

где δ – некоторое наперед заданное число; n – номер итерации.

Численные эксперименты показали, что целесообразно выбрать коэффициент K в уравнении (17) из условия $K \leq \frac{\mu}{\mu_0}$, где μ , вообще говоря, зависит от напряженности магнитного поля. Следует отметить, что скорость сходимости описанной итерационной схемы на основе уравнения (17) максимальна при $K = \frac{\mu}{\mu_0}$. При указанном значении K для примера (нелинейная задача), рассмотренного выше, при разбиении области магнитопровода на 72 элемента потребовалось 81 итерация вместо 117 при заданном значении невязки (таблица 4).

1. Пеккер И.И. Расчёт магнитных систем методом интегрирования по источникам поля //Известия Вузов. Серия Электромеханика. – 1964. – №9.
2. Пеккер И.И. К расчёту магнитных систем методом интегрирования по источникам поля // Известия Вузов. Серия Электромеханика. – 1968. – №9.
3. Пеккер И.И., Пеккер М.И., Кирсанов А.Г. Расчет магнитного поля тора с воздушным зазором, методом интегрирования по источникам поля // Известия Вузов. Серия Электромеханика. – 1975. – №1.
4. Тозони О.В., Маергойз И.Д. Расчет трехмерных электромагнитных полей. –Киев: Техника,1974. – 352 с.
5. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Методы решения интегральных уравнений с программами для ЭВМ. – Киев: Наукова думка, 1978. – 292 с.
6. Ильин В.П. Численные методы решения задач электрофизики. – М.: Наука. Главная редакция физ. - мат. Литературы, 1985. – 336 с.

Поступила 2.08.2010р.

УДК 681.325.5

Л. Л. Гончарова

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Актуальность. В настоящее время энергетика стала тем сегментом экономики, который призван обеспечивать функционирование не только другие отрасли, но и различные сферы человеческой деятельности [1]. В этой связи к работе электрической отрасли в условиях рынка выдвигается ряд повышенных требований в процессе производства, передачи и потребления электроэнергии. Определяющими из них являются синхронность, и высокая

точность выполнения измерений в разных точках единой энергосистемы, ибо нарушение синхронности измерения приводит не только к дополнительной погрешности рассинхронизации, но и к неадекватной идентификации устойчивости работы системы. Весьма важным также является точность и достоверность представления первичных измеренных коммерческих, технологических и аварийных данных, а также необходимость их полного дублирования и верификации. Существенное влияние на принятия оперативных и стратегических решений в процессе управления электрическими объектами оказывает также применение современных методов обработки первичной информации, передача и интерпретация ее на различных уровнях управления. Поставленная проблема может быть решена на основе применения современных сетевых технологий открывающих возможность решения комплекса задач повышенной интеллектуальной сложности и размерности. Существенным вопросом при этом является обеспечение эффективной организации распределенных параллельных вычислений при обработке коммерческой, аварийно и технологической информации. Важнейшими задачами при этом являются задачи проведение мониторинга функционирования силовых электрических сетей, обеспечение регистрации штатных и нештатных режимов, определения уровня технического состояния и прогноза надежности работы электрического оборудования, коммерческого учет электроэнергии по требованиям рынка с дискретностью один час и др. В то же время рассматривая через призму физического и морального старения энергетического и электротехнического оборудования находящегося в эксплуатации можно также выявить его дополнительное негативное влияние не только на экономичность режимов и увеличение себестоимости электроэнергии, а в некоторых случаях, и на надежность функционирования единой энергосистемы. Процесс реабилитации и восстановление генерирующих мощностей, а также технического преобразования всей электрической отрасли требует существенного финансирования и многолетней работы. А при существующем состоянии электрического хозяйства развитие системных аварий в следствие ненадежности оборудования и ошибок персонала, как показывает опыт многих стран может привести к многомиллионным экономическим потерям [2]. В этой связи современным и перспективным направлением в области обеспечения заданного уровня надежности и эффективности функционирования существующего электроэнергетического хозяйства и, что очень важно, при незначительных инвестициях является непосредственно компьютеризация технологических процессов генерации, передачи и потребления электроэнергии. Кроме того, важнейшими вопросами в этом плане является информатизация процессов оперативного и стратегического управления, а также интеллектуализация процедур принятия решения на основе современных методов ситуационного моделирования. Применение информационных технологий и обеспечивает эффективность и качество функционирования электрических сетей оперативность в принятии

