

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ, ОБУЧЕНИЕ И ТРЕНАЖ ПЕРСОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ (ОЭС) УКРАИНЫ

Аветисян Елена Викторовна, директор учебного центра НП ООО "Инфотех"

Гуреев Виктор Александрович, генеральный директор НП ООО "Инфотех", к.т.н.

Сангинова Ольга Викторовна, докторант НТУУ "КПИ", к.т.н.

Введение

Энергетика в современном мире представляет собой высокоинтеллектуальную технологию получения, распределения и использования потребителями электрической и тепловой энергии в быту и промышленности необходимого высокого качества. Основой такой технологии являются энергосистемы (ЭС) и их объединения - объединенные энергосистемы (ОЭС), представляющие собой огромное количество разнообразных источников и приемников электроэнергии, соединенные общей электрической сетью. ОЭС также способны обеспечить более высокую степень интеграции энергетики разных стран в мировую экономику [1].

В настоящее время ОЭС Украины включает в себя восемь параллельно работающих энергосистем (ЭС), включая Западную, Юго-Западную, Центральную, Южную, Северную, Днепровскую, Крымскую и Донбасскую с центром управления в Киеве. Все функции управления ОЭС Украины в качестве Системного оператора выполняет сегодня Государственное предприятие – Национальная энергетическая компания (НЭК) "Укрэнерго".

Организация и координация работы распределенного на всей территории Украины энергетического оборудования, входящего в состав ОЭС, обеспечивается в первую очередь высококвалифицированным персоналом, а не только ГП НЭК "Укрэнерго". Поддержание и развитие эффективных способов поддержания навыков максимально быстрой ликвидации разнообразных условий возникновения и развития аварийных ситуаций предусматривает использование новейших методик и технологий обучения. Следует подчеркнуть, что в настоящее время такие способы и возможности сильно ограничены в силу различных обстоятельств. К ним можно отнести недостаточное внимание к проблемам работы с персоналом со стороны руководства и часто – отсутствие необходимого и достаточного финансирования.

Применение современных технологий обучения, базирующихся на методах виртуализации и облачных вычислений, позволит сократить расходы на поддержание навыков персонала при сохранении высокого качества подготовки.

Обзор современных систем обучения персонала и постановка проблемы

Недооценка важности обучения и тренажа персонала ОЭС во многих странах часто приводит к большим межсистемным авариям [2]. Особенно большое значение для оперативно-диспетчерского персонала имеют навыки ликвидации крупных и дорогостоящих каскадных системных и межсистемных аварий. К

счастью, за последнее десятилетие в энергетике Украины таких аварий не было. Но, с другой стороны, это привело к снижению готовности персонала быстро ликвидировать крупные аварии. Поэтому важными являются как определенная периодичность и продолжительность, так и высокое качество обучения. Последнее обеспечивается не только квалификацией специалистов в данной области, но и содержанием учебных программ, предусматривающих выполнение всех видов работ, с которыми обучаемые встречаются на практике.

Эффективными методами решения задач обучения и тренажа персонала в современных условиях во всем мире признаны различные обучающие системы и тренажеры [3, 4], позволяющие адекватно моделировать реальные режимы для этих целей.

В процессе создания таких тренажеров наиболее сложными являются задачи создания общей информационной модели ОЭС и распределенной моделирующей среды для нее. Они должны позволять осуществлять краткосрочный прогнозный мониторинг (наблюдение) реального состояния ОЭС Украины в темпе производства с целью максимально быстрой реакции диспетчерского персонала на различные нарушения режимов. Особенно важным является предоставление этих возможностей для каждого уровня иерархии управления, включая дежурные и диспетчерские службы ОЭС, ЭС, МЭС, ТЭС, ГЭС, АЭС, высоковольтных подстанций Украины и др.

Необходимо отметить, что большое влияние на результаты моделирования отдельных элементов ОЭС, к которым относятся основное оборудование АЭС, ТЭС, ГЭС, высоковольтные трансформаторные подстанции и многое др. оказывают различные допущения и ограничения, принимаемые исследователями и разработчиками для решения тех или иных родственных электроэнергетических задач. Основная сложность заключается в отсутствии возможности быстрой проверки принятых допущений или ограничений в случаях, когда приходится объединять результаты моделирования отдельных моделей в одну общую систему, используемую для последующих исследований или расчетов.

