

О. В. Аветісян<sup>1</sup>  
В. О. Гурєєв<sup>1</sup>  
О. В. Сангінова<sup>2</sup>

## РОЗРОБКА ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ІЄРАРХІЧНИХ СТРУКТУР ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ, НАВЧАННЯ І ТРЕНАЖУ ПЕРСОНАЛУ ОЕС УКРАЇНИ

<sup>1</sup> Науково-виробниче товариство з обмеженою відповідальністю «Інфотех», Київ;

<sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Розглянуто актуальні питання створення та експлуатації розподіленого інформаційного середовища моделювання об'єднаних електроенергетичних систем на базі віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів, навчання і тренажу персоналу.*

**Ключові слова:** енергосистеми та об'єднання, віртуальні моделі, інформаційно-комунікаційні технології, підвищення кваліфікації, повнофункціональні тренажери.

### Вступ

Нині питанням стратегії розвитку об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України приділяється велика увага. У найближчій перспективі планується організувати паралельну роботу ОЕС України і європейської об'єднаної енергосистеми. Тому важливими напрямками реалізації цієї стратегії є ефективне рішення актуальних завдань роботи з персоналом і створення сучасної системи навчання і тренажу на базі новітніх досягнень педагогічної науки і інформаційних технологій. У цій статті розглядаються питання розробки і застосування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів, навчання і тренажу персоналу ОЕС України. Запропоновані нові підходи до створення інноваційного інформаційного моделюючого середовища, що дозволяє значно покращити якість навчання в системі очно-дистанційного підвищення кваліфікації персоналу і при цьому зменшити витрати на відрядження.

### Огляд методів навчання і тренажу персоналу зарубіжних та українських ОЕС

Керівництво оперативною експлуатацією розподіленого на усій території України енергетично-го устаткування ОЕС України повинно здійснюватися дуже кваліфікованим персоналом. Недостатній рівень кваліфікації персоналу і відсутність готовності швидко ліквідувати аварійні ситуації часто призводить до великих міжсистемних аварій і величезних матеріальних витрат на відновлення енергопостачання споживачів [1].

Проблеми формування і підтримки ефективних навичок і способів швидкої ліквідації умов виникнення і розвитку різноманітних аварій пов'язані з відсутністю в енергетиці сучасної системи підвищення кваліфікації персоналу. Існуюча система і принципи роботи з персоналом застаріли, відсутня єдина для енергетичної галузі навчально-методична база, а новітні досягнення інформаційно-комунікаційних технологій і електронного навчання практично не використовуються. Значною мірою такий стан системи підвищення кваліфікації пояснюється катастрофічною відсутністю необхідного фінансування і недостатньої уваги з боку керівництва галузі.

Відсутність аварій, як правило, призводить до зниження готовності оперативно-диспетчерського персоналу розпізнавати умови виникнення аварійних ситуацій і прогнозувати їх розвиток. Як наслідок — втрачаються навички швидкої ліквідації аварій. Тому дуже важливо почати розробляти нові робочі програми роботи з персоналом, що забезпечують високу якість навчання за рахунок застосування нових підходів, заснованих на сучасних принципах очно-дистанційного навчання, і правильного вибору структури й змісту навчально-методичної бази програм підвищення кваліфікації і тренажу персоналу. Застосування сучасних технологій навчання, що базуються на методах

віртуалізації, дозволить забезпечити підтримку належних навичок персоналу і високу якість його підготовки [2—4]. Проте, майже усі створені до теперішнього часу тренажери є локальними, реалізують обмежені функції і практично не підлягають модернізації і розвитку.

### Особливості застосування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів ОЕС України

Аналіз досвіду тривалої експлуатації зарубіжних і вітчизняних ОЕС показав, що однією з головних умов для якісного вирішення завдань навчання і тренажу оперативно-диспетчерського персоналу на усіх рівнях ієрархії існуючої системи управління є створення загального розподіленого інформаційного середовища моделювання ОЕС на базі віртуальних ієрархічних структур.

