мережі за допомогою результатів перевірки балансу потужності у кожній f -й ЕЕС та в цілому для ЕО:

$$\sum_{f=1}^{f=m} S_{\bar{A}f}(t) = \sum_{f=1}^{f=m} S_{lf}(t) + \Delta S_f(t), \quad (8)$$

де $\sum_{f=1}^{f=m} S_{\bar{A}f}(t)$ – сума генерації всіх f -х ЕЕС; $\sum_{f=1}^{f=m} S_{lf}(t)$ – сума потужностей

вузлів всіх f -х ЕЕС; $\Delta S_f(t)$ – сума втрат потужностей у всіх f -х ЕЕС, m – кількість ЕЕС.

Якщо баланс (8) не виконується, то вважається, що отриманий режим роботи електричної мережі не відповідає дійсності (неадекватний) і тому знайдені результати не можуть використовуватися для прийняття правильних рішень оперативно-диспетчерським персоналом. В цьому випадку потрібні додаткові дослідження причин незбіжності.

Елементи матриці вузлової провідності $[\dot{Y}_{ss}]_f$ та вектор заданих потужностей вузлів $[\dot{S}_s(t)]_f$ у таких завданнях є відомими величинами, а $[\dot{U}_s(t)]_f$ – невідомими.

В результаті рішення системи нелінійних рівнянь (6, 7) обчислюється невідома напруга вузлів f -ї мережі $[\dot{U}_s(t)]_f$. Таким чином, розрахунок режиму роботи довільної електричної мережі будь-якої f -ї ЕЕС полягає у визначенні вектору напруги вузлів $[\dot{U}_s(t)]_f$ для конкретного моменту часу t . Випадки підключення та відключення окремих f -х частин ЕЕС і ЕО враховуються шляхом введення додаткового вектору заданих потужностей вузлів $[\pm \dot{S}_s(t)]$, який враховується в (2):

$$[\dot{S}_s(t)] = ([\dot{Y}_{ss}] \cdot [\dot{U}_s(t)]), [\hat{U}_s(t)] + [\pm \dot{S}_s(t)] \quad (9)$$

Це дозволяє створити розподілене середовище моделювання режимів роботи великих ЕЕС і ЕО з використанням методів і технологій віртуалізації.

Існує велика кількість досліджень і публікацій [3, 4, 5, 8], присвячених проблемі рішення систем нелінійних рівнянь (6, 7) для різних цілей і задач їх використання.

Найбільш поширеними методами розрахунку режимів роботи ЕЕС і ЕО є варіанти методів Ньютона-Рафсона і Гауса-Зейделя. Головним недоліком

методу Гауса-Зейделя є дуже повільна збіжність ітераційних процесів розрахунку режимів для великих ЕЕС і ЕО. Тому цей метод використовується лише для рішення режимів невеликих систем.

Головними недоліками методу Ньютона-Рафсона є велика вірогідність порушення збіжності ітераційного процесу при невдалому завданні початкових значень параметрів системи (6, 7) або потужностей вузлів і великі обчислювальні витрати. Також великим недоліком цього методу є складність топологічного моделювання режимів роботи електричних схем у випадку низьковольтних мереж енергопостачальних компаній обленерго за наявності великої кількості вимикачів і роз'єднувачів, які мають дуже малий електричний опір. Це призводить до пошуку додаткових методів еквівалентування або завдання невеликого опору для таких елементів, наприклад, порядку 0.01 Ом, що за наявності великої кількості вимикачів або роз'єднувачів дуже сильно впливає на кінцеві результати розрахунків. А після розрахунку режиму еквівалентної схеми без вимикачів потрібно додатково виконувати нові розрахунки для початкової електричної схеми.

Дуже великим недоліком методу Ньютона-Рафсона є також необхідність використання допоміжних алгоритмів еквівалентування паралельних ліній електропередач і трансформаторів. Взаємні елементи матриці Якобі вимагають однозначного визначення тільки однієї лінії або одного трансформатора.

Із-за цих недоліків дуже складно безпосередньо використати метод Ньютона для розрахунку аварійних режимів в тренувальних навчаннях, які вимагають велику деталізацію схем заміщення, включаючи вимикачі, роз'єднувачі, заземлюючі ножі і т. ін. Тому представляється доцільним пошук та розробка таких алгоритмів і методів, які б забезпечили надійні і швидкодіючі розрахунки режимів для будь-яких варіантів розвитку аварій і порушень в роботі енергосистем з великою кількістю вимикачів, роз'єднувачів і заземлюючих ножів.