Создание тренажерных и обучающих систем [5,6], как правило, связано с использованием отдельных персональных компьютеров для создания локальных тренажеров или группы компьютеров, объединенных в локальную сеть (ЛС) [7]. Компьютеры в ЛС выполняют различные задачи, включая обеспечение удобных интерфейсов рабочих мест технологов для создания сценариев противоаварийных тренировок, рабочих мест обучаемых и руководителей тренировок. При этом компьютеры и ЛС всегда "привязаны" к определенному месту использования и устанавливаются, как правило, в учебно-тренировочных центрах (УТЦ), учебно-курсовых комбинатах, диспетчерских службах, на п/ст и т.п. Также часто в ЛС могут включаться различные специализированные контроллеры, предназначенные для обеспечения связи обучаемого персонала с различными устройствами отображения информации, моделями диспетчерских щитов управления, базами данных оперативно-информационных комплексов и т.п.

Такие тренажеры используются для обучения и тренажа персонала, включая изучение инструкций, ликвидацию локальных аварий, закрепление некоторых моторных навыков, проверку знаний ПТЭ, ТБ, ПБ и т.п. При правильной

организации работы с персоналом, по нашему мнению, применение таких тренажеров являются очень полезным [8].

К недостаткам существующей системы подготовки персонала можно отнести то, что всегда приходится использовать, как правило, отдельный компьютер (или компьютеры в ЛС) и только для одной цели - обучения и тренажа персонала, а также выделение в условиях ограниченных возможностей дополнительных помещений для эксплуатации таких компьютерных тренажеров на энергопредприятиях. Необходимо также отметить, что практически уже через несколько лет эксплуатации таких компьютерных тренажеров их технические характеристики устаревают, ограничивая возможности для создания более сложных сценариев противоаварийных тренировок (ПТ).

Создание распределенной среды моделирования виртуальной ОЭС Украины предоставляет возможность проведения ПТ для всех уровней управления и эксплуатации энергетических систем Украины, включая краткосрочный прогнозный мониторинг реального состояния ОЭС и быструю проверку принятых решений с использованием общей информационной системы, непосредственно на рабочем месте сотрудников соответствующих служб. Таким образом, исключается проблема отрыва персонала от производства, существенно упрощаются вопросы своевременного изучения различных инструкций, технических характеристик и конструкций вводимых в эксплуатацию новых устройств, а также вопросы модернизации тренажеров.

Принципы разработки и функционирования виртуальной объединенной энергосистемы Украины

С учетом вышеизложенных соображений были предложены следующие основные принципы разработки и функционирования виртуальной ОЭС Украины (ВОЭС).

Принципы разработки ВОЭС

Основным принципом разработки такого масштабного проекта является обязательное использование распределенных серверов баз данных (БД) ЭС и их объединений по типу систем облачных вычислений. Такое решение позволяет включать в БД любые расчетные программы, например, расчет режима, токов короткого замыкания, статической и динамической устойчивости и др., используя мощный механизм встроенных функций и располагая все вычислительные программы на стороне серверов БД. Эти встроенные программы запускаются в работу в случае возникновения соответствующих условий, например, при коммутации элементов электрической сети, изменении нагрузки, генерации и т.п.

Передачу результатов моделирования из распределенных БД по запросу пользователей, использующих любые современные браузеры (Mozilla Firefox, Chrome, IE и др.) обеспечивают распределенные серверы приложений. Серверы приложений предназначены в первую очередь для быстрой обработки запросов со стороны большого количества пользователей, которых может быть больше тысячи, и формирования необходимых результатов в виде веб-страниц. Такая интеграция распределенных БД и серверов приложений позволяет создать распределенную среду моделирования режимов и расчетных задач,

использующих данные различных БД, независимо от физического места их расположения. Структура проекта приведена на рис. 1.