З теорії лінійних графів відомо [5], що будь-який розгалужений електричний ланцюг, що складається з  $M$  гілок, можна представити у вигляді суми умовно видалених з цієї мережі  $N$  гілок, які називають хордами або гілками зв'язку (перемичками), і деревом мережі з  $M - N$  гілок, що залишилися. Такі дерева не мають замкнених контурів. Кожна з  $N$  гілок зв'язку утворює тільки один незалежний контур ланцюга. При цьому існує велика кількість варіантів структур дерев і хорд для складних ланцюгів, вибір яких дуже сильно залежить від використовуваних алгоритмів рішення таких завдань. На сьогодні існує величезна кількість алгоритмів і програм для аналізу і побудови конфігураційних моделей будь-яких складних мереж.

З метою розділення електричної мережі на дерева і гілки зв'язку, що утворюють незалежні контури, у роботі використаний багатоопорний алгоритм перебору прилеглих до вузлів гілок і формування їх у вигляді ярусів, що утворюють дерева і гілки зв'язку, що виділяються. Процес впорядкування завжди починається від так званих опорних вузлів, із заданою або відомою напругою. Опорні вузли представляють вузли схем заміщення джерел енергії — теплових, атомних і інших електростанцій, або граничні вузли між енергосистемами.

Конфігураційна модель складної електричної мережі представляється набором віртуальних ієрархічних структур моделей дерев і гілок зв'язку. Самі конфігураційні моделі гілок дерева і зв'язків формуються за допомогою індексних посилок, що спрощують розрахунок струмів гілок і напруги вузлів електричних мереж. Віртуальні ієрархічні структури моделей дерев і хорд формуються і підтримуються в реальному часі розподіленими серверами додатків для розрахунку режимів роботи електричних мереж у разі зміни їх параметрів, пов'язаних зі зміною генерації (навантаження) або комутаціями. Віртуальні розподілені сервери додатків обмінюються значеннями напруги граничних вузлів після завершення розрахунків режимів паралельно працюючих енергосистем.

Важливою особливістю розробленого алгоритму розділення мережі на дерево і хорди є уніфікація процесів обліку не лише замкнених, а й розімкнених, так званих, вироджених контурів, утворених двома опорними вузлами. Нині для аналізу процесів і структур складних систем дуже часто використовують методи віртуалізації [2] і хмарних обчислень. До складних систем відносяться енергосистеми та їх об'єднання. Для таких об'єктів дослідження дуже ефективними є методи тензорного аналізу і діакоптики, запропоновані і розвинені Габріелем Кроном [6, 7].

Такий підхід був використаний у цій роботі для аналізу і рішення завдань розрахунку напруги вузлів і струмів гілок складних електричних мереж, які виникають у разі реалізації повномасштабного режимного диспетчерського тренажера на базі віртуальної інформаційної моделі ОЕС України в цілому. Існують тензори різних порядків. Тензор нульового порядку є скалярною величиною. Тензор першого порядку — вектор, компоненти якого можуть бути виражені за допомогою матриці-рядка або матриці-стовпця. Компоненти тензора другого порядку в цій системі координат можуть бути записані у вигляді квадратної матриці. Важливо відмітити, що матриця не є тензором, а є тільки таблицею компонентів тензора в деякій системі координат [8].

Тензорні рівняння ланцюгів еквівалентні матричним рівнянням. Тензори дозволяють представити розділення і об'єднання ланцюгів як перетворення системи координат. Зв'язок векторів напруги  $V_s$  і струмів  $J_s$  виражається за допомогою тензора опорів другого порядку  $V_s = Z_{ss} \cdot J_s$ . Реалізований алгоритм розв'язання рівнянь простого ортогонального ланцюга  $V_s = Z_{ss} \cdot J_s$ , в якому не потрібно обернення повної матриці  $Z_{ss}$ . Також використаний алгоритм розв'язання дуального рівняння  $J_s = Y_{ss} \cdot V_s$ . Тензор  $Z_{ss}$  є коваріантним тензором другого порядку і має два однакові індекси, які вказують систему координат;  $Y_{ss}$  є двічі контраваріантний тензор. Вектори струмів  $J_s$  і напруги  $V_s$  у цій системі координат розглядається як коваріантні тензори першого порядку.



