

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ В ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНОМ РЕЖИМНОМ ТРЕНАЖЕРЕ (ПОРТ) ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ УКРАИНЫ

В.А.Гуреев¹, канд.техн.наук, О.В.Сангинова^{2*}, канд.техн.наук

¹ – НП ООО "Инфотех", а/я, 44, Киев, 03037, Украина,

² – Национальный технический университет Украины «КПИ»,

пр. Победы 37, Киев-56, 03056, Украина.

E-mail: olga.sanginova@infotec.ua

Рассмотрены некоторые аспекты моделирования режимов в полнофункциональном тренажере для энергосистем Украины с целью выработки навыков быстрой ликвидации сложных аварий на подстанциях и энергосистемах в процессе обучения и тренажа персонала. Проанализированы наиболее критичные параметры подсистемы расчета режимов работы энергосистем и их объединений: время расчета режима, поддержание актуальности исходных данных в базах данных и объем моделирующих энергосистем или их объединений. Приведены результаты расчета режимов объединенных энергосистем, содержащих около ста тысяч узлов и сто пятьдесят тысяч ветвей. Выполнена оценка возможностей использования предложенной среды моделирования в полнофункциональных режимных тренажерах для энергосистем Украины. Библ. 4.

Ключевые слова: энергосистема, полнофункциональный тренажер, моделирование.

Надежная и устойчивая работа энергосистем (ЭС) Украины в значительной мере зависит от качества диспетчерского управления режимами работы ЭС в реальном времени. Качество управления режимами энергосистем, в свою очередь, неразрывно связано со своевременным получением оперативно-диспетчерским персоналом достоверных измеряемых и расчетных данных о параметрах режима ЭС и базируется на различных информационных моделях. Моделирование режимов больших ЭС и их объединений (ОЭС), как правило, осуществляется с использованием определенной совокупности сущностей и связей, отражающих наиболее важные свойства, отношения и характеристики средств и процессов производства, распределения и потребления электрической и тепловой энергии. Сущности ЭС и ОЭС (в терминах CASE-технологии—сущностей) отражают поведение распределенного на большой территории энергетического оборудования и персонала, обеспечивающего эксплуатацию этого оборудования [3]. Степень детализации элементов моделируемой системы может широко варьироваться и зависит от целей и задач исследования системы.

Полнофункциональные режимные тренажеры для диспетчеров ЭС считаются наиболее эффективными средствами подготовки персонала. Такие тренажеры позволяют адекватно моделировать различные нормальные и аварийные режимы работы энергетического оборудования в реальном времени. В составе полнофункционального режимного тренажера одной из важных подсистем является подсистема расчета режимов работы ЭС и ОЭС. Для этой подсистемы наиболее критичными являются следующие параметры: время расчета режима (реакция подсистемы), поддержание актуальности исходных данных (ИД) в базах данных (БД) и объем моделируемых ЭС или ОЭС (количество узлов и ветвей расчетных схем). Реакция подсистемы t_p не должна превышать времени опроса t_o измерительных преобразователей входных сигналов, что при существующем уровне автоматизации ЭС Украины составляет не более 5 сек. При $t_p > t_o$ параметры рассчитанного режима не соответствуют текущему моменту времени и не могут быть использованы для принятия решений. Увеличение количества узлов и ветвей приводит к возрастанию времени расчета, и следовательно, увеличению затрат вычислительных ресурсов. Таким образом, рассмотренные параметры подсистемы расчета режимов работы ЭС и ОЭС определяют эффективность работы полнофункционального режимного тренажера в целом. В качестве показателя эффективности может быть использовано время расчета режима работы энергосистемы.

В настоящее время разработано и широко используется множество комплексов программ расчета и анализа режимов [1,2,4] для достижения поставленных целей. Эти программы реализуют, в основном, метод Ньютона-Рафсона для решения системы нелинейных уравнений, описывающих режимы работы ЭЭС и ОЭС. Метод Гаусса используется для решения линейных систем уравнений баланса узловых токов. Искомыми неизвестными выступают напряжения узлов ЭС, а токи задаются или вычисляются на очередной итерации. Зависимость времени расчета режима от размерности решаемых задач не критична для объемов сетей, содержащих примерно до 5000 узлов и 7500 ветвей. Но с увеличением размерности решаемых систем нелинейных уравнений, описывающих режимы работы ЭС или ОЭС, например, до порядка 80 000 ... 100 000 узлов, резко увеличивается (до минут) время их решения в зависимости от суммарной нагрузки и/или генерации. И в этом случае необходимые диспетчерскому персоналу данные для принятия оперативного решения по ведению планового или ликвидации аварийного режима не будут соответствовать параметрам, получаемым от программ расчета

режима. Упомянутый выше метод Ньютона-Рафсона, например, может быть использован для ОЭС, количество узлов в которых не превышает 20 000. Также необходимо отметить тот факт, что при увеличении объемов решаемых задач сильно усложняется задача поддержания актуальности параметров ОЭС в целом. Следовательно, такие комплексы программ расчета режимов не могут быть использованы в полнофункциональных режимных тренажерах.