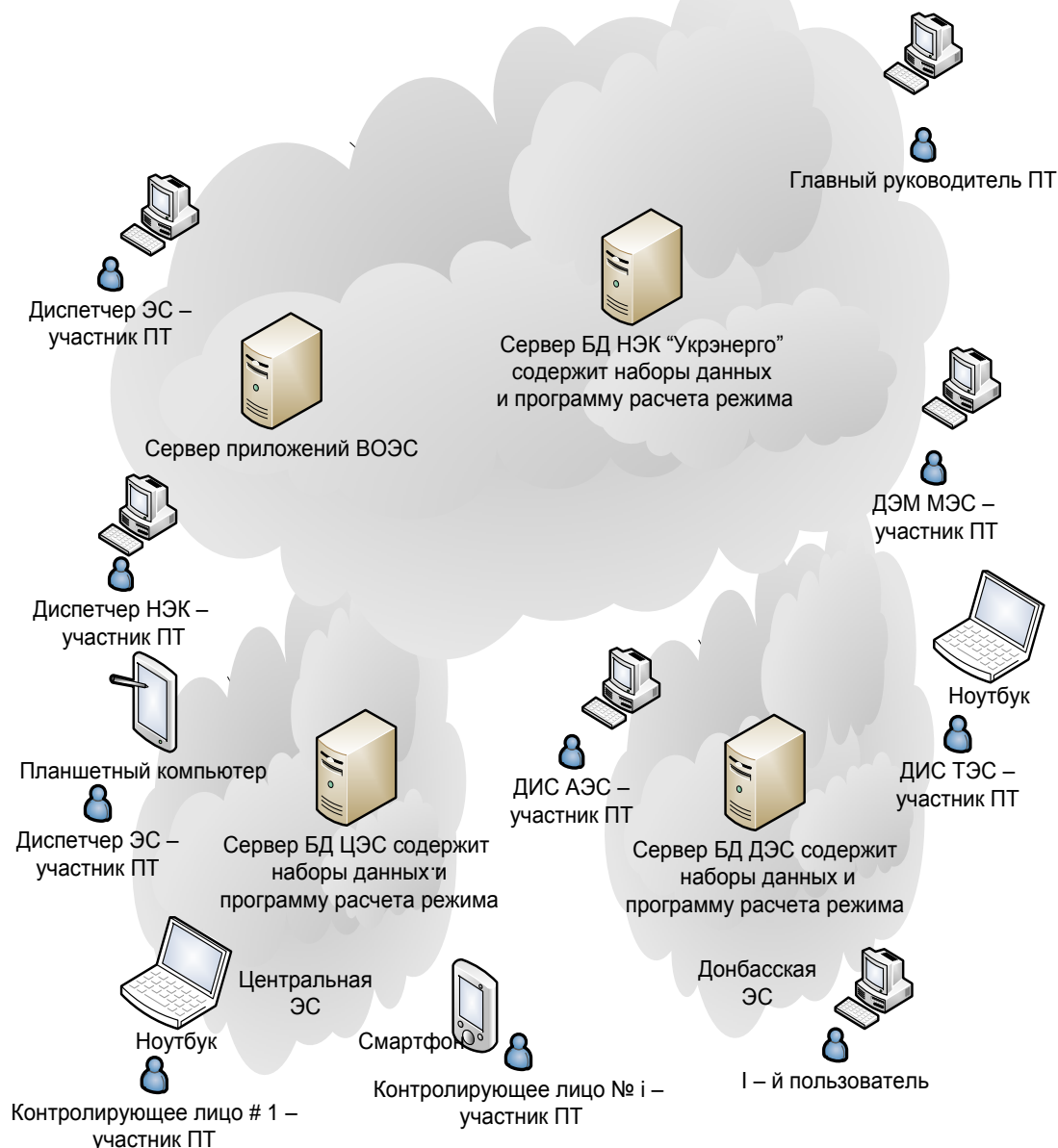


Рис. 1. Облачная архитектура распределенной среды моделирования ВОЭС Украины

Создание информационной модели и распределенной моделирующей среды ОЭС Украины позволяет легко интегрировать существующие программные комплексы, обеспечивающие решение большой группы электроэнергетических задач (расчеты установившихся и переходных режимов работы ЭС, токов к.з., устойчивости, тренажа персонала и др.). Нет необходимости разрабатывать каждый раз новые структуры исходных данных для решения различных задач, первичным источником данных для которых являются одни и те же трансформаторы, линии электропередач, генераторы и т.п. Разработанные новые инструментальные средства для работы с такими программами позволяют также значительно упростить проверку возможности ввода новых или снятия различных

существующих допущений или ограничений в процессе построения различных моделей без ущерба точности конечных результатов, а также гибко масштабировать (наращивать или уменьшать) объемы моделирования.

Также эти инструментальные средства создают условия для реализации сложных сценариев развития аварий при организации системных и межсистемных иерархических противоаварийных тренировок. На рис. 2 представлен фрагмент абстрактной подстанции, отображаемой для пользователя в стандартном браузере.

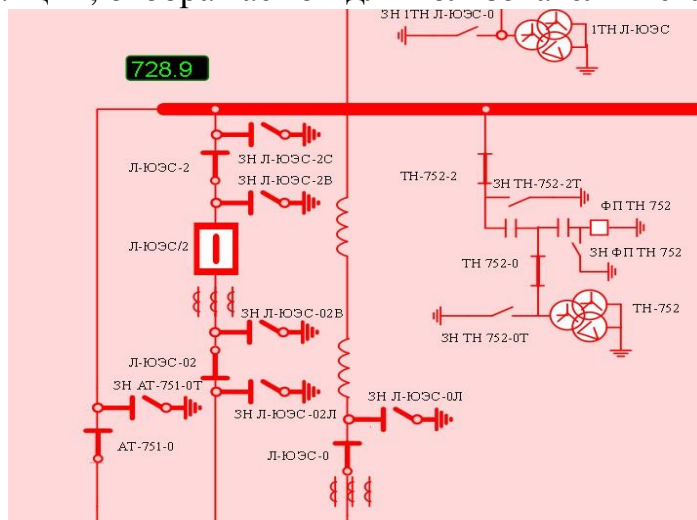


Рис. 2. Фрагмент абстрактной подстанции, отображаемой в стандартном браузере

На схеме размещаются так называемые активные элементы – выключатели, разъединители, заземляющие ножи, трансформаторы и др., участвующие в противоаварийных тренировках (ПТ). При наведении пользователем курсора на любой из таких элементов, он изменяет форму и отображает его диспетчерское наименование. При нажатии левой кнопкой мыши на такой элемент выпадает диалоговое меню. Варианты выпадающего меню для различных элементов показаны на рис. 3, 4, 5.