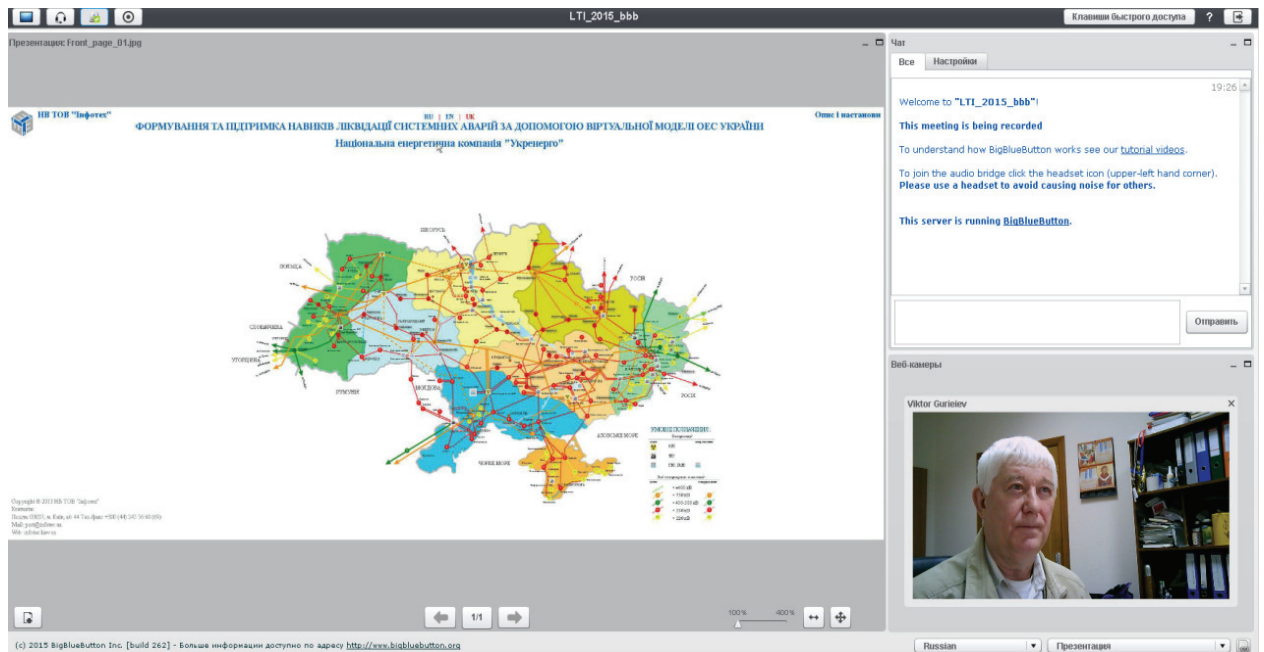


Рис. 2. Фрагмент організації вебінару з тематики оперативних перемикань в електричних мережах

Такий підхід до створення інноваційного середовища навчання і тренажу персоналу в галузі забезпечить нові можливості для отримання оперативної інформації широкому колу користувачів. У нього можуть увійти, окрім діючого оперативно-диспетчерського персоналу, учителі і учні старших класів шкіл України для вибору майбутньої професії, студенти, аспіранти і викладачі технічних університетів для віртуального проходження практики на підприємствах, ознайомлення з умовами роботи на робочих місцях, проведення науково-дослідних робіт в області моделювання режимів роботи енергосистем і їх об'єднань. До роботи в університеті можуть бути запрошені кваліфіковані фахівці-енергетики, що вийшли на пенсію. Сьогодні, на жаль, їх досвід і знання практично втрачаються.

На рис. 3. показаний фрагмент дистанційного курсу на тему: «Створення протиаварійних тренувань з використанням програмного тренажерного комплексу ПТК ОП++».