В якості одного з найбільш перспективних для цих цілей є модернізований багатоопорний метод розрахунку контурних струмів [4, 10]. Основна ідея методу полягає в ітераційній процедурі еквівалентної заміни замкнутої електричної мережі на розімкнену, режим якої повністю співпадає з режимом початкової електричної системи. Реалізація контурної розрахункової моделі режиму електричної мережі передбачає автоматичне виділення в розрахунковій схемі мережі дерева і хорд. Модернізація методу полягає в доповненні алгоритму топологічного аналізу електричних мереж методами автоматичного визначення кількості паралельно працюючих і не працюючих (погашених) ЕЕС і ЕО, режими яких описуються рівнянням (9).

До складу дерева входять ділянки, що забезпечують повний зв'язок усіх вузлів схеми, за умови відсутності хоч би одного замкнутого контуру. Інша частина схеми, що містить гілки, послідовне додавання яких до дерева призводить до утворення замкнутих контурів, називають хордами, а замкнуті контури, що відповідають хордам, – незалежними контурами. Важливою

відмінністю пропонованого методу розрахунку режиму роботи довільної мережі від класичного є наявність нових типів контурів, які утворюються двома опорними вузлами із генерацією і заданим (відомим) модулем або вектором напруги. Такі незалежні контури називаються виродженими і обробляються таким же чином, як звичайні.

Для ілюстрації методу розглянемо довільний приклад електричної мережі з двома опорними вузлами 1 та 3 (рис. 1, рис. 2).

Топологія цієї електричної мережі однозначно описується двома таблицями з інформацією про вузли (табл. 1) і гілки (табл. 2).

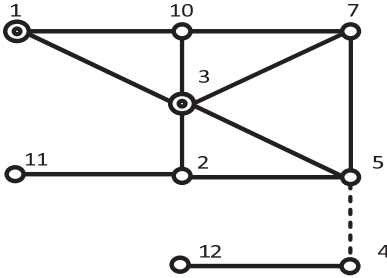


Рис. 1. Початкова схема електричної мережі з двома опорними вузлами

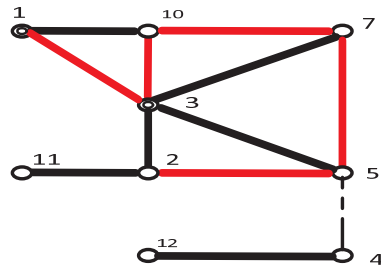


Рис. 2 Після автоматичного розділення схема буде мати два дерева та п'ять хорд

Таблиця 1

№ в БД	Номер вузла	Тип вузла	Параметри вузлів та $[\pm \dot{S}_s(t)]$
1	1	Фіксація модуля напруги	P1,Q1, f1,...
2	2		P2,Q2, f2,...
3	10		P10,Q10, f10,...
4	3	Фіксація вектора напруги	P3,Q3, f3,...
5	5		P1,Q1, f,...
6	7		P5,Q5, f5,...
7	11		P11,Q11, f11,...
8	4		P4,Q4, f4,...
9	12		P12,Q12, f12,...

Таблиця 2

№	№ Початку	№ Кінця	Стан гілки ввімк/вимкннно	Параметри
1	2	5	y	R,X,K,...
2	2	3	y	R,X,K,...
3	3	5	y	R,X,K,...
4	3	7	y	R,X,K,...
5	5	7	y	R,X,K,...
6	1	3	y	R,X,K,...
7	10	3	y	R,X,K,...
8	1	10	y	R,X,K,...
9	7	10	y	R,X,K,...
10	2	11	y	R,X,K,...
11	5	4	n	R,X,K,...
12	4	12	y	R,X,K,...

А система автоматизації розрахунків нової топології схеми буде представлена двома таблицями з упорядкованими по відповідним ярусам вузлами, гілками дерев та хорд, де $\gamma_s, \gamma_1, \gamma_2, \beta$ – номери (адреси) відповідних вузлів дерева і хорд, а α, α_v – номери (адреси) гілок дерева і хорд.

Гілки дерева			Хорди		
γ_s	α	β	γ_1	α_v	γ_2
1	8	3	1	6	4
4	2	2	3	7	4
4	3	5	2	1	5
4	4	6	6	9	3
2	10	7	5	5	6

Для кожної k -ї хорди після поточного розрахунку струморозподілу і напруги вузлів визначаються виникаючі нев'язки напруги \dot{E}_k :

$$\dot{E}_k = \dot{I}_1 \cdot Z_{k1} + \dot{I}_2 \cdot Z_{k2} + \dots + \dot{I}_k \cdot Z_{kk},$$

де Z_{k1}, Z_{k2} и т.д. – відповідно взаємні опори k -го і 1-го, k -го і 2-го і т.д. контурів; Z_{kk} – повний опір k -го контуру; $\dot{I}_1 - \dot{I}_k$ – контурні струми.