Для отображения графических элементов в браузерах использована векторная графика SVG (Scalable Vector Graphic), которая согласно официальной спецификации на [w3.org](http://www.w3.org) является стандартным языком для описания двумерной графики в XML. В отличие от растровой графики, SVG не теряет в качестве при масштабировании, также при использовании SVG сокращается количество обращений к серверу, приложений, что увеличивает скорость загрузки страниц, при помощи CSS можно менять параметры графики на сайте, например фон, прозрачность или границы (стайлинг и скриптинг), при помощи javascript – анимировать SVG, а также редактировать в текстовом или графическом редакторе типа Adobe Illustrator. Еще одним важным преимуществом использования векторной графики является объем объектов SVG, который намного меньше объема растровых изображений.

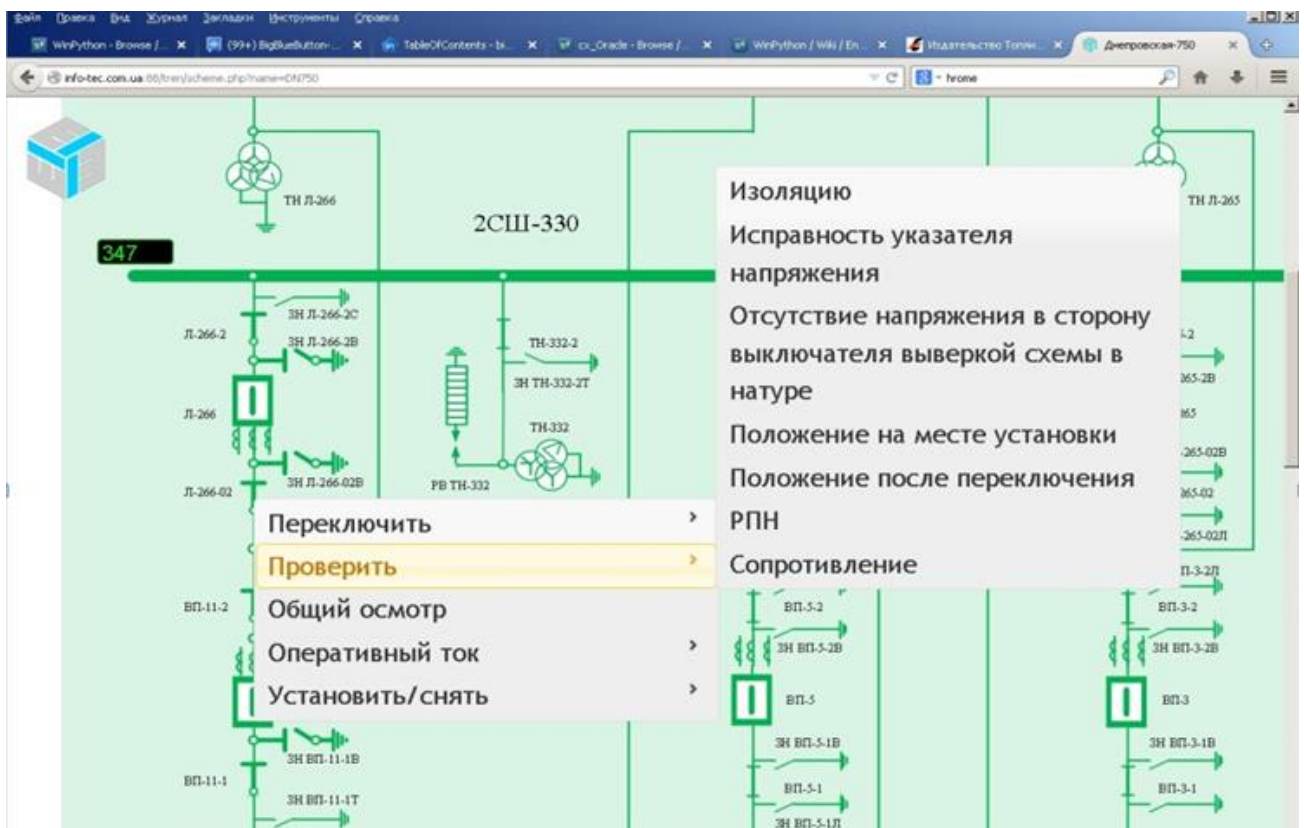


