

© 2012 г. **Н.Н. БАХТАДЗЕ**, д-р техн. наук,
И.Б. ЯДЫКИН, д-р техн. наук,
Е.М. МАКСИМОВ, канд. техн. наук,
Н.Е. МАКСИМОВА
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С АКТИВНО- АДАПТИВНОЙ СЕТЬЮ

Рассматриваются вопросы разработки интеллектуальной системы управления электроэнергетической системы (ЭЭС) России с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) на основе мультиагентного подхода и методов интеллектуального прогнозирования.

MULTI-AGENT APPROACH TO DEVELOPMENT OF SMART ENERGY SYSTEMS WITH AN ACTIVE AND ADAPTIVE GRID / N.N. Bakhtadze (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: bahfone@ipu.ru), I.B. Y adikin (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: jad@ipu.ru), E.M. Maximov (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: maxfone@ipu.ru), N.E. Maximova (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Profsoyuznaya 65, Moscow 117342, Russia, E-mail: maxfone@ipu.ru). The problems of the intelligent control system development for the smart energy systems (ES) of Russia with an Active and Adaptive Grid (AAG) methods based on multi-agent approach and predictive forecasting are considered.

1. Введение

Рассматриваются вопросы разработки интеллектуальной системы управления электроэнергетической системы (ЭЭС) России с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) на основе методов интеллектуального прогнозирования. Архитектура системы управления ЭЭС становится модульной, интероперабельной и расширяемой. Она строится на использовании вложенных сетевых кластеров мультиагентной системы (МАС) вертикальной интеграции, в которых работают интеллектуальные автономные агенты различного функционального назначения. Основой функционирования интеллектуальной системы управления становится динамическая оценка и интеллектуальное прогнозирование состояния электроэнергетических систем (ЭЭС) с целью адаптивного управления и динамической поддержки принятия решений. Принципиально важным преимуществом ИЭС ААС является ее способность предвидеть

возникающие внешние и внутренние угрозы и мгновенно реагировать на них, добиваясь их ликвидации или уменьшения степени их воздействия на функционирование ИЭС ААС в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах.

2. Актуальность и постановка задачи

В условиях возрастающих требований к надежности и качеству энергоснабжения и развития технологий генерации наряду с растущим износом основного технологического оборудования распределительных сетей эффективным решением проблем регулирования является создание интеллектуальных сетей. Понятие «интеллектуальные» сети означает совокупность энергетических и информационно-коммуникационных технологий, предоставляющих возможность более эффективного распределения энергии и контроля энергопотребления за счет обмена и интеллектуального управления технологической и маркетинговой информацией. Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) будет представлять собой энергосистему нового поколения, целью которой является обеспечение эффективного использования всех видов ресурсов (природных, социально-производственных и человеческих) для надежного, качественного и эффективного энергоснабжения потребителей энергии за счет гибкого взаимодействия ее субъектов (всех видов генерации, электрических сетей и потребителей) на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной системы управления.

Сложность управления ЕНЭС сегодня настолько высока, что полностью централизованное управление становится неэффективным из-за наличия огромных потоков информации, когда слишком много времени тратится на ее передачу в центр и принятие им решений. Системы управления включают ряд подсистем, обладающих различными функциональными характеристиками и взаимодействующих с различными специалистами, удаленными друг от друга. Поэтому некоторые элементы организационного управления должны быть переданы от центра к периферии с четким разграничением прав и информационного доступа.

Анализ современных методов разработки систем управления, силовых технических устройств энергосистемы и программно-аппаратных средств, позволяет использовать в качестве системного решения мультиагентный подход [1]. В соответствии с такой концепцией система управления ЕНЭС России верхнего уровня должна представлять собой координирующую информационно-управляющую систему, функционирующую на основе соответствующих стандартизованных протоколов и интерфейсов взаимодействия.