В результаті рішення отриманої системи лінійних контурних рівнянь можна легко визначити контурні струми розділеної електричної мережі.

Отримані значення контурних струмів \dot{I}_k на черговій ітерації використовуються для формування вектору-стовпця струмів вузлів еквівалентної розрахункової розімкненої схеми і подальшого розрахунку токів гілок і режиму напруги вузлів.

Нові значення напруги вузлів навантажень використовуються для перевірки умов закінчення ітераційного розрахунку.

Алгоритм роботи з іншими опорними вузлами залежить від типу і властивостей моделей цих вузлів. Можливо використовувати моделі вузлів із заданими (фіксованими) модулями і векторами напруги. У першому випадку в результаті розрахунку визначається реактивна генерація або потужність вузла, а у в другому – визначається повна потрібна для балансування режиму генерація вузла, а заданий вектор напруги фіксується і є опорним для побудови схем автоматизації розрахунків.

Відомо, що час рішення системи (3) залежить (приблизно у кубі) від кількості вузлів/гілок використовуваною для цієї мети, так званої, розрахункової схеми заміщення електричної мережі. Частина часу розрахунку займають операції читання початкових даних і запису результатів розрахунку

у разі використання віддалених баз даних. Тому, разом з розробкою швидкодіючих методів розрахунку систем рівнянь типу (6, 7), необхідно відповідним чином вибрати і швидкодіючу СУБД.

Для порівняно великих мереж з об'ємами вузлів, починаючи від 40 . 50 тисяч, загальний час розрахунку, залежно від завантаженості і конфігурації, може скласти більше кількох хвилин. Такий час абсолютно неприйнятний для використання більшості існуючих методів розрахунку режимів в повнофункціональних режимних тренажерних системах для тренажерної підготовки диспетчерів енергосистем і об'єднань в реальному часі. В таблиці 3 наведені деякі результати розрахунку усталених режимів роботи кількох ЕЕС і ЕО з використанням сучасного персонального комп'ютера й в розподіленому моделюючому середовищі.

Таблиця 3

№	Найменування ЕЕС або ЕО	Об'єм мережі вузли/гілки	Час розрахунку, сек	
			Метод Ньютона-Рафсона	Багатоопорний метод
1.	Центральна ЕЕС	600/900	0.045	0.067
2.	Дніпровська ЕЕС	700/950	0.053	0.078
3.	Південно-Західна ЕЕС	600/700	0.075	0.089
4.	Західна ЕЕС	500/600	0.078	0.097
5.	Північна ЕЕС	4500/5000	0.46	0.96
6.	Південна ЕЕС	680/800	0.058	0.078
7.	ОЕС України	900/1200	0.23	0.68
8.	Тестова експериментальна	17000/20000	23,18	3,92

Основою будь-якого процесу навчання, включаючи тренажерну підготовку, є забезпечення можливості швидкого доступу до бажано структурованих максимально повних і необхідних знань. Такі структуровані знання про предметну область найбільш ефективно застосовуються для формування відповідних ключових компетентностей персоналу. На рис. 3 приведено фрагмент розподіленої тренажерної системи для Західної енергосистеми.

Використання розподіленого віртуального моделюючого середовища дозволяє отримати нову якість системи підвищення кваліфікації і тренажерної підготовки оперативного персоналу енергосистем та забезпечити ефективне формування, контроль і підтримку ключових професійних компетентностей.

