

УДК 621.3.51

ПОСТРОЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕГО ДИСТАНЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.А. Гуреев¹, докторант, **О.В. Сангинова**², канд. техн. наук

1 – Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины,
ул. Генерала Наумова, 15, Киев-164, 03164, Украина

2 – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского»,
пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина

e-mail: viktor.gurieiev@infotec.ua

Рассмотрены вопросы построения обучающего дистанционного тренажера для организации обучения и тренажерной подготовки оперативно-диспетчерского персонала энергетической отрасли, разработан быстродействующий метод расчета режимов для дистанционных тренажеров, предложены пути развития системы непрерывного обучения и повышения квалификации в составе распределенной сети центров подготовки персонала. Библ. 6, рис. 4.

Ключевые слова: режимы энергосистем, веб-ориентированные тренажеры, ключевые компетентности.

Введение. В настоящее время в энергетике многих стран, включая Европейский Союз и Украину, назрела острая необходимость реформы всей системы работы с персоналом. В первую очередь, речь идет о необходимости разработки новых современных веб-ориентированных тренажеров для оперативно-диспетчерского персонала, обеспечивающего технологическое управление процессами выработки и потребления электрической энергии. Необходимость совершенствования и реформирования системы повышения квалификации обусловлена естественным старением персонала, оборудования и усложнением режимов работы энергосистем. Задержка с реформой, как показывает мировой опыт, часто приводит к большим авариям и затратам на восстановление энергоснабжения потребителей [3].

Целью работы является разработка нового типа дистанционного веб-ориентированного режимного тренажера на базе интегрированной системы серверов приложений и систем управления базами данных (СУБД), включая виртуальные. Такой тренажер предназначен для организации дистанционного обучения и круглосуточной тренажерной подготовки большого количества оперативно-диспетчерского персонала, использующего компьютеры на своих рабочих местах или в учебно-тренировочных центрах. Реализация тренажера выполнена с использованием распределенной среды моделирования работы энергосистем и/или их объединений, состав поставки включает наборы адаптивных интерактивных человеко-машинных интерфейсов и учебно-методическое обеспечение процессов обучения, повышения квалификации и тренажерной подготовки персонала с применением современных информационных технологий и интернета.

Изложение материала. Основой любого процесса обучения, включая тренажерную подготовку, являются обеспечение возможности быстрого приобретения максимально полных и необходимых знаний о предметной области и эффективное применение этих знаний для формирования соответствующих ключевых компетентностей.

На практике для работы с энергетическим персоналом используют теоретические материалы по тематике теоретических основ электротехники, релейной защиты, отраслевые и местные инструкции по эксплуатации энергетического оборудования, охране труда и, если имеются, то и тренажеры.

Основой режимного тренажера для диспетчерского персонала служит достоверная и адекватная модель электроэнергетической системы (ЭЭС) и/или модель, объединяющая параллельно работающие энергосистемы – модель энергообъединений ЭЭС (ЭО). Процесс создания приемлемых для использования в дистанционных тренажерах моделей ЭЭС и/или ЭО является очень сложной инженерной и научной задачей.

Одним из наиболее перспективных направлений решения этих задач является разработка и использование концептуальной схемы комбинированных реальных и/или виртуальных систем управления базами данных (БД). В этом случае предметная область энергетики представляется некоторой совокупностью сущностей и связей, отражающих наиболее важные свойства, отношения и параметры технологии производства, распределения и потребления электрической и тепловой энергии.

Необходимость привлечения именно такого вида представления информационной части модели энергетики диктуется потребностью оперативного (максимально возможно быстрого) расчета и анализа ее разнообразных режимов функционирования путем интеграции быстро растущего многообразия различных электроэнергетических задач, возникающих в процессе обучения и тренажерной подготовки персонала.

Сущности и связи информационной части модели, представленные в виде концептуальной схемы, позволяют создать эффективную моделирующую среду для разработки и выбора наиболее быстродействующих методов управления режимами работы ЭЭС и/или ЭО.

Связи являются логическими отношениями между сущностями и могут обозначать принадлежность или действие. Например, сущность "подстанция" (ПС) принадлежит сущности "энергосистема" (ЭЭС). Связи помогают устанавливать однозначное соответствие между параметрами режима и оборудования, отдельными элементами и вполне реальными частями конкретной энергосистемы. Элемент энергетического оборудования всегда принадлежит конкретному объекту (подстанции, линии электропередачи, электростанции и т.п.), входящему, в свою очередь, в состав определенной энергоснабжающей компании и/или ЭЭС, которые распределены на определенной территории страны. Такой подход упрощает создание информационной части модели ЭЭС или ЭО.