3. Уровни управления ИНЭС ААС

Построение системы управления ИНЭС ААС осуществляется по иерархическому принципу с выделением зон ответственности за управление определенным уровнем иерархии. На высших уровнях иерархии управления происходит расчетное объединение групп узлов, имеющих между собой «сильные» связи в один «эквивалентный» узел с суммарной генерацией и потреблением в этом узле, а контроль осуществляется по «слабым» связям между этими узлами на предмет выхода параметров, характеризующих их работу за пределы нормального режима. Для каждого из уровней управления, определяются процессы нормального функционирования, когда возмущения в узле управления не приводят к нарушению баланса между потреблением и производством, а также не вызывают нарушений в работе связей между узлами. В этом случае, управление осуществляет процесс перехода из одного стационарного состояния в другое,

оптимизируя текущие процессы (режимы) энергосистемы. Оценка текущего состояния электроэнергетической системы в реальном времени дает возможность контролировать этот процесс и выявлять отклонения, которые могут привести систему в нестационарное состояние, когда необходимо включать другие алгоритмы и критерии управления, позволяющие с минимальными негативными последствиями привести энергосистему в новое стабильное состояние [2].

Объекты энергосистемы находятся в собственности различных организационных структур, с различными коммерческими интересами, поэтому при организации процесса управления таким сложным объектом необходимо учитывать рыночный характер отношений между ними, решая задачу разрешения конфликта интересов. Поэтому на каждом из уровней функционируют также коммерческие агенты.

Ограничения инфраструктурного характера, связанные с недостаточной пропускной способностью многих связей, диктуют необходимость деления общей электроэнергетической системы на электроэнергетические сегменты ИНЭС ААС.

Интерактивное взаимодействие агентов технологического управления и коммерческого учета разных уровней и различного функционального назначения, должно осуществляться на основе создания распределенной информационно-технологической среды ИНЭС ААС, реализующей синхронизированный информационный обмен и оптимизацию управления между различными подсистемами.