Основная цель работы заключается в оценке возможностей использования распределенной среды моделирования в полнофункциональных режимных тренажерах для энергосистем Украины. Выполнена оценка реакции подсистемы распределенной моделирующей среды для расчета режимов ОЭС, содержащих около ста тысяч узлов и ста пятидесяти тысяч ветвей. Для реализации этого подхода были разработаны распределенные БД, моделирующие параллельно работающие ЭС, группы триггеров, реагирующих на изменения ИД в БД и серверы приложений, обеспечивающие взаимодействие большого количества пользователей полнофункционального режимного тренажера (ПОРТ) с БД.

Режим любой ЭС или ОЭС в общем виде описывается матричным уравнением баланса мощностей узлов

$$\left(\left[\dot{Y}_{ss} \right], \left[\dot{U}_s \right], \left[\hat{U}_s \right] \right) - \left[\dot{S}_s \right] = 0, \quad (1)$$

где $\left[\dot{Y}_{ss} \right]$ – матрица узловых проводимостей сети; $\left[\dot{U}_s \right]$ – вектор-столбец напряжений узлов; $\left[\hat{U}_s \right]$ – вектор-столбец сопряженных напряжений узлов; $\left[\dot{S}_s \right]$ – вектор-столбец заданных мощностей узлов.

Матрица связи сечений, обеспечивающих параллельную работу ЭС, имеет вид

$$\left(\left[\dot{Y}_{ss} \right]_i \cdot \left[\dot{U}_s \right]_i \right) - \left[\dot{I}_s \right]_i = 0, \quad (2)$$

где $\left[\dot{Y}_{ss} \right]_i$ – матрица узловых проводимостей в сечении i -й ЭС; $\left[\dot{U}_s \right]_i$ – вектор-столбец напряжений узлов в сечении i -й ЭС; $\left[\dot{I}_s \right]_i$ – вектор-столбец токов ветвей в сечении i -й ЭС.

Физически БД, моделирующие режимы параллельно работающих ЭС, размещены на отдельных серверах и находятся в разных местах. Программы расчета режимов реализованы в виде встроенных функций и тоже находятся на этих же серверах. Связь между различными БД ОЭС осуществляется системой триггеров, реагирующих на события, связанные с изменениями параметров ЭС и новыми результатами асинхронно выполняемых расчетов режимов.

Группа триггеров, реагирующих на определенные события, разработана с целью контроля изменений в ИД параметров ЭС или ОЭС. Один из триггеров этой группы должен фиксировать события, связанные с любыми изменениями в файлах ИД БД (таблицы узлов, ветвей, общей информации) и запускать триггер, обеспечивающий попытку расчёта нового режима для новых ИД или результатов расчета режима. Все последующие/новые изменения параметров сети могут возникнуть/наступить до полного окончания расчёта режима. Поэтому в случае большого количества изменений параметров ЭС формируется очередь запросов на их обработку. До полной обработки всех запросов использовать перечисленные выше таблицы для других целей нельзя. Некоторые изменения в БД приводят к построению новой конфигурационной модели, используемой для программ расчёта режима. Это касается событий, связанных с добавлением/удалением узлов/ветвей, изменением состояния узлов (отключён/включён), ветвей (отключена с начала, отключена с конца, отключена полностью), изменением атрибутов узла (узел с фиксацией модуля напряжения, вектора напряжения и др.). События, связанные с изменениями в узлах нагрузки, генерации, поперечной проводимости (величина шунта), заданных модулей или векторов напряжения и некоторые другие, не приводят к необходимости построения новой конфигурационной модели ЭС или ОЭС. Рассмотрим кратко последовательность создания системы обработки возникающих на сервере событий. Триггер запуска расчёта режима (ON_UPDATE_NS) срабатывает в случае изменения поля PR_IZM в таблице общей информации о сети ci_work_ces. Структура триггера с комментариями выглядит следующим образом.

```
--начало триггера ON_UPDATE_NS
create or replace
TRIGGER ON_UPDATE_NS AFTER
UPDATE OF PR_IZM ON CI_WORK_CES DECLARE
v_ci ci_work_ces.name_ci%TYPE;
cursor c_knots_edit is select name_ci from ci_work_ces;
BEGIN
open c_knots_edit;
fetch c_knots_edit into v_ci;
```

```
/*EvalTrigger.eval(v_ci);*/
-- обращение к процедуре eval в пакете EVALTRIGGER
-- процедура eval обращается к встроенной функции
расчёта режима (oracle.Evaluation.eval), написанной на
Java, и передаёт ей параметры, где Evaluation - класс, а
eval - процедура расчёта режима.
EVALTRIGGER.eval(v_ci);
close c_knots_edit;
END;
-- конец триггера ON_UPDATE_NS
```

После окончания расчета режима одной из параллельно работающих ЭС или ОЭС могут быть запущены триггеры, обеспечивающие передачу значений напряжения граничных узлов в параллельно работающие ЭС. Если эти значения не превышают заданную точность расчета ε_u , то триггеры не запускаются. Полученные новые значения векторов напряжений граничных узлов вызывают запуск триггеров расчета режима других параллельно работающих энергосистем. Как правило, итерационный процесс сходится за 5 ...6 итераций. Среднее время расчета режима не превышает 2 сек.

