Авторы:

С.Н. Васильев,
академик РАН
Н.И. Воропай, член-корреспондент РАН
М.А. Рабинович, д.т.н.
И.Б. Ядыкин, д.т.н.

ЕДИНАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА РОССИИ: ВРЕМЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ ВСТУПАЕТ В НОВУЮ ФАЗУ. СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОТРАСЛИ ПОСТАВИЛИ ЗАДАЧУ ПЕРЕСМОТРЕТЬ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЕЭС. НА ПОВЕСТКЕ ДНЯ – ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО (АДАПТИВНОГО) УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Речь идет о создании интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС).
Эта задача поставлена не только и не столько усложнением мировой энергетики, появлением новых технологий и решений, хотя все эти факторы тоже относятся к числу ключевых. Главная проблема для всех участников рынка производства и потребления электроэнергии заключается в том, что ЕЭС России продолжает оставаться совокупностью крупных энергосистем, слабо связанных между собой. Слабость этих связей не позволяет повысить пропускную способность сетей без угрозы потери статической устойчивости. Соответственно, главное на сегодня требование к энергосистеме – системная надежность. Здесь у работников отрасли есть объективный ориентир: нормативный запас по пропускной способности сети в Европе составляет 10%, а в России – вдвое больше. Цель на ближайшую перспективу – максимально сократить этот разрыв.
Отечественная электроэнергетика нуждается, в первую очередь, в автоматизированной системе мониторинга степени статической устойчивости и в одновременном повышении системной надежности на основе применения усовершенствованных алгоритмов автоматики против нарушения устойчивости (АПНУ). Это даст огромный эффект как в экономике, так и в социальной сфере, а также в экологии отрасли.
В этом материале авторы поставили себе целью отразить основные принципы и проблематику адаптивного управления сетями. Только этот принцип на сегодняшний день позволит ЕЭС России совершить качественный рывок вперед, повысить надежность и эффективность работы оборудования, а также увеличить лимит пропускной способности сетей и минимизировать риски, связанные с аварийными изменениями параметров работы и невыполнением обязательств ЕЭС перед потребителями.
Для того чтобы лучше передать все проблемы, связанные с созданием и внедрением адаптивной системы управления, необходимо понимать, в каком направлении следует вести исследования и разработки.

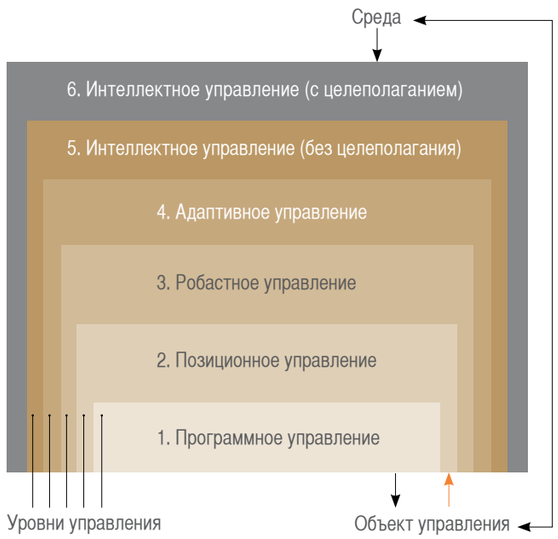
ОТ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ К ИННОВАЦИОННОМУ УПРАВЛЕНИЮ

Проблематика развития ЕЭС и эффективного управления режимами подразумевает два основных тематических комплекса. Первый включает в себя задачи методологического характера, создания математических и виртуальных моделей структуры энергетических систем. Отметим, что эти модели должны включать в себя механизмы вывода из работы физически и морально устаревшего оборудования и ввода в действие новых электроэнергетических объектов. Важно понять, что ЕЭС должна модернизироваться как технологически единый, хотя и многофункциональный объект.
Второй комплекс задач подразумевает, собственно, управление модернизированным энергетическим хозяйством, достигшим запланированного уровня системной надежности.
Коренным образом изменившиеся условия работы ЕЭС определяют отдельные аспекты проблем, которые необходимо решать в ходе фундаментальных исследований. В этом смысле потребности отрасли можно охарактеризовать следующим образом:

- [illegible] *(FACTS, PMU,* [illegible]*);*
- [illegible]*;*
- [illegible]*;*
- [illegible]*;

ИЕРАРХИЯ УРОВНЕЙ УПРАВЛЕНИЯ В ИЭС

ПОНЯТИЕ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ» ОЗНАЧАЕТ СОВОКУПНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРЕДОСТАВЛЯЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЬ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЕНЭС ЗА СЧЕТ ОБМЕНА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И МАРКЕТИНГОВОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ



□□□

□ □□□□□□□□□□□□□ *Smart Grid* □□□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□□□□

AsSihwa Lake Tidal Power StationAt 254 4 2011 г.

«ОБУЧЕНИЕ БЕЗ УЧИТЕЛЯ» И МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для того чтобы интеллектуальная система управления полностью удовлетворяла постоянно изменяющимся условиям реального функционирования, она должна быть обучающейся. Это особенно важно в плане повышения быстродействия и экономии вычислительных ресурсов.