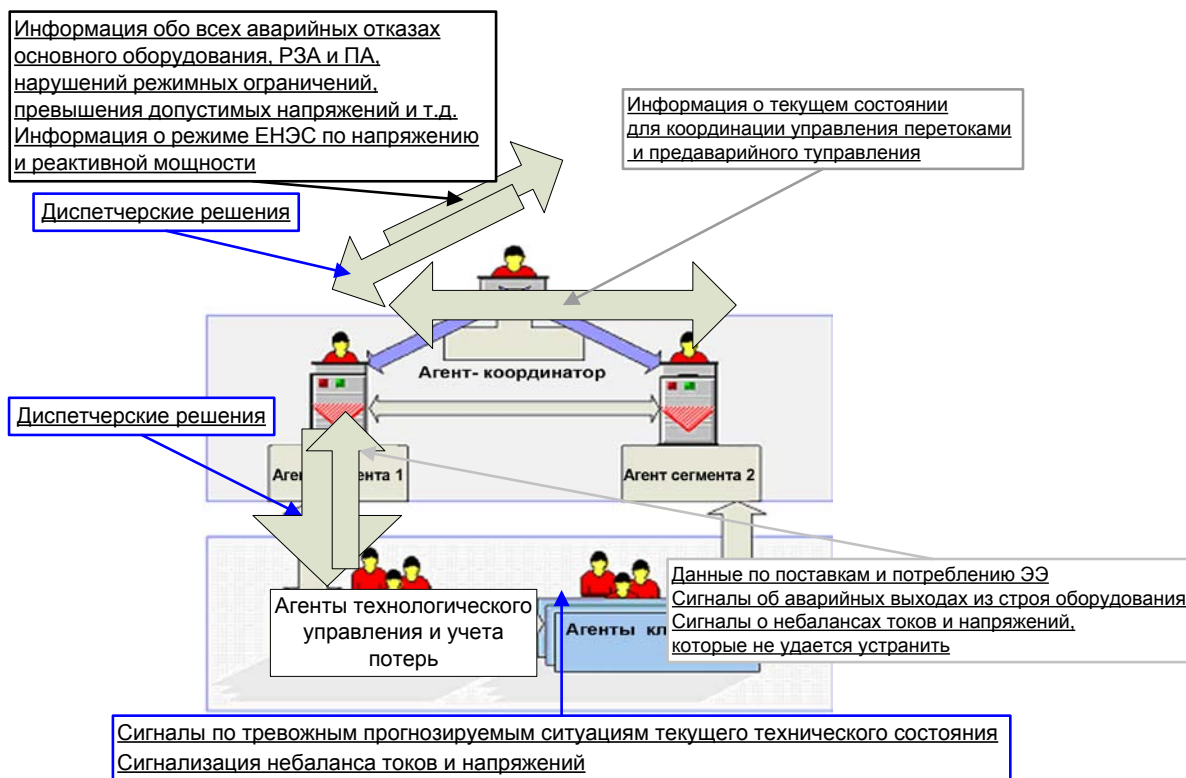


Рис.1. Информационный обмен между Агентами технологического управления

Архитектура МАС ИНЭС должна предусматривать возможность интеллектуальной поддержки принятия решений, прежде всего, по обеспечению надежности функционирования, согласованных для всей Системы, на всех уровнях, а также

оптимизировать показатели процессов выработки и потребления электроэнергии (экономические и технологические). Это достигается за счет оптимизации планирования и управления режимом, для чего применяются динамические оценки состояния, прогноз потребления, соответственно, прогноз нагрузок, прогноз и минимизация потерь разных типов.

С учетом этого, можно выделить МАС принятия решений по технологическому управлению для определенных сегментов ИНЭС, и рассматривать дальнейшее взаимодействие систем управления разных сегментов как координированное взаимодействие агентов этих сегментов.

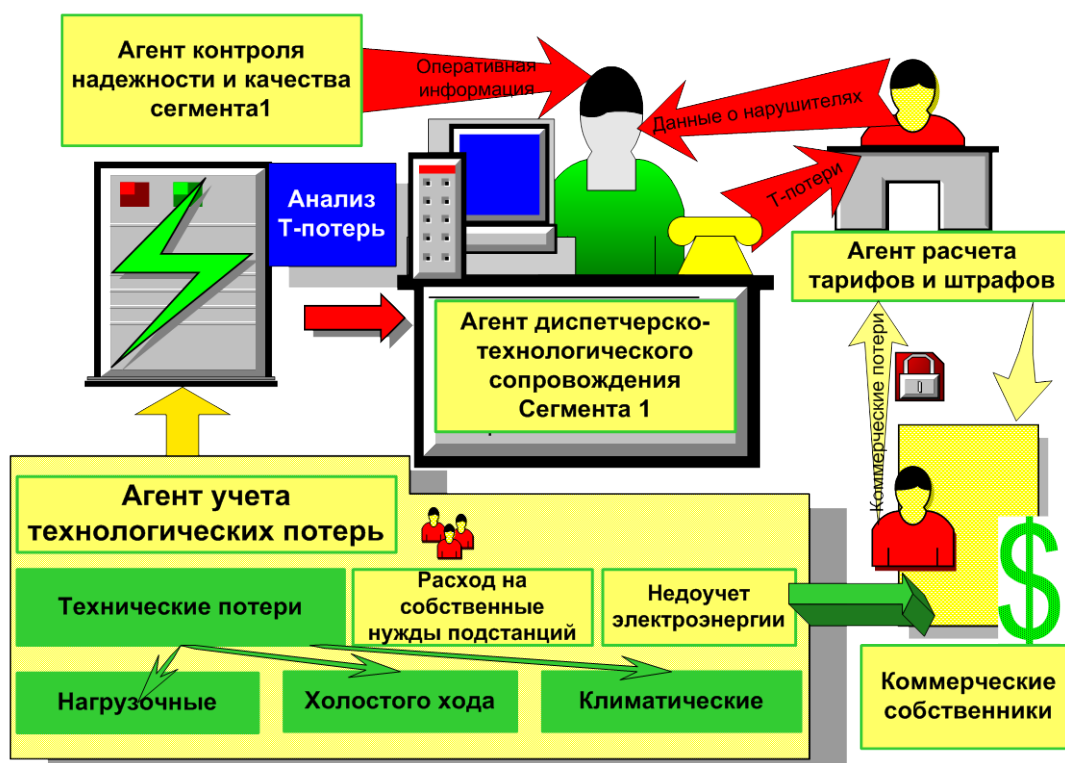


Рис.2. МАС управления сегментом: технологические и коммерческие МАС

МАС поддержки технологического управления на уровне сегментов содержит несколько составных агентов, среди которых:

- Агент диспетчерско-технологического сопровождения - (мини-СО)
- Агент учета технологических потерь
- Агент контроля надежности и качества сегмента
- Агент учета коммерческих потерь
- Агент выявления нарушителей (например, неучастие в ОПРЧ) и расчета штрафов

Поддержку технологического управления (с учетом анализа потерь и коммерческой информации) осуществляют Агент диспетчерско-технологического сопровождения и Агент контроля надежности и качества.