Рис. 3. Вариант выпадающего меню для разъединителя Л-266-02

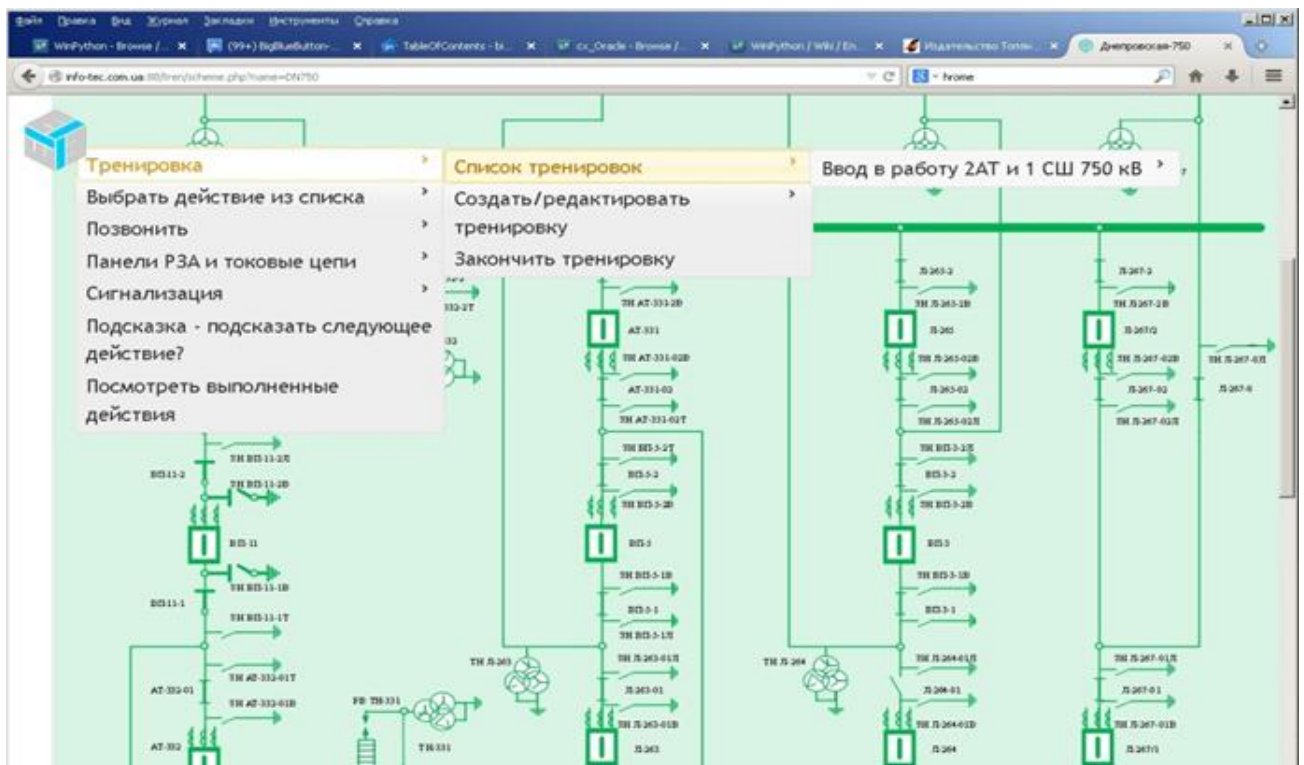


Рис. 4. Вариант выпадающего меню при выборе противоаварийной тренировки

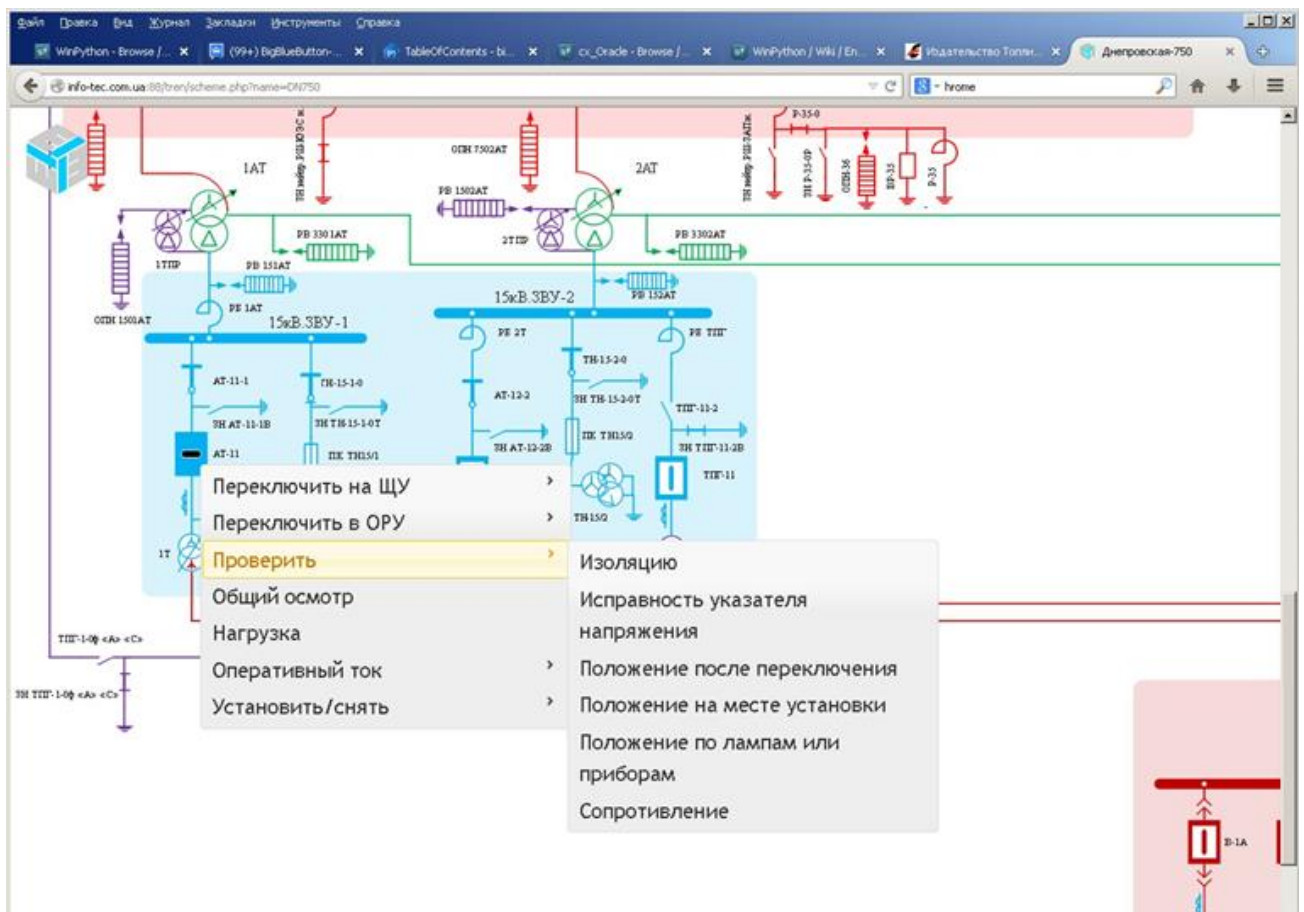


Рис. 5. Вариант выпадающего меню для выключателя АТ-11

Решение поставленных выше задач базируется на методах виртуализации и облачных вычислений, изначально основанных на распределенной масштабируемой архитектуре. Для такой структуры исходных данных наиболее эффективными оказались методы тензорного анализа и диакоптики, предложенные и развитые Габриэлем Кроном [9]. Также большое значение диакоптики для расчетов режимов сложных электроэнергетических систем было показано в работах Х. Хэппа [5]. Методы диакоптики позволяют разделить общую большую систему на отдельные, не обязательно равные части, выполнить их решение и объединить результаты для исходной системы. В данном случае отдельными частями ВОЭС Украины выступают ЭС, МЭС, облэнерго, АЭС, ТЭС, ГЭС, высоковольтные подстанции и др. в зависимости от целей и постановки задачи.

Режим работы любой электрической сети (или ее части) может быть описан системой нелинейных уравнений с использованием известных [6, 7] выражений для каждого i -го узла.

$$-\dot{U}_i \cdot \dot{y}_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{j=n} \dot{U}_j \cdot \dot{y}_{ij} = \frac{\dot{s}_i}{\hat{U}_i}, \quad (1)$$

где \dot{y}_{ii} – собственная проводимость (комплексная величина) i -го узла; \dot{y}_{ij} – взаимная проводимость (комплексная величина) ветви ij ; j – номер (индекс) прилегающего узла; n – количество узлов сети; \dot{U}_i – напряжение i -го узла (прямой комплекс); \hat{U}_i – напряжение i -го узла (сопряженный комплекс); \dot{U}_j – напряжение j -

го узла (прямой комплекс); \hat{S}_i – заданная мощность/генерация i -го узла (сопряженный комплекс).