Наиболее эффективный метод – кластеризация, или «обучение без учителя». Он подразумевает при построении виртуальной модели ввод данных из архива по текущему состоянию моделируемого объекта. Полученные в результате настройки модели позволят выработать наиболее оптимальные решения и воздействия на энергосистему, причем как в чисто технологических локальных процессах, так и в системах глобального контроля и принятия важных управленческих решений.

Интеллектуальная система управления – это, по сути, глобальный сетевой информационный комплекс, многоуровневая иерархия. Такой комплекс может быть создан только на базе мультиагентных технологий.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ, ИЛИ «ОБУЧЕНИЕ БЕЗ УЧИТЕЛЯ» – НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД. ОН ПОДРАЗУМЕВАЕТ ВВОД ДАННЫХ ИЗ АРХИВА ПО ТЕКУЩЕМУ СОСТОЯНИЮ МОДЕЛИРУЕМОГО ОБЪЕКТА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ. ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ НАСТРОЙКИ МОДЕЛИ ПОЗВОЛЯТ ВЫРАБОТАТЬ НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Что же такое мультиагентные технологии? В отличие от классического способа, когда проводится поиск некоторого четко определенного (детерминированного) алгоритма, позволяющего найти наилучшее решение проблемы, в мультиагентных технологиях решение получается автоматически в результате взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных программных модулей – так называемых агентов. Агент может действовать по поручению и в интересах человека.

В нашем случае мультиагентные технологии призваны повысить инфраструктурную устойчивость электроэнергетических систем. В частности, подразумевается, что в результате действия модулей-агентов система должна быстро самовосстанавливаться после возникновения и развития каскадных аварий.

На сегодняшний день уже разработаны принципы управления энергосистемой на базе мультиагентных технологий. Интеллектуальные алгоритмы идентификации объектов системы и управления ею отличаются высокой точностью, а также возможностью адаптивного обучения. Разработчики вплотную приблизились к созданию самих агентов, которые призваны работать на всех уровнях иерархической системы интеллектуального управления.

(

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ» ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ ДЛЯ ГОРОДОВ И МЕГАПОЛИСОВ

NIST

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАНДАРТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОПИСАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИЭС ААС (ARCHITECTURE FRAMEWORK)

Одной из значимых сфер применения мультиагентных технологий является управление спросом на электрическую и тепловую энергию в городах. Причем интеллектуальная система управления может быть реализована как в небольших городах, так и в мегаполисах.

Именно города являются первоочередными территориями для внедрения систем управления спросом. В первую очередь, потому что в городской среде уже сложилась энергетическая инфраструктура, включающая и генерацию, и сети, а также системы управления комплексами городского хозяйства. Кроме того, в городах развиты телекоммуникационные системы.

Эти системы работают в режиме реального времени, что важно для сетевого управления.

Наконец, имеется кадровый потенциал для внедрения новых информационных технологий.

В рамках создания интеллектуальных систем управления спросом на электрическую и тепловую энергию предстоит решить следующие задачи:

- *;*
- *;*
- *;*
- *;*
- *.*

Если реализовать все эти функции, в городах появится возможность управления активно-адаптивными сетями с точки зрения экономических факторов – разумеется, при выполнении требований устойчивости и надежности энергосистем. Агенты-программные модули могут выставлять заявки на продажу энергии от генерации и принимать заявки от покупателей, а также выполнять функции интеллектуального помощника трейдера. Кстати, программа-советник трейдера может «приспосабливаться» к определенному стилю работы и выводить рекомендации наиболее удобным для трейдера способом. Роботизированные электронные торги позволят и продавцам, и покупателям работать на рынке с максимальной эффективностью, а также, что особенно

УМНЫЕ СЕТИ ШИРЕ, ЧЕМ ИНТЕРНЕТ

Интеллектуальные системы в электроэнергетике часто сравниваются с Интернетом. Сегодня по теме Smart Grid наиболее часто обсуждаются измерительные устройства, контроллеры и счетчики, замеряющие поступающую электроэнергию. Но пока ощущается явный недостаток приборов, управляющих потоками электроэнергии.

Японский цифровой сетевой консорциум The Digital Grid Consortium надеется изменить эту ситуацию с помощью эквивалентов маршрутизаторов и провайдеров интернет-услуг, которые управляют потоком интернет-данных. Авторы технологии в перспективе надеются управлять «пакетами электроэнергии» по принципу управления пакетами данных в Интернете.

Данное направление имеет большие перспективы, особенно в контексте катастрофы и остановки реактора из-за разрушительного цунами.

важно для российских условий, обострить конкуренцию и сделать механизм торгов прозрачным. Не говоря уже о высокой точности и скорости сложных расчетов, недоступных обычному трейдеру.

Впрочем, следует признать, что такие глобальные системы управления спросом – дело даже не завтрашнего дня. Либерализация рынка электроэнергии, появление конкуренции объективно усложняют работу энергосистемы, повышают риски. В любом случае, субъектам рынка необходимо согласовывать свои действия с системным оператором, поскольку он один несет ответственность за устойчивую безаварийную работу энергосистемы. Поэтому внедрение систем управления спросом требует коренной модернизации не только энергетической системы города, но и всего рынка.