Можно выделить следующие функции МАС поддержки технологического управления на уровне генерирующего объекта:

- измерение параметров режима работы оборудования;

- расчет необходимых агрегированных и/или производных значений (среднее, интегральное, производной и т.п.)
- ведение архивов
- контроль технологических и режимных пределов
- формирование, передача и регистрация (запись) сигналов о фактах нарушения и его характеристиках (время, длительность, величина и т.д.)
- контроль положения коммутационного оборудования
- контроль нарушения заданной схемы работы подстанции (топологии), формирование, передача и регистрация (запись) сигналов о переключениях и их характеристиках (время, величина разрываемого тока, значение напряжения и т.д.).
- дистанционное управление коммутационными аппаратами, контроль выполнения команд, регистрацию (запись) команд и результатов.
- автоматическое восстановление энергоснабжения (сборка шин), автоматическое осуществление заданных последовательностей переключений
- интеллектуальная поддержка принятия диспетчерских решений (в форме, как экспертно-аналитических сообщений по любому требуемому профилю запросов, так и рекомендаций по управлению, получаемых на основе адаптивных алгоритмов);
- оптимизация состава и количества работающего оборудования;
- разработка балансов электроэнергии и мощности, краткосрочное планирование;

Функции коммерческого агента собственника:

- Оптимизация затрат на ремонт эксплуатационного оборудования
- Анализ рынка на основе информации от других агентов
- Прогноз потребления ЭЭ
- Прогноз спроса на ЭЭ
- Расчет оптимальных тарифов на следующий период
- Прогноз тарифов
- Подсчет потерь по собственной вине
- Расчет штрафов
- Оптимизация затрат на системные услуги

Функции МАС поддержки технологического управления на уровне сегмента:

- интеллектуальный анализ данных мониторинга (Data Mining) в режиме реального функционирования;
- автоматическое управление потоками мощности на основе адаптивных алгоритмов прогнозирования с использованием динамических моделей [3];
- прогнозирование состояния сети, пропускной способности сетей, потребления;
- прогноз объемов поставки и резервов системных генераторов, гидроресурсов, объемов поставок генераторов, работающих по вынужденному графику, мощности, вырабатываемой всеми объектами генерации;
- координация ремонтных кампаний сетевого и генерирующего оборудования;
- планирование резервов активной мощности генераторов для рынка реального времени.

Функции коммерческого агента на уровне сегмента:

- Анализ рынка на основе информации от всех агентов
- Прогноз спроса на ЭЭ
- Подсчет потерь (в том числе, в высоковольтных сложно-замкнутых сетях)
- Расчет штрафов
- Урегулирование разногласий между участниками энергообмена
- Прогноз потребностей на системные услуги

Функции МАС технологического управления на уровне координатора:

- интеллектуальная поддержка принятия диспетчерских решений (в форме как экспертно-аналитических сообщений по любому требуемому профилю запросов, так и рекомендаций по управлению, получаемым на основе адаптивных алгоритмов);
- оптимизация состава и количества работающего оборудования;
- разработка балансов электроэнергии и мощности,
- краткосрочное планирование;
- регулирование напряжения, не допуская его снижения и колебания, тем самым, добываясь высокого КПД многих видов электрических машин и устройств;
- контроль гармонического состава и небаланса токов и напряжений, меры по ликвидации источников нарушений качества, тем самым увеличение ресурса работы оборудования, надежность энергоснабжения;
- мониторинг текущего технического состояния с целью предотвращения аварийных отключений (предаварийный вывод из работы); недопущение сверхнормативной загрузки на предельных режимах.

Функции коммерческого агента на уровне координатора:

- обеспечение функционирования системы расчетов выбора состава включенного генерирующего оборудования на неделю вперед;
- формирование актуализированной расчетной модели для проведения Коммерческим оператором конкурентного отбора в рынке на сутки вперед;
- обеспечение функционирования балансирующего рынка – расчет и доведение графиков генерации при фактическом управлении ЕЭС в режиме реального времени;
- прогноз потребностей на системные услуги.