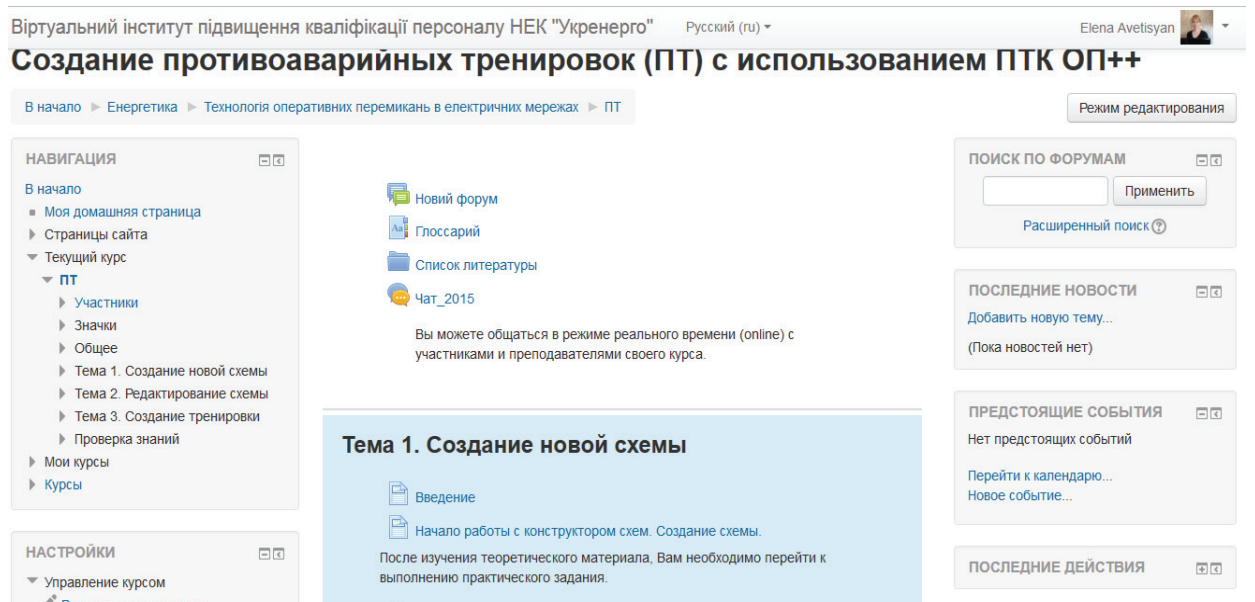


Рис. 3. Фрагмент дистанційного курсу на тему:

«Створення протиаварійних тренувань з використанням програмного тренажерного комплексу ПТК ОП++»

Віртуальні ієрархічні структури дозволяють здійснювати короткостроковий і довгостроковий прогнозний моніторинг режимів роботи ОЕС України в темпі виробництва з метою максимально швидкої реакції диспетчерського персоналу на різні порушення режимів.

Створення розподіленого середовища моделювання віртуальної ОЕС України [2] надає нові

можливості роботи з персоналом для проведення тренувальних навчань і протиаварійних тренувань (ПТ). Для персоналу усіх рівнів систем управління і експлуатації енергосистем і ОЕС спрощується доступ до необхідної інформації для щоденної роботи і забезпечується можливість організації і проведення ПТ безпосередньо на робочих місцях співробітників відповідних відділів і служб. Таким чином, значно зменшуються витрати, пов'язані з відривом персоналу від виробництва, істотно спрощуються питання своєчасного вивчення різних інструкцій, технічних характеристик і конструкцій нових пристроїв, що вводяться в експлуатацію, а також питання модернізації існуючих або створюваних тренажерів.

Нові інноваційні можливості розподіленого середовища моделювання енергосистем дозволяють інтегрувати на єдиній платформі найсучасніші технології навчання і нові повнофункціональні тренажери. Повний і зручний доступ до цього середовища дістають розробники-програмісти і технологи, навчання і тренувані спеціалісти, включаючи керівників ПТ, в слушний для цього час. На рис. 4. показаний фрагмент інтерфейсу користувача повнофункціонального тренажера ПОРТ в середовищі Moodle.