Таким образом, основным критерием эффективности работы подсистемы расчета режимов ЭС и ОЭС предложено выбрать время расчета режима. Выполненные исследования показали эффективность применения распределенной моделирующей среды для расчета режимов ОЭС, содержащих порядка ста тысяч узлов и сто пятьдесят тысяч ветвей. Применение распределенной моделирующей среды расширяет возможности исследования различных режимов больших ОЭС с требуемой степенью детализации элементов ЭС.

1. Авраменко В.Н., Гуреева Т.М., Юнеева Н.Т. Моделирование динамики энергосистемы и структура режимного диспетчерского тренажера // Техн. электродинамика. Тем. выпуск "Моделирование и управление энергосистемами." – 2002. – С. 70–75.
2. Вайнштейн Р.А. Математические модели элементов электроэнергетических систем в расчетах установившихся режимов и переходных процессов – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m202.pdf>
3. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах.– М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
4. Redkovsky N.N. and Goureev V.A. Optimization problems and calculation of electrical networks work regimes. Vol. 1. / Optimization, Methods & Software. – Gordon and Breach Science Publishers, 1996. – Pp. 1–15.

УДК 621.3.51

РОЗПОДІЛЕНЕ СЕРЕДОВИЩЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ У ПОВНОФУНКЦІОНАЛЬНОМУ РЕЖИМНОМУ ТРЕНАЖЕРІ (ПОРТ) ДЛЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ УКРАЇНИ

В.О.Гурєєв¹, канд.техн.наук, **О.В.Сангінова²**, канд.техн.наук

¹– НП ТОВ "Інфотех", а/с, 44, Київ, 03037, Україна,

²– Національний технічний університет України «КПІ»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна. E-mail: olga.sanginova@infotec.ua

Розглянуто деякі аспекти моделювання режимів у повнофункціональному тренажері для енергосистем України з метою вироблення навичок швидкої ліквідації складних аварій на підстанціях і енергосистемах в процесі навчання і тренажу персоналу. Проаналізовано найбільш критичні параметри підсистеми розрахунку режимів роботи енергосистем і їхніх об'єднань: час розрахунку режиму, підтримка актуальності вихідних даних у базах даних і обсяг моделюючих енергосистем чи їхніх об'єднань. Наведено результати розрахунку режимів об'єднаних енергосистем, що містять близько ста тисяч вузлів і сто п'ятдесят тисяч гілок. Виконано оцінку можливостей використання запропонованого середовища моделювання у повнофункціональних режимних тренажерах для енергосистем України. Бібл. 4.

Ключові слова: енергосистема, повнофункціональний тренажер, моделювання.

DISTRIBUTED SIMULATION ENVIRONMENT OF MODES FOR FULL-SCALE MODE SIMULATOR FOR UKRAINIAN ENERGY SYSTEMS

V.O.Gurcieiev¹, O.V.Sanginova²

¹– Infotec LTD, PO box 4, Kyiv-37, 03037, Ukraine,

²– National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: olga.sanginova@infotec.ua

Some aspects of modes simulation of Ukrainian energy systems using full-scale mode simulator to develop the staff skills of complex accidents rapid elimination at the high-voltage substations and the power supply systems are considered. The most critical parameters of a modes calculation subsystem of power systems and their units: the calculation time mode, maintaining the relevance of the original data in the database and the amount of modeling energy systems or their units have been analyzed. The results of modes calculation of energy systems containing about one hundred thousand units and one hundred fifty thousand branches are presented. The estimation of possibility of using the proposed simulation environment to the full-scale simulators for energy systems in Ukraine are suggested. References 4.

Key words: energy system, full-scale mode simulator, simulation.

1. Avramenko V.N., Hureeva T.M., Yuneeva N.T. Modeling the Dynamics of the Power System and the Structure of the Regime Dispatching Simulator // Tekhnichna Elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Modelirovanie i upravlenie enerhosistemami". – 2002. – Pp. 70–75. (Rus)

2. Vaynshteyn R.A. Mathematical models of electric power systems elements in the calculation of steady state and transient. – Available at: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m202.pdf> (accessed 11.01.2016)

3. Gurevich Yu.E., Libova L.E., Okin A.A. Computation of the stability and emergency control in power systems. – Moskva: Energoatomizdat, 1990. – 390 p. (Rus)

4. Redkovsky N.N. and Goureev V.A. Optimization Problems and Calculation of Electrical Networks Work Regimes. Vol. 1. / Optimization, Methods & Software. – Gordon and Breach Science Publishers, 1996. — Pp. 1–15.

Надійшла 03.02.2016

Остаточний варіант 23.05.2016