4. Агент учета технологических потерь

Информационные потоки: вертикальные – прямые и обратные – и горизонтальные связывают эту подсистему с другими агентами – на разных уровнях, в соответствии с прописанными правилами и регламентами.

Система контроля фактических потерь предназначена для фиксации и расчета в режиме реального функционирования потерь электроэнергии разных типов, а также передача сведений агентам (более высокого уровня), которые полномочны принимать решения по устранению ряда причин и, в частности, коррекции режимов функционирования). В отличие от существующих систем управления, это может осуществляться оперативно.

Помимо этого, отдельные информационно-аналитические результаты могут быть переданы агентам, осуществляющим связь с объектами генерации и потребления, которые, в свою очередь, смогут в реальном времени корректировать свои стратегии.

Наконец, передача соответствующих данных агентам, формирующим тарифную и штрафную политику, реализует коммерческую составляющую управления для нашего агента, позволяя осуществлять ее более гибко.

Информация о потерях электроэнергии используется не только для расчетов тарифов и штрафов (причем, пересчет может производиться с любой требуемой частотой), но, и прежде всего, - для контроля надежности и качества передачи электроэнергии. В любой момент времени необходимая информация используется для осуществления оперативного и краткосрочного диспетчерского управления.

Однако, некоторые сведения могут передаваться и непосредственно собственникам – для того, чтобы они имели возможность скорректировать режимы функционирования с целью недопущения выхода на предаварийные ситуации.

Недоучет электроэнергии, или погрешности учета обусловлены погрешностями измерительных ТТ (трансформаторы тока), ТН (трансформаторы напряжения) и электрических счетчиков. Коммерческие потери, по оценкам экспертов, составляют 30-40% фактических потерь, поэтому назрела необходимость принятий соответствующих организационных решений.

5. Агент прогнозирования нагрузки ЭЭС (в составе Агента контроля надежности и качества сегмента)

Прогнозирование максимальных электрических нагрузок крупных, средних и мелких потребителей является основой текущего планирования и оперативного управления режимами функционирования электро-энергетической системы (ЭЭС). Точность прогноза нагрузок влияет на экономичность загрузки генерирующего оборудования, и, следовательно, на стоимость электроэнергии.

Но, помимо высоких требований рынка электроэнергии к показателям качества прогнозных расчетов (точности, достоверности, быстродействию и т.п.), прежде всего, точность прогнозирования необходима для обеспечения надежности функционирования ИНЭС.

Появление отдельных энергокомпаний и рыночная конкуренция делают задачу обеспечения надежности энергоснабжения первоочередной в процессе управления ЭЭС: сегодня масштабные отключения в периоды пиковых нагрузок могут стать привести к тяжелым последствиям.

Для краткосрочного и оперативного прогнозирования целесообразно применять интеллектуальные алгоритмы, позволяющие осуществлять прогноз в динамике, строить прогнозирующие модели в режиме реального функционирования.

6. Агент диспетчерско-технологического сопровождения сегмента

- оптимизирует режимы работы сетей на основе прогнозирования потребления и нагрузок;
- оптимально управляет использованием локальных средств управления напряжением (РПН) и реактивной мощностью (ШР, СК);
- управляет локальными средствами компенсации реактивной мощности;
- контролирует переключения и наличие технологических нарушений в сетях
- координирует действия оперативно-выездных бригад (ОВБ), что сокращает время простоя оборудования (недоотпуск) и обработку заявок на оперативные переключения.

Кроме того, контроль потребления и оценка текущих балансов на отдельном сегменте позволяют уменьшать коммерческие потери, а также при наличии технической возможности организовывать технологическую процедуру отключения (ограничения) злостных неплательщиков.

Оперативное управление режимами работы эксплуатационного оборудования на основе мониторинга и прогнозирования его текущего технического состояния предоставляет:

- предотвращение аварийных отключений (предаварийный вывод из работы);
- недопущение сверхнормативной загрузки на предельных режимах;
- сокращение затрат на техобслуживание и ремонт и увеличение срока службы.

Выполнение вышеперечисленных мероприятий направлены на сокращение потерь электроэнергии за счет снижения количества аварийных отключений.