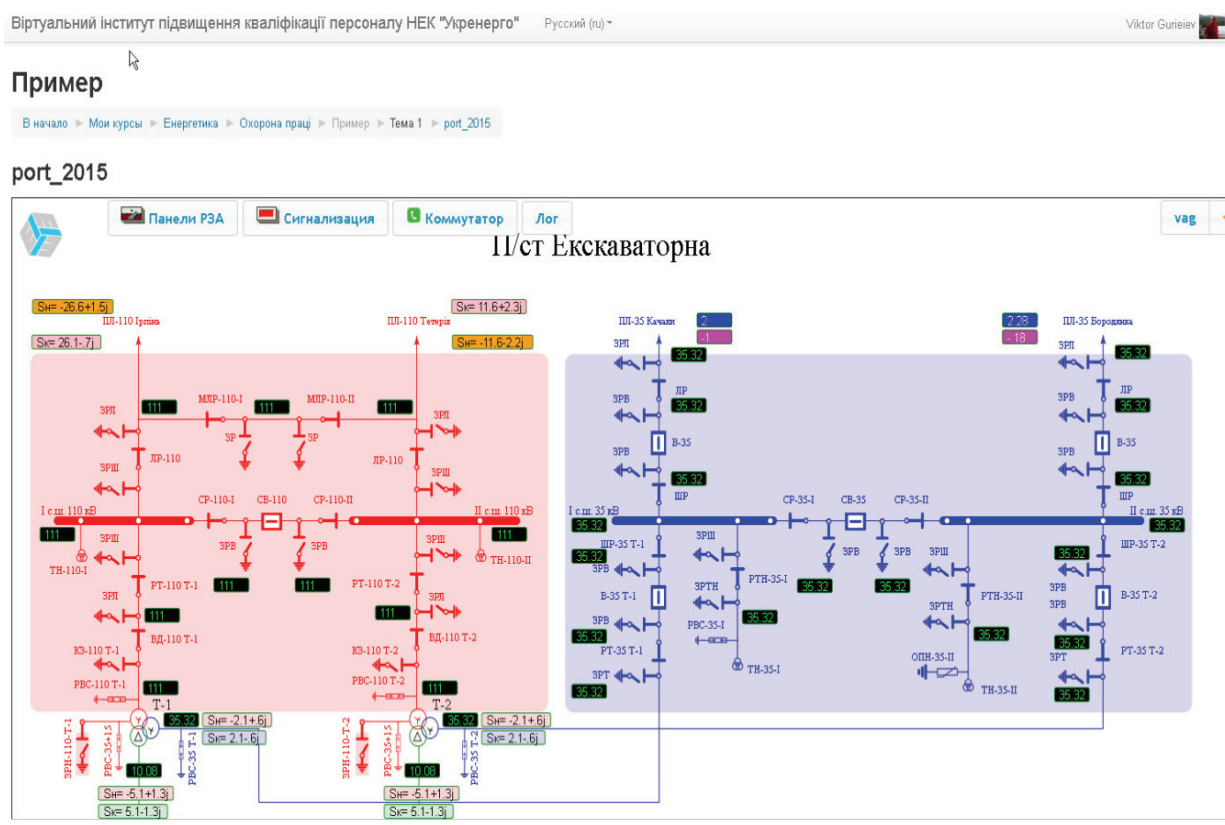


Рис. 4. Фрагмент інтерфейсу користувача повнофункціонального тренажера ПОРТ у середовищі Moodle

Включення представлених ієрархічних структур до складу тренажерів підвищить якість і ефективність навчання персоналу ОЕС України.

### Висновки

1. Виконано аналіз сучасних методів навчання і тренажу персоналу українських та закордонних об'єднаних енергетичних систем; запропоновано використовувати віртуальні ієрархічні структури, що дозволяють адекватно моделювати нормальні і аварійні режими роботи енергетичного устаткування в реальному часі.

2. Розроблено конфігураційну модель складної електричної мережі, розглянуто принципи побудови та функціонування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів об'єднаної електроенергетичної системи України.