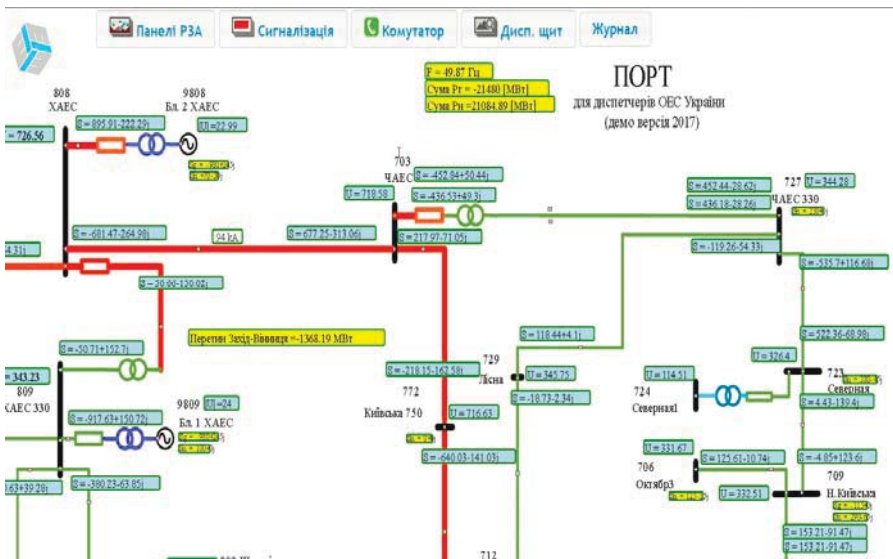


Рис. 3. Інтерфейс тренажерної системи для диспетчерів ОЕС України

Висновки. Запропоновані, розроблені і реалізовані концептуальні, зовнішні і внутрішні схеми БД для моделювання великих ЕЕС і ЕО були використані для створення розподіленої тренажерної системи підготовки персоналу різних рівнів ієрархії управління енергетикою країни. На базі запропонованої концептуальної моделі реалізований швидкодіючий метод розрахунку режимів роботи складних великих енергосистем і їх об'єднань в розподіленому віртуальному моделюючому середовищі кластерних баз даних.

Застосування віртуальної структури загального інноваційного середовища навчання і тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу дозволить створити умови для створення сучасної Національної професійної системи підготовки персоналу у вигляді мережі віртуальних науково-навчальних центрів (ВННЦ) на базі запропонованого моделюючого комплексу.

Отримані автором результати досліджень підтверджують можливість забезпечити ВННЦ необхідними інструментами моделювання режимів роботи великих ЕЕС і ЕО для створення комп'ютерних розподілених тренажерних систем.

1. Гурев В.А., Сангинова О.В. Построение обучающего дистанционного тренажера для подготовки персонала энергетической отрасли // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2017. – Вип. № 48, С.52-58.

2. Jianwei Wu. Simple technique to determine the Givens-Rotation matrix in the two-source

- ICA problem for skewed sources // IEEE Electronic Letters, vol. 52, №8, 2016. – P.613-615.
3. Мировой рынок компьютерных тренажеров для обучения операторов: тенденции, вызовы, прогнозы (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/292960505_Mirovoj_rynok_komputernyh_trenazero_v_dla_obucenia_operatorov_tendencii_vyzovy_prognozy.
4. Аюев Б.И., Давыдов В.В., Ерохин П.М., Неуймин В.Г. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах // под ред. П.И. Бартоломея. М.: Флинта: Наука, 2008. – С.256.
5. Gurieiev V., Sanginova O. Simulation and study of modes for full-scale mode simulator for Ukrainian energy systems, 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS'2016), June 7-11, Kyiv, Ukraine, pp. 97-100.
6. V. Dozortsev, V. Nazin, A. Obznoz, S. Gutsykova, A. Mironova. Evaluation of the Process Operator Knowledge Formation Resulting from Computer-Based Training // In Proceedings of the ESEC'2015-EUROMEDIA'2015-FUBUTEK'2015 Conference (Lisbon, Portugal, April 27-29, 2015). Pp. 118-123.
7. Dozortsev V.M., Nazin V.A. New Approach to Training of Technical Systems Faults Diagnostic Skills: Use of Probabilistic Models // 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Moscow, 2009. Pp.701-706.
8. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. – Москва: Наука, 1972. – 544 с.
9. Operator Training Simulation Global Market Research Study. Market Analysis and Forecast through 2017. ARC Advisory Group. 2012.
10. Аветисян О.В., Гуреев В.О., Сангинва О.В. Розробка та застосування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів, навчання і тренажу персоналу ОЕС України // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 1(124), 2016. – С101-107.

Поступила 22.02.2018р.

УДК 621.791:669.2/8:621.643:620.179.1

О.А. Великоіваненко, Київ

О.С. Міленін, Київ

Г.Ю. Саприкіна, Київ

МЕТОДОЛОГІЯ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ СТАТИЧНОЇ МІЦНОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ ТРУБОПРОВІДІВ З ДЕФЕКТАМИ В ОБЛАСТІ КІЛЬЦЕВИХ ЗВАРНИХ ШВІВ

Abstract. Developed and implemented a set of mathematical models and the means of their computer implementation, allowing to predict the kinetics of the stress-strain state of welded aluminum pipe elements with three-dimensional defects. Criteria for the initiation of macro destruction are proposed. The peculiarities of the influence of such defects on the structural state under the effect of internal pressure are considered.