Разработка режимных тренажеров основана на использовании различных типов структурированной (упорядоченной) информации в виде отдельных моделей элементов ЭЭС (ЭО), которые базируются на понятиях концептуальной, внешней и внутренней схем [1].

Режим работы произвольной электрической сети в общем виде может быть описан линейным матричным уравнением для известных (заданных/измеренных) токов узлов $[i_s]$:

$$[\dot{Y}_{ss}] \cdot [\dot{U}_s] = [i_s], \quad (1)$$

где $[\dot{Y}_{ss}]$ – матрица узловых проводимостей электрической сети; $[\dot{U}_s]$ – вектор-столбец напряжений узлов; $[i_s]$ – вектор-столбец токов узлов.

Формулу (1) можно представить в расширенном векторном виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dots & \dot{Y}_{1(S-1)} & \dot{Y}_{1S} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} & \dots & \dot{Y}_{2(S-1)} & \dot{Y}_{2S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{Y}_{(S-1)1} & \dot{Y}_{(S-1)2} & \dots & \dot{Y}_{(S-1)(S-1)} & \dot{Y}_{(S-1)S} \\ \dot{Y}_{S1} & \dot{Y}_{S2} & \dots & \dot{Y}_{S(S-1)} & \dot{Y}_{SS} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dots \\ \dot{U}_{s-1} \\ \dot{U}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_{s-1} \\ i_s \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Особенностью построения матрицы узловых проводимостей является то, что сумма недиагональных элементов каждой строки всегда равна диагональным, взятым с обратным знаком. Матрица узловых проводимостей всегда особенная. Для получения решения (2) необходимо задать (выбрать) хотя бы один узел с известным (заданным) напряжением.

Существует множество эффективных методов решения таких систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Однако систему (2) наиболее часто решают методом Гаусса, LU-разложения или применяют быстрые вращения Гивенса [6] для ортогонального разложения слабо заполненных матриц узловых проводимостей. Это так называемые прямые методы решения СЛАУ.

Систему (2) также можно решить итерационными методами, например, Зейделя или простой итерации. Однако на практике для больших СЛАУ они оказываются достаточно медленными и редко применяются.

Если известны или заданы мощности узлов, то формулу (1) можно переписать в виде скалярного произведения вектора токов узлов $[\dot{I}_s]$ на сопряженный вектор напряжений узлов $[\hat{U}_s]$:

$$([\dot{Y}_{ss}] \cdot [\dot{U}_s])_b [\hat{U}_s] = [\dot{S}_s], \quad (3)$$

где $[\dot{S}_s]$ – вектор заданных мощностей узлов.

Существует большое количество исследований и публикаций [2, 5, 6], посвященных проблеме решения систем нелинейных уравнений (3), поэтому ограничимся кратким описанием их основных свойств. Элементы матрицы узловых проводимостей $[\dot{Y}_{ss}]$ и вектор заданных мощностей узлов $[\dot{S}_s]$ в таких задачах являются известными величинами, а $[\hat{U}_s]$ – неизвестными. В результате решения системы нелинейных уравнений (3) вычисляются искомые напряжения узлов сети $[\hat{U}_s]$. Таким образом, расчет режима работы произвольной электрической сети заключается в определении вектора напряжений узлов $[\hat{U}_s]$.

Зная напряжения узлов (модули и углы), можно легко определить остальные важные параметры режима работы электрической сети: токи (расчет потокораспределения) и мощности ветвей. В случае необходимости можно выполнить расчет потерь мощности в отдельных элементах или сети в целом, проверить допустимые пределы нормируемых значений напряжений узлов, токов линий электропередач и т.п. В этом и заключается встроенная в дистанционный тренажер инструментальная возможность исследования и анализа результатов расчета параметров режимов работы электрических сетей для различных аварийных ситуаций при построении сценариев противоаварийных тренировок.

В промышленных программах расчета режимов работы больших энергосистем используется в основном итерационный метод Ньютона-Рафсона и его модификации [2].