3. Розглянуто досвід експлуатації розподіленого інформаційного середовища моделювання об'єднаних електроенергетичних систем на базі віртуальних ієрархічних структур для навчання і тренажу персоналу, та перспективи застосування розглянутих технологій навчання у інших галузях.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Публикации Ассоциации СИГРЭ-Украина [Электронный ресурс] // Украинский национальный комитет Международного совета по большим электроэнергетическим системам CIGRE : офиц. сайт общественной организации «Ассоциация СИГРЭ-Украина». Текст. — К., 2014—2015. — Режим доступа : [http://cigre.org.ua/ru\\_co1\\_publicacii\\_associacii\\_sigre-ukraina.html](http://cigre.org.ua/ru_co1_publicacii_associacii_sigre-ukraina.html) (24.09.2015). — Название с экрана.
2. Аветисян Е. В. Моделирование режимов, обучение и тренаж персонала с использованием виртуальной объединенной энергосистемы (ВОЭС) Украины / Е. В. Аветисян, В. А. Гуреев, О. В. Сангинова // Энергетика та електрифікація. — 2014. — № 9/14. — С. 28—35.
3. Гуреев В. А. О решении нелинейных уравнений в задачах управления режимами электрических сетей / В. А. Гуреев, Н. Н. Редковский // Кибернетика и системный анализ. — 1993. — № 4. — С. 122—131.
4. Redkovsky N. N. Optimization problems and calculation of electrical networks work regimes / N. N. Redkovsky, V. A. Goureev // Optimization, Methods & Software. — 1996. — Vol. 7. — P. 112—117. Gordon and Breach Science Publishers.
5. Свами М. Графы, сети и алгоритмы / М. Свами, К. Тхуласираман : пер. с англ. ; под ред. В. А. Горбатов. — М. : Мир, 1984. — 455 с.
6. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон : пер. с англ. — М. : Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1972. — 544 с.
7. Крон Г. Тензорный анализ сетей / Г. Крон : пер. с англ. под ред. Л. Т. Кузина, П. Г. Кузнецова. — М. : Сов. Радио, 1978. — 720 с.
8. Хэпп, Х. Диакоптика и электрические цепи / Х. Хэпп : перев. с англ. ; под ред. В. Г. Миронова. — М. : изд-во «МИР», 1974. — 342 с.
9. Модульне об'єктно-орієнтоване динамічне повчальне середовище [Електронний ресурс] // Moodle : офіційний сайт. — Режим доступу : [https://moodle.org/\(24.09.2015\)](https://moodle.org/(24.09.2015)). — Назва з екрану.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.01.2016

**Аветисян Олена Вікторівна** — директор навчального центру;

**Гурєєв Віктор Олександрович** — канд. техн. наук, генеральний директор.

Науково-виробниче товариство з обмеженою відповідальністю «Інфотех», Київ;

**Сангінова Ольга Вікторівна** — канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів, e-mail: [olga.sanginova@infotec.ua](mailto:olga.sanginova@infotec.ua).

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

**O. V. Avetisian<sup>1</sup>**  
**V. O. Gurieiev<sup>1</sup>**  
**O. V. Sanginova<sup>2</sup>**

## Development and Application of Virtual Hierarchical Structures of OES Ukraine for Modes Simulation and Staff Training

<sup>1</sup> Research and Production Company Infotec LLC;

<sup>2</sup> National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

*The topical issues on the development and operation of the information distributed simulation environment of the integrated energy systems based on virtual hierarchical structures for staff training have been considered.*

**Keywords:** electric energy systems and associations, virtual models, information and communication technologies, staff training, full-function simulator.

**Avetisian Olena V.** — Director of Training Unit;

**Gurieiev Viktor O.** — Cand. Sc. (Eng.), Director General;

**Sanginova Olga V.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Post-Doctoral Student of the Chair of Cybernetics of Chemical-Technological Processes, e-mail: [olga.sanginova@infotec.ua](mailto:olga.sanginova@infotec.ua)

**Е. В. Аветисян**<sup>1</sup>  
**В. А. Гуреев**<sup>1</sup>  
**О. В. Сангинова**<sup>2</sup>

## **Разработка и применение виртуальных иерархических структур для моделирования режимов, обучения и тренажа персонала ОЭС Украины**

<sup>1</sup> Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «Инфотех», Киев;

<sup>2</sup> Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

*Рассмотрены актуальные вопросы создания и эксплуатации распределенной информационной среды моделирования объединенных электроэнергетических систем на базе виртуальных иерархических структур для моделирования режимов, обучения и тренажа персонала.*

**Ключевые слова:** энергосистемы и объединения, виртуальные модели, информационно-коммуникационные технологии, повышение квалификации, полнофункциональные тренажеры.

*Аветисян Елена Викторовна* — директор учебного центра;

*Гуреев Виктор Александрович* — канд. техн. наук, генеральный директор;

*Сангинова Ольга Викторовна* — канд. техн. наук, доцент, докторант кафедры кибернетики химико-технологических процессов, e-mail: olga.sanginova@infotec.ua