7. Агент прогнозирования потребления на уровне сегмента

Потребителями (покупателями) электроэнергии являются различные по режиму работы и характеру потребления участники, с различными графиками нагрузок и диапазонами мощностей. Они создают «пики» и «спады» потребления в системах электроснабжения. Многие электроприемники, наряду с активной мощностью потребляют и реактивную мощность, причем у некоторых из них (например, у сварочных трансформаторов) доля потребления реактивной мощности превосходит долю потребления активной мощности. Это вызывает дополнительные потери электроэнергии и напряжения в сети, ухудшает пропускную способность сетей и требует значительных затрат на компенсацию реактивной мощности.

Для характеристики спроса на энергию используются графики нагрузок. График нагрузки энергосистемы является суммой графиков нагрузки отдельных групп потребителей, каждая из которых имеет свой график нагрузки. Суммарный график нагрузки системы получается в результате суммирования ординат графиков нагрузки генераторов станций. Составными частями такого графика являются:

- спрос потребителей;
- потери энергии в распределительных сетях и трансформаторах;
- нагрузка собственных нужд станций.

В современных договорных рыночных условиях для всех потребителей, особенно крупных, точность прогнозирования потребления приобретает большую важность. Излишнее или недостаточное потребление электроэнергии, заказанное по предварительным заявкам предприятия, приводит также к незапланированным издержкам поставщика в точке генерации.

При прогнозировании потребления электроэнергии следует учитывать, что каждое производство содержит индивидуальные технологические циклы, которые, суммируясь, образуют уникальный для каждого момента времени процесс. Однако во всех производственных циклах потребления энергии можно найти общие черты, что может послужить основой для формирования «ассоциаций» (формализованных шаблонов различных технологических ситуаций) в базе знаний для выполнения точного прогноза.

Процесс колебаний потребления электроэнергии представляет собой сложный нестационарный случайный процесс, имеющий некоторую цикличность (регулярные колебания). Эти колебания вызваны сезонными изменениями температуры и освещенности (времени суток), технологическим режимом работы предприятий и т.д. На

регулярные колебания накладываются нерегулярные и случайные факторы, определяемые резкими изменениями погодных условий, различными социальными факторами (праздники и т.д.), включение (отключение) энергоемких потребителей и т.д. Учет этих факторов при прогнозировании электропотребления приводит к значительной суточной неравномерности графиков потребления.

Все эти аспекты определяют сложность разрабатываемых прогнозирующих моделей, в частности, их принципиальную нелинейность.

Модели прогнозирования потребления определенным потребителем включают следующие параметры (входы):

- потребление электроэнергии в предыдущие часы (1, 2 и 3 часа),
- недельные и суточные параметры потребления ,
- статус дня (рабочие, выходные, праздничные),
- время суток,
- среднесуточная температура воздуха).

Для решения задачи суточного прогнозирования потребления определенным потребителем берутся данные технологического архива не менее трех лет.

Каждый потребитель имеет индивидуальную математическую модель, учитывающую его специфические особенности.

В модели могут также быть учтены дополнительные факторы, указанных экспертом предприятия (функциональные факторы процесса). Прогнозируемые величины потребления конкретного потребителя могут зависеть от факторов величин потребления других участников процесса.

Для общей динамической модели энергосистемы в аспекте прогноза потребления программы-агенты различных потребителей поставляют свои параметры, пользуются необходимой для них информацией и самопроизвольно могут изменять различные параметры в зависимости от меняющейся технологической ситуации. Например, изменение статуса дня, если декларативно вводится рабочий день вместо выходного, и т.п.

8. МАС группового регулирования активной и реактивной мощности виртуальной электростанции местной торговой площадки

В аспекте МАС контроля и управления надежностью и качеством целесообразно разрабатывать системы группового управления, реализующие следующие цели:

- поддержание заданных системным оператором диспетчерских графиков напряжения в заданном коридоре при аварийном отключении источников распределенной генерации (например, ВИЭ, или аварии в сети, или на одном из источников генерации) - системная услуга внутри локальной энергосистемы
- предоставление через распределенные и магистральные сети резервной активной и реактивной распределенной генерации локальной энергосистемы в качестве внешней системной услуги генерации на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Можно выделить следующие механизмы достижения означенных целей:

- использование свободной распределенной генерации за определенную плату для поддержания необходимого баланса активной и реактивной мощности виртуальной электростанции

- применение коллективных стратегий МАС, представляющих отдельные электростанции – продавцов системной услуги - с целью оптимизации режима и восстановления указанных балансов.