Итерационный алгоритм варианта этого метода может быть реализован в декартовой системе координат с помощью формулы

$$[U]_s^{r+1} = [U]_s^r - [J_{ss}'(u^r)]^{-1} \cdot [f_s \cdot (u^r)], \quad (4)$$

где $[U]_s^{r+1}$ – вектор-столбец напряжений s -х узлов на $(r+1)$ -й итерации; $[U]_s^r$ – вектор-столбец напряжений s -х узлов на r -й итерации; $[J_{ss}'(u^r)]^{-1}$ – обратная матрица Якоби на r -й итерации; $[f_s \cdot (u^r)]$ – вектор-столбец невязок мощностей узлов на r -й итерации. Для любого i -го узла сети невязка мощности определяется следующим образом:

$$f_i(U) = -\dot{S}_i + |U_i|^2 \cdot \dot{y}_{ii} - \hat{U}_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=n} \hat{U}_j \cdot \dot{y}_{ij}. \quad (5)$$

В связи с тем, что функции невязок (5) не являются аналитическими и их нельзя дифференцировать в комплексном виде, обычно из декартовой системы координат (3) переходят в полярную систему (6) и (7). Без учета коэффициентов трансформации трансформаторов электрической сети получим выражения для вычисления активной и реактивной мощностей узлов:

$$P_i = -V_i^2 \cdot g_{ii} + V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=n} [V_j \cdot (\cos \Delta \delta_{ij} \cdot g_{ij} + \sin \Delta \delta_{ij} \cdot b_{ij})] = -V_i^2 \cdot g_{ii} + V_i \cdot V_j \cdot I_{g1}; \quad (6)$$

$$Q_i = -V_i^2 \cdot b_{ii} + V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=n} [V_j \cdot (\cos \Delta \delta_{ij} \cdot b_{ij} - \sin \Delta \delta_{ij} \cdot g_{ij})] = -V_i^2 \cdot b_{ii} + V_i \cdot V_j \cdot (-I_{g2}), \quad (7)$$

где P_i и Q_i – заданные активная и реактивная мощности i -го узла соответственно; $V_i = |\hat{U}_i|$,

$V_j = |\hat{U}_j|$ – модули напряжений i - и j -го узла соответственно; $\delta_i = \arctan \frac{U_i''}{U_i'}$, $\delta_j = \arctan \frac{U_j''}{U_j'}$;

$\Delta \delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ – разность углов векторов напряжений i - и j -го узлов; V_i, V_j – модули векторов

напряжений i - и j -го узлов соответственно; g_{ii} и b_{ii} – собственные активная и реактивная проводимости i -го узла; g_{ij} и b_{ij} – взаимные (активная и реактивная соответственно) проводимости между i - и j -м узлами; $I_{g1} = g_{ij} \cdot \cos \Delta \delta_{ij} + b_{ij} \cdot \sin \Delta \delta_{ij}$; $I_{g2} = g_{ij} \sin \Delta \delta_{ij} - b_{ij} \cdot \cos \Delta \delta_{ij}$; n – количество узлов сети.

В полярных координатах формула (4) будет иметь вид
$$\begin{bmatrix} \delta \\ V \end{bmatrix}_s^{(r+1)} = \begin{bmatrix} \delta \\ V \end{bmatrix}_s^{(r)} - [J_{ss}'(u)^r]^{-1} \cdot [f_s \cdot (u')].$$

Вектор напряжения для i -го узла в полярной системе координат может быть записан так: $\dot{U}_i = V_i \cdot \cos \delta_i + j V_i \cdot \sin \delta_i$. Диагональные элементы матрицы Якоби с учетом коэффициентов трансформаторов определяются так:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=n} V_j \cdot (-W_{g2}); \quad \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = -2V_i \cdot g_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=1} V_j \cdot W_{g1}; \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = V_i \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=n} V_j \cdot (-W_{g1});$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -2V_i \cdot b_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=1} V_j \cdot (-W_{g2}); \quad W_{g1} = (g_{ij} \cdot K_{ij}' - b_{ij} \cdot K_{ij}'') \cdot \cos \Delta \delta_{ij} + (b_{ij} \cdot K_{ij}' + g_{ij} \cdot K_{ij}'') \cdot \sin \Delta \delta_{ij};$$

$$W_{g2} = (g_{ij} \cdot K_{ij}' - b_{ij} \cdot K_{ij}'') \cdot \sin \Delta \delta_{ij} - (b_{ij} \cdot K_{ij}' + g_{ij} \cdot K_{ij}'') \cdot \cos \Delta \delta_{ij}.$$

Коэффициент трансформации трансформаторов в общем случае является комплексной величиной и представляется в декартовой системе координат: $\dot{K}_{ij} = K_{ij}' + jK_{ij}'' = \frac{\dot{U}_i'}{\dot{U}_j}$, а со-

пряженный $\hat{K}_{ij} = \frac{\dot{I}_j}{\dot{I}_i}$.