Для решения системы (1) в работе использован многоопорный метод расчета контурных токов (PKTM), отличающийся от известных учетом вырожденных контуров, образующихся между источниками энергии. Скорость расчета режима этим методом для сетей объемом до 1000 узлов составляет меньше 1 секунды, что вполне оправдано для его использования в режимных тренажерах.

В своей практической работе инженеры групп расчета режимов в составе диспетчерских служб каждой ЭС и НЭК используют 9 основных наборов исходных данных в виде таблиц с информацией об узлах и ветвях. Во все наборы обязательно включены узлы и ветви прилегающих энергосистем. Поэтому, в каждом наборе исходных данных частично присутствуют одни и те же узлы и ветви. В результате расчета режима одной ЭС, появляется возможность использовать часть параметров для расчета режима прилегающих ЭС. Любое изменение параметров схемы какой-либо отдельной ЭС автоматически приводит к запуску программ расчета режима прилегающих ЭС, располагаемых на стороне серверов БД. Эти действия продолжаются до тех пор, пока не будет уравновешен режим всей ВОЭС.

ВОЭС Украины обеспечивает три основных сервиса облачных вычислений:

1. Модель SaaS – облачное программное обеспечение как услуга;
2. Сервис PaaS – облачная платформа как услуга;
3. Сервис IaaS – облачная инфраструктура как услуга.

Перечисленные выше принципы разработки были дополнены инструментальными средствами заполнения БД, синтеза статических (схемы электрических сетей и др.) образов для отображения и динамических параметров, полученных путем расчета режимов и расчетных задач. Это позволило выполнять работу по созданию виртуальной ОЭС Украины в полном объеме поэтапно и обеспечить произвольную, в зависимости от постановки и целей, степень детализации моделей элементов энергосистем.

Принципы функционирования ВОЭС

Главное назначение обсуждаемой здесь ВОЭС Украины заключается в обеспечении эффективных возможностей формирования и поддержки у персонала ОЭС Украины, включая все уровни существующей системы иерархии управления, стойких навыков быстрой ликвидации условий возникновения и развития больших системных и межсистемных аварий. На рис. 6 показана стартовая страница ВОЭС Украины, которая доступна любому пользователю по адресу <http://infotec.kiev.ua> и ссылке "облачные вычисления".

Національна енергетична компанія "Укренерго"



Рис. 6. Стартовая таблица ВОЭС Украины

Предложенные и реализованные принципы разработки ВОЭС Украины обусловили следующие особенности ее функционирования.

1. Предусмотрена возможность участия в ПТ любого персонала иерархической системы управления, включая НЭК, ЭС, АЭС, ТЭС, ГЭС, МЭС и облэнерго без каких-либо ограничений.

2. Распределенная система баз данных и серверов приложений вычислительной сети (ВС) ВОЭС объединена в общую глобальную сеть (ГС) и подключена к Интернету.

3. Отдельные базы данных и сервера приложений, включая виртуальные, распределяются произвольно и могут находиться в наиболее удобных для целей обучения и тренажа персонала местах (АЭС, ТЭС, ГЭС, МЭС, облэнерго и др.)

4. Предложенная структура ВС ВОЭС позволяет достаточно адекватно и быстро моделировать разнообразные аварийные или самоустанавливающиеся по напряжению и частоте, режимы параллельно работающих энергосистем и/или объединений в местах аварий, которые выбирает руководитель ПТ для создания соответствующего сценария.

5. Результаты моделирования всегда легкодоступны любым пользователям и программам.

6. Доступность информации и возможность ее синхронизации обеспечивает эффективную организацию проведения межсистемных противоаварийных тренировок (ПТ) и тренировочных учений персонала, имеющего доступ к

Интернету и находящегося в любых удобных для проведения ПТ рабочих местах или в УТЦ.

7. В зависимости от типа сценария предложенной ПТ, особенностей аварии и целей ПТ можно формировать и привлекать любой состав оперативно-диспетчерского персонала предприятий ОЭС Украины для ликвидации этой конкретной аварийной ситуации.

8. Время начала и длительность проведения ПТ предлагает инструктор/руководитель. Он также может задать время старта ПТ (любое время суток в течение 24 часов), дискретность изменения нагрузки или генерации (минимум – это 30 сек.) и длительность ПТ для следующих возможных вариантов: повышение, понижение или прохождение минимума или максимума нагрузки/генерации ЭС или ОЭС.

Основным условием возможности участия персонала в ПТ являются наличие соответствующих логина/пароля, а также соответствующих прав доступа к разрешенным для него ресурсам ВОЭС с помощью ПК, который находится на рабочем месте или в УТЦ.