В виртуальной энергосистеме должны быть предусмотрены источники резервной распределенной генерации или энергии аккумуляторов большой емкости для целей стабилизации частоты и восстановления баланса активной и реактивной мощности.

9. МАС автоматического регулирования частоты и потоков мощности

Нарушение устойчивости работы ЭЭС, вызванное изменением нагрузки, ее характера, короткими замыканиями и т.д., приводит к народнохозяйственному ущербу из-за необходимости отключения линий, питающих потребителей. Для недопущения подобных ситуаций используется автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ), выполняющая действия по повышению пропускной способности линий электропередач, изменения настройки автоматических регуляторов возбуждения, мощности турбогенераторов и др.

Архитектура этих систем представляет собой гибкую структуру, состоящую из вложенных сетевых кластеров МАС вертикальной интеграции. Можно выделить следующие основные уровни иерархии, в каждом из которых функционируют подсистемы различного назначения, каждая из которых реализует мультиагентную методологию управления:

- МАС подстанций,
- МАС Центров управления сетями,
- МАС Центра управления регионального сегмента,
- МАС Центра координирующего (глобального) сегмента.

Наряду с формированием вертикальных слоев в иерархии МАС, выделяются горизонтальные слои, определяющие географическое расположение МАС одинакового функционального назначения.

10. Режим определения угрозы нарушения устойчивости ЭЭС МАС безопасности

МАС безопасности обнаруживает место возникновения и величину небаланса мощности и определяет зоны ответственности МАС региональных информационных и управляющих кластеров, управляющих кластеров распределительных сетей и потребителей (формирование группы агентов). Особенно важной является функция географической координации интеллектуальных автоматических систем определения степени статической устойчивости локальных энергосистем, которая обеспечивает контроль не только степени устойчивости критического фрагмента энергосистемы, но и степени устойчивости соседних локальных энергосистем $i=1,2,\dots,n$.

11. Режим коллективного планирования превентивных действий МАС₁- МАС_n

МАС₁- МАС_n в режиме реального времени планируют (формирование совместного плана) совместные действия с целью восстановления режима с гарантированной степенью устойчивости. Эти действия могут включать анализ возможных сценариев действий мультиагентных систем управления по восстановлению нормального режима и формирование оптимального плана. Для реализации сценариев используют платформы моделирования и оптимизации реального времени.

12. Режим координированного управления адаптивными интеллектуальными агентами в МАС₁- МАС_n с целью восстановления нормального режима

Оптимальный план управления восстановлением нормального режима должен быть исполнен агентами нижнего уровня МАС, которые исполняют действия превентивного характера (совместные действия), например, путем координированного управления системами возбуждения генераторов в соседних энергосегментах [4].

При возникновении асинхронного хода (распознавание) МАС изолированной энергосистемы выполняет действия (формирование группы агентов и планирование) по предотвращению посадки генераторов на нуль (наиболее тяжелая системная авария, которая может возникнуть вследствие *большого дефицита активной мощности*), поддержанию автономного энергоснабжения изолированной энергосистемы и восстановления синхронного хода (совместные действия).

Основное преимущество использования мультиагентных технологий в такой ситуации состоит в исключении человеческого фактора в режимах ситуационного управления и повышение системной надежности за счет своевременной и быстрой реконфигурации управляющих кластеров при отказах сетевого или вычислительного оборудования.