Сопrotивление трансформатора обозначим как $Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$. На рис. 1 представлена схема замещения идеального трансформатора, широко используемая в расчетах режимов, где сопротивление приведено к началу ветви (i).

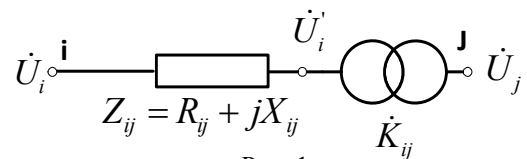


Рис. 1

Недиагональные элементы матрицы Якоби определяются по следующим формулам:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = V_i \cdot V_j \cdot W_{g2}; \quad \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = V_i \cdot W_{g1}; \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = V_i \cdot V_j \cdot W_{g1}; \quad \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = V_i \cdot (-W_{g2}).$$

Здесь W_{g1} и W_{g2} вычисляются по приведенным же выше формулам.

Главные недостатки метода Ньютона-Рафсона – большая вероятность нарушения сходимости итерационного процесса при неудачном задании начальных значений параметров системы (3) или мощностей узлов и большие вычислительные затраты. Из-за этих недостатков весьма затруднительно непосредственно использовать метод Ньютона для расчета аварийных режимов в диспетчерских тренажерах. Поэтому представляется целесообразным разрабатывать надежные и быстродействующие методы расчета режимов для любых вариантов развития аварий и нарушений в работе энергосистем.

В качестве одного из наиболее перспективных авторы предлагают использовать для этих целей многоопорный метод расчета контурных токов [5]. Основная идея метода заключается в итерационной процедуре эквивалентной замены замкнутой электрической сети на разомкнутую, режим которой полностью совпадает с режимом исходной электрической системы.

Реализация контурной расчетной модели установившегося режима электрической сети предусматривает автоматическое выделение в расчетной схеме сети дерева и хорд. В состав дерева входят участки, обеспечивающие полную связь всех узлов схемы, при условии отсутствия хотя бы одного замкнутого контура. Остальную часть схемы, содержащую ветви, последовательное добавление которых к дереву приводит к образованию замкнутых контуров, называют хордами, а соответствующие хордам замкнутые контуры – независимыми кон-

турами. Важным отличием предлагаемого метода расчета режима работы произвольной сети от классического заключается в том, что некоторые контуры могут быть образованы двумя опорными узлами с заданным напряжением. Такие независимые контуры будем называть вырожденными.

Для каждой k -й хорды после текущего расчета токораспределения и напряжений узлов определяются невязки напряжения: $\dot{E}_k = \dot{I}_1 \cdot Z_{k1} + \dot{I}_2 \cdot Z_{k2} + \dots + \dot{I}_k \cdot Z_{kk}$, где Z_{k1} , Z_{k2} и т.д. – соответственно взаимные сопротивления k - и 1-го, k - и 2-го и т.д. контуров; Z_{kk} – полное сопротивление k -го контура; \dot{I}_k – контурные токи.

В результате решения полученной системы линейных контурных уравнений можно

легко определить контурные токи:

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1k} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{k1} & Z_{k2} & \dots & Z_{kk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dots \\ \dot{I}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \\ \dots \\ \dot{E}_k \end{bmatrix}.$$

Необходимо отметить, что время решения системы (3) сильно зависит от количества узлов/ветвей используемой для этой цели так называемой расчетной схемы замещения электрической сети. Также необходимо учитывать то обстоятельство, что большую часть времени расчета будут занимать операции чтения исходных данных и записи результатов не только в случае использования локальных, но и удаленных баз данных. Поэтому наряду с разработкой быстродействующих методов расчета систем уравнений типа (3), описывающих режимы работы электрических сетей, необходимо правильно выбрать подходящую систему управления базами данных (СУБД). К сожалению, если говорить о реальном времени порядка 1 с, то на самом деле сегодня выбор очень невелик – это СУБД ORACLE (платная) или PostgreSQL (условно бесплатная).