Обсуждение и оценка результатов апробации виртуальной объединенной энергосистемы

Некоторые принципиальные возможности ВОЭС Украины опробованы на ряде высоковольтных подстанций и ЭС Украины в рамках внедрения системы дистанционного обучения и тренажа персонала (СДОТП) для НЭК "Укрэнерго" [10]. Противоаварийные тренировки по вводу/выводу высоковольтного оборудования в ремонт, проведенные для персонала Центральной, Днепровской и других ЭС, доказали эффективность использования распределенной среды моделирования при формировании сценариев аварийных ситуаций, а также при прогнозировании и анализе возможных аварий.

Простота освоения СДОТП, доступность и наглядность изложения материала, возможность быстрой проверки решений перед их непосредственной реализацией и другие преимущества системы дистанционного обучения предоставили руководству возможность ускорить процесс обучения и сократить затраты за счет свободного графика проведения ПТ непосредственно на рабочем месте сотрудника и возможности привлечения неограниченного числа обучаемых. Непрерывный мониторинг процесса обучения и система тестирования позволили повысить оперативность контроля знаний персонала.

Анализ результатов упомянутых тренировок показал, что дополнение СДОТП функциями интерактивного тренажа позволит реализовать эффективную комплексную иерархическую систему взаимодействия оперативно-диспетчерского персонала с целью выработки и поддержания навыков ликвидации крупных произошедших или прогнозируемых аварий.

Выводы

1. Энергетика Украины в современных условиях остро нуждается в необходимости обеспечения персонала самыми эффективными и современными способами развития и поддержания у него навыков ликвидации крупных аварий,

гарантирующих и обеспечивающих поддержание его квалификации на самом высоком уровне.

2. Установлено, что необходима обязательная адаптация всех используемых на практике противоаварийных тренировок диспетчеров энергетических систем к условиям нового рынка электроэнергии и системным требованиям. Создание виртуальной объединенной энергосистемы позволит сократить затраты на модернизацию и эксплуатацию систем обучения и тренажа и повысить качество подготовки персонала.

3. Все оперативные инструкции по ликвидации аварий необходимо обязательно периодически пересматривать и совершенствовать с учетом результатов тщательного анализа выполняемых действий персонала в процессе межсистемных противоаварийных тренировок. Такой анализ может выполняться после подведения итогов, например, совместных соревнований профессионального мастерства дежурных электромонтеров подстанций и диспетчеров МЭС, ЭС и ОЭС.

4. Виртуальная объединенная энергосистема Украины обеспечивает разнообразные возможности моделирования прогнозируемых (часто непредвиденных) обстоятельств (отключение генерации, сброс нагрузки, к.з.), расположенных за пределами контроля диспетчерского персонала одной ЭС, а также удобный механизм обязательного прогнозирования и анализа возможных аварийных ситуаций, позволяющих учитывать существующие системы аварийного предупреждения в темпе производства электроэнергии.

5. Использование возможностей ВОЭС в полной мере позволит обеспечить периодическое обучение и тренаж персонала для всех уровней иерархической системы управления энергетикой Украины, постоянную проверку эффективности его действий при ликвидации аварий и развитие навыков определения условий возникновения и ликвидации аварийных ситуаций в смежных ЭС.

Литература

1. Издание «Энергетика: история, настоящее и будущее» из 5 книг. Сайт <http://energetika.in.ua/ru/>. © 2012-2013 Энергетика: история, настоящее и будущее.
2. Скляр В.Ф. "Критический обзор некоторых крупных аварий в национальных энергетических системах мира и электроэнергетическая безопасность Украины". Сайт http://cigre.org.ua/ru_co1_publicacii_associacii_sigre-ukraina.html.
3. Гуреев В.А., Сулейманова О.В. Синтез моделей предметной области противоаварийных тренировок//Энергетика и электрификация. 1986.-№4.-с.16-17.
4. Программный тренажерный комплекс оперативных переключений ПТК ОП ++. Создание ПТ. Руководство пользователя. НП ООО "Инфотех", 2010, 259 с.
5. Диакоптика и электрические цепи. Х. Хэпп, перев. с англ. под ред. В.Г. Миронова, изд-во «МИР», Москва, 1974, 342 с.
6. Гуреев В.А., Редковский Н.Н. О решении нелинейных уравнений в задачах управления режимами электрических сетей//Кибернетика и системный анализ.- 1993.-№4.-с.122-131.

7. Редковский Н.Н., Гуреев В.А. О численном решении нелинейных уравнений. Доклады Академии наук России, т.344, № 5, с. 590 - 592.
8. Гуреев В.А., Сулейманова О.В. Разработка архитектуры мини базы знаний противоаварийных тренировок//Энергетика и электрификация. 1987.-№1. с.44-46.
9. Исследование сложных систем по частям (диакоптика). Г. Крон, перев. с англ. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», Москва, 1972, 544 с.
10. Сайт НЭК "Укрэнерго" <http://ukrenergo.energy.gov.ua/Pages/main.aspx>