Создание в России интеллектуальных систем управления спросом на основе мультиагентных технологий пошло бы на порядок быстрее, будь у нас соответствующая инфраструктура (компании-разработчики) и кадровый потенциал, включающий не только IT-специалистов, но и профессионалов энергетического рынка. Тем не менее будущее – именно за такими системами. Тем более что их внедрение в городах имеет то преимущество, что здесь энергосистемы менее сложны по сравнению с системами энергообъединений, а городские биллинговые системы уже сегодня способны обеспечить субъекты рынка расчетами цен на продаваемую и покупаемую электроэнергию в реальном масштабе времени.

СИСТЕМА ПОД УГРОЗОЙ

Система интеллектуального управления энергообъектами, как и аналогичные программные решения в других отраслях, подвержена внешним угрозам и, в частности, кибератакам. Разумеется, конечной целью этих атак являются не виртуальные агенты, а реальные объекты (исполнительные устройства). Думается, нет необходимости подчеркивать, какую потенциальную угрозу для энергосистем могут нести эти кибератаки. Следовательно, проблема информационной безопасности ИЭС ААС более чем актуальна, и ее решение требует особых аппаратных решений.

Защита адаптивной системы управления энергообъектами в принципе строится аналогично защите других информационных систем – биржевых, банковских и т.п., однако имеет и существенные отличия. В частности, средства, используемые для кибератак на ИЭС ААС, разработаны специально для этой цели – они уникальны, и это делает проблему защиты от несанкционированного вторжения более сложной, чем обычно. Кроме того, высокая сложность адаптивной системы и быстротечность процессов в ней делают кибератаку столь же быстротечной и высокотехнологичной.

Поэтому вопросам информационной безопасности следует уделить максимум внимания еще на стадии проектирования системы управления. Политика безопасности должна учитывать в первую очередь корпоративные требования энергокомпаний к обеспечению безопасности, внутреннюю корпоративную политику безопасности, а также национальные и международные законодательные и регулирующие документы. В последнем случае речь идет о стандартах, разработанных группой IEC TC57: IEC 61850, IEC60870, IEC 62351 (в части безопасности коммуникационных протоколов), а также стандарте INL и серии ISO/IEC 27000 (в части общих принципов обеспечения безопасности цифровых систем управления).

При разработке концепции информационной безопасности интеллектуальных систем управления необходимо также учитывать следующие факторы:

- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible].

ИЭС ААС КАК ОТКРЫТАЯ СИСТЕМА: МЕТОДИКА, НОРМЫ, ПРАВО

Немаловажным фактором в ходе создания интеллектуальных систем управления энергетическими объектами является нормативно-правовое и методическое обеспечение их работы. Данные системы, как и подобные им аппаратные решения, являются объектом права. Поэтому при внедрении ИЭС ААС необходимы следующие мероприятия:

- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible].

Разумеется, все эти мероприятия должны соответствовать открытым международным стандартам. В первую очередь это относится к описанию архитектуры ИЭС ААС (Architecture Framework). Для создания этого документа следует прибегнуть к следующим международным нормам и стандартам:

- ISO/IEC 42010 Systems and software engineering – Architecture description;
- Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap 2009.
- NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0 2010.
- NISTIR 7628 Guidelines for Smart Grid Cyber Security (Vol 1-3) 2009.

[illegible]

ЕЭС, ДАЛЕЕ – ВЕЗДЕ

В этом материале авторы лишь бегло коснулись проблематики создания интеллектуальных адаптивных энергосистем. В заключение еще раз стоит отметить технологии, которые минимально необходимы для конструирования ИЭС ААС:

- [illegible] *FACTS*, [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible];
- [illegible].

Заканчивая разговор об интеллектуальных системах управления в электроэнергетике, необходимо подчеркнуть ценность данных разработок не только для ЕЭС. Методология интеллектуального управления имеет межотраслевое значение, поскольку открывает принципиально новый аспект науки и производства – управление в инфраструктурных динамических системах, к которым относятся не только электроэнергетика, но и тепловая энергетика, транспортная, телекоммуникационная и финансовая инфраструктуры. Поэтому следует сконцентрировать все возможные ресурсы для того, чтобы перейти от научных разработок к практическому применению принципов построения ИЭС ААС. За интеллектуальными системами – будущее управленческих решений. ■

МИРОВЫЕ ВЫБРОСЫ CO_2 ОТ ЭНЕРГЕТИКИ ДОСТИГЛИ ИСТОРИЧЕСКОГО МАКСИМУМА

Сейчас мир подошел невероятно близко к уровню выбросов, который нельзя превышать до 2020 года, если мы хотим достичь «цели двух градусов». Цель эта была установлена на конференции в Канкуне в 2010 году и заключается в том, что, для того чтобы ограничить рост глобальной средней температуры на Земле, концентрация газов в атмосфере не должна превышать 450 частей на миллион, т. е. «резерв» роста составляет не более 5%.