В общем время расчета также будет входить время построения конфигурационной модели сети или модели автоматизации алгоритма/метода расчета. Таким образом, суммарное время получения результата расчета режима в браузерах пользователей будет вычисляться путем сложения следующих затрат времени: реакции самого браузера на возмущающее воздействие; времени передачи информации в БД о необходимости расчетов; времени для построения топологической информационной модели сети (при необходимости); времени решения системы уравнений (3); времени записи результатов в БД, времени чтения результатов из БД для отображения в браузерах других пользователей. Комфортным временем реакции на возмущающие воздействия считается время реакции системы до 1...3 с.

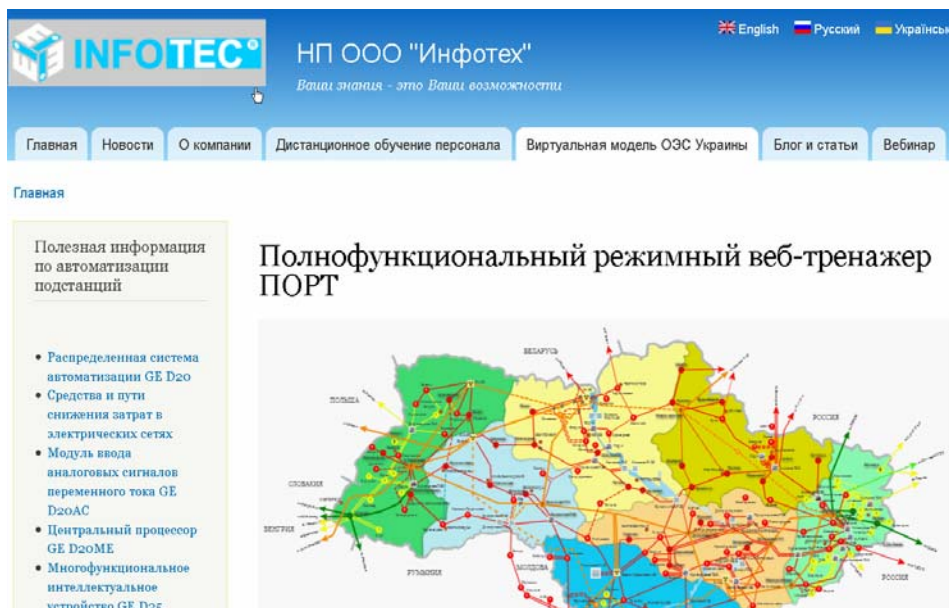


Рис. 2

СДНТП Русский (ru) Viktor Guriev

Вебинар на тему: Базовые возможности видеосервера НПО ООО "Инфотех"

В начало Мои курсы В_01 Режим редактирования

НАВИГАЦИЯ

НАСТРОЙКИ

ПОЛЬЗОВАТЕЛИ НА САЙТЕ

Тема: "Организация видеоконференции с использованием видеосервера НПО "Инфотех" (веб-камера, микрофон, электронная доска, чат). Часть 1. Основные возможности."

Пример организации видеоконференции НПО ООО "Инфотех"