13. Распознавание внешних и внутренних угроз и их географическая локализация, определение степени опасности и автоматического самовосстановления ЭЭС

Принципиально важным преимуществом ИЭС ААС является ее способность предвидеть возникающие внешние и внутренние угрозы и мгновенно реагировать на них, добиваясь их ликвидации или уменьшения степени их воздействия на функционирование ИЭС ААС в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах. Подобными свойствами обладает иммунная система животного, в частности, человека, поэтому интеллектуальную многоагентную систему, входящую в ИЭС ААС можно назвать «иммунной». Существующая автоматическая система управления и ПАЗ ЕЭС не обладает в полной мере подобными свойствами, хотя отдельные функции ПАА (например, АРЧМ, АПНУ, АЧР, АОСН, автоматические системы повторного включения) в существенно усеченном виде реализуют функции «иммунной» интеллектуальной системы. Кроме того, на стадии планирования режимов предусматривают - с помощью моделирования – способность к самовосстановлению (нечувствительность) системы при отключении одной из линий; сами нагрузки выбираются с некоторыми запасами по отношению к ожидаемым пиковым значениям.

Можно выделить следующие типы внешних угроз:

- терроризм
- киберугрозы
- природные катаклизмы
- техногенные катастрофы

и типы внутренних угроз:

- появление нерасчетных возмущений
- угроза возникновения и развития каскадной аварии
- угроза нарушения устойчивости в нормальных режимах
- угроза нарушения устойчивости в переходных режимах
- угроза нарушения термической устойчивости

- угроза неправильных решений и/или действий оперативного персонала.

К основным функциям подсистемы относятся:

- обнаружение места возникновения и степени опасности угрозы
- локализация и изоляция угрозы
- превентивное адаптивное управление
- реконфигурация системы управления

В системе могут также реализовываться следующие функции:

- прием, обработка, архивирование и представление информации персоналу (агент мониторинга состояния окружающей среды и внутреннего состояния энергосистемы с использованием базы знаний)
- формирование эталонной модели текущего режима (агент формирования прогнозирующей эталонной модели)
- выявление опасного отклонения состояния от прогнозируемого состояния эталонной модели и его локализация (агент прогноза опасного состояния энергосистемы),
- прогноз потенциальной аварийной ситуации (агент ассоциативного поиска прецедента).

По-видимому, разнообразие типов угроз делает невозможным создание универсальной «иммунной» интеллектуальной системы, поэтому ниже рассмотрены принципы построения интеллектуальной системы поддержания заданной степени устойчивости и самовосстановления ЭЭС для частного случая угрозы нарушения устойчивости в нормальных режимах ИЭС ААС.

Для поддержания заданного уровня степени устойчивости применяются технологии:

- мониторинга степени статической устойчивости электрической сети в реальном масштабе времени, обнаружения и локализации критического сечения сети
- адаптивного векторного автоматического управления устройствами FACTS с использованием информации СМПР путем мониторинга и управления демпфированием опасных низкочастотных колебаний в ЕНЭС

14. Заключение

Рассмотрены основные положения разработки интеллектуальной системы управления электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) на основе интеллектуального прогнозирования состояния ЭЭС с целью адаптивного управления и динамической поддержки принятия решений. Предложенные методы нашли применение в разработке концепции и теоретических основ ИЭС ААС для ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» в 2010-2011 гг., в частности, мультиагентный подход к разработке системы управления ИЭС ААС, технология динамического оценивания ЭЭС и технология мониторинга степени статической устойчивости электрической сети в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моржгин Ю.И., Шакарян Ю.Г., Кучеров Ю.Н., Воронай Н.И., Васильев С.Н., Ядыкин И.Б. SMART GRID CONCEPT FOR UNIFIED NATIONAL ELECTRICAL NETWORK OF RUSSIA / CD. Preprints of proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid

Technologies Europe 2011, Manchester Dec. 5-7 2011. Manchester, GB: IEEE, The University of Manchester, 2011. Panel session 5D. С. 1-5.

2. *Васильев С.Н., Макаров А.А., Воронай Н.И.* и др. Под ред. Цвиркуна А.Д. Управление развитием крупномасштабных систем. М: Физматлит, 2012 г.
3. *Бахтадзе Н.Н., Кульба В.В., Лотоцкий В.А., Максимов Е.М., Ядыкин И.Б.* Identification methods based on associative search procedure // Control and Cybernetics. 2011. Vol. 2, № 3. С. Р. 6-18.
4. *Беляев А.Н., Ядыкин И.Б., Смоловик С.В., Спиридонов С.В., Григорьев А.А.* Робастный адаптивный регулятор для демпфирования межрайонных колебаний в электроэнергетической системении // Электричество. 2011. №6. С. 2-10.