Рис. 3

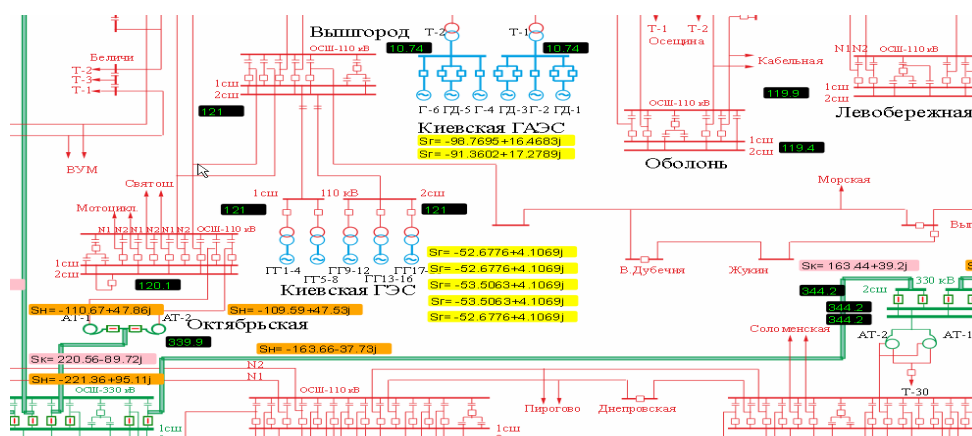


Рис. 4

Для сравнительно больших сетей с объемами узлов, начиная от 40...50 тысяч, общее время расчета в зависимости от загруженности и конфигурации может составить порядка 1...3 мин, что совершенно неприемлемо для использования большинства существующих методов расчета режимов в полнофункциональных режимных тренажерах для тренажерной подготовки диспетчеров энергосистем и объединений в реальном времени. Поэтому авторы предлагают использовать для таких целей специальные методы расчета режимов работы сложных энергосистем и их объединений в распределенной виртуальной моделирующей среде [5].

Объединение возможностей современных методов электронного обучения [4] и распределенной виртуальной моделирующей среды позволяет получить новое качество системы повышения квалификации и тренажерной подготовки оперативного персонала энергосистем.

На рис. 2 представлена стартовая страница дистанционного тренажера, на рис. 3 – фрагмент дистанционного курса с использованием вебинаров, на рис. 4 – пример схемы ЭЭС для организации тренажерной подготовки с использованием дистанционного тренажера.

Выводы. Разработан обучающий дистанционный веб-ориентированный тренажер для использования персоналом разных уровней существующей иерархии управления энергетикой страны. Разработаны принципы конструирования и адаптации таких тренажеров для персонала подстанций и энергосистем, включая автоматизированное создание (редактирование) сценариев противоаварийных тренировок. Предложена виртуальная структура общей инновационной среды обучения и тренажерной подготовки оперативно-диспетчерского персонала в виде сети центров обучения персонала ОЭС Украины. Эта среда обеспечит возможность реализации единой технической политики для новой современной электронной

системы работы с персоналом и позволит разрабатывать и применять единые стандарты обучения и тренажерной подготовки персонала в энергетике Украины.

1. Аветисян Е.В., Гуреев В.А., Сангина О.В. Розробка та застосування віртуальних ієрархічних структур для моделювання режимів, навчання і тренажу персоналу ОЕС України // Вісник Вінницького політехн. ін-ту. – 2016. – 1(124). – С. 101–107.
2. 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. – 256 с.
3. Веб-ресурс <http://energy.gov/oe/downloads/blackout-2003-final-report-august-14-2003-blackout-united-states-and-canada-causes-and>
4. Модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда // Офиц. сайт Moodle. – Режим доступа: <https://moodle.org/> (24.09.2015). – Название с экрана.
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. – P. 97–100.
6. Jianwei Wu Simple technique to determine the Givens-Rotation matrix in the two-source ICA problem for skewed sources // IEEE Electronic Letters. – 2016. – Vol. 52, №8. – P. 613–615.

УДК 621.3.51

В.О. Гурєєв¹, докторант, **О.В. Сангінова**², канд. техн. наук

1 – Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,
вул. Генерала Наумова, 15, Київ-164, 03164, Україна

2 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,
Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна

Побудова навчального дистанційного тренажера для підготовки персоналу енергетичної галузі

Розглянуто питання побудови навчального дистанційного тренажера для організації навчання і тренажерної підготовки оперативно-диспетчерського персоналу енергетичної галузі, розроблено швидкодіючий метод розрахунку режимів для дистанційних тренажерів, запропоновано шляхи розвитку системи безперервного навчання і підвищення кваліфікації у складі розподільної мережі центрів підготовки персоналу. Бібл. 6, рис. 4.

Ключові слова: режими енергосистем, веб-орієнтовані тренажери, ключові компетентності, електронне навчання.

V.O. Gurieiev¹, **O.V. Sanginova**²

1 – Institute of Problems of Modeling in Power Engineering named G.E. Pukhov NAS of Ukraine,
st. Generala Naumova, 15, Kyiv-164, 03164, Ukraine

2 – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Peremohy, 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine

Development of a remote training simulator for the training of personnel in the energy sector

The development of a training remote simulator for the staff skills and training for operational and dispatching personnel in the energy sector is consider, developed a fast-acting method for calculating the modes for remote simulators and the ways of developing a system of continuous training and advanced training in the distributed network of training centers are proposed. References 6, figures 4.

Key words: power systems, web-oriented simulators, key competencies, e-learning.

Надійшла 07.09.2017

Received 07.09.2017