управленческих решений. Опыт применения компьютерных средств и сетевых технологий к моделированию задач технологического управления показал, что для их эффективного использования требуется разработка новых принципов и методов управления режимами электрических сетей базирующихся на программируемой логике, современных компьютерную - ориентированных математических моделей и аппаратно-ориентированных алгоритмах учитывающих свойства объекта управления и архитектуры компьютерных систем управления. Стало очевидным, что для существенного увеличения эффективности применения современных информационных технологий необходимо проведение исследования совместных свойств математических моделей описывающих объект, методов и алгоритмов решения совокупности задач управления, особенностей современных и перспективных сетевых технологий, а также архитектурных особенностей информационно-управляющих микропроцессорных систем технологического управления. Только при таком подходе открывается возможность реализовать разработку новых путей и способов информатизации, а впоследствии и интеллектуализации процессов управления, контроля и прогноза надежности работы силовых электрических объектов и электрических сетей, а также существенно увеличить эффективность их функционирования [2].

Цель работы. Анализ современных компьютерных методов и технологий мониторинга и идентификации режимов функционирования сложных электрических объектов и организации на их базе способов интеллектуализации процессов управления электрическими сетями для обеспечения заданной надежности и качества функционирования.

Анализ. Важнейшей проблемой энергетики является обеспечение надежности работы и организация экономии электрической энергии на всех стадиях ее жизненного цикла – генерации, передачи, распределения и потребления. Главной составляющей данной проблемы является ее эффективное использование на уровне потребителей – промышленных предприятий, тяговых подстанций железных дорогах и т.д. Это обусловлено ростом ее доли в себестоимости продукции, которая довольно высокая на энергоемких технологических производствах, например, грузовых перевозках и достигает порядка шестидесяти процентов и более. Резкая потребность в сокращении этой доли обусловила проблему разработки и внедрения в электроэнергетику современных информационных технологий, компьютерных средств и микропроцессорных систем, построенных на базе отечественных и импортных компьютерных компонентов, создания специального программного обеспечения разработанного на основе современного математических моделей, методов и алгоритмов, ориентированных на информационные технологии. Изложенные в литературе методы проведения мониторинга режимов электрических сетей для обеспечения надежности технического состояния и эффективности функционирования электрического оборудования показывают, что для оптимального управления сложными электрическими

объектами необходимо предъявлять весьма жесткие требования к первичной информации с точки зрения погрешности и синхронности измерения источником которой являются технологические процессы [2]. Одним из представительных потребителей электрической энергии является железный транспорт, доля которого составляет приблизительно восемь процентов от всего объема генерации электроэнергии. Система электроснабжения железных дорог тесно связана с единой энергосистемой, которая также применяется для питания районных и нетяговых потребителей. К особенностям систем электроснабжения железнодорожного транспорта можно отнести резкую неравномерность нагрузок, трудность защиты от короткого замыкания, несинусоидальность и несимметрия токов, существенное влияние на линии передачи информации, трудности связанные с обеспечением процесса возврата энергии при рекуперативном торможении локомотивов. Высокий уровень сложности электрических объектов и сетей, многообразие компонентов и возможность их функционирования в широком спектре частот, а также изменения состояний способствовали появлению большого числа подходов, способов, приемов, технических средств, а в дальнейшем компьютерных компонентов и сетевых технологий решения совокупности задач управления электрическим хозяйством. Часть задач управления энергетикой относится к разряду оптимизационных. Другая совокупность решаемых задач, например, анализ устойчивости единой энергосистемы, хотя и относится к числу оптимизационных, однако результаты ее решения используются в основном в виде ограничений при определении оптимальных режимов функционирования. Поскольку спектр задач достаточно широк, то в аспекте временной декомпозиции процесса управления комплекс задач можно представить в виде нескольких уровней, как показано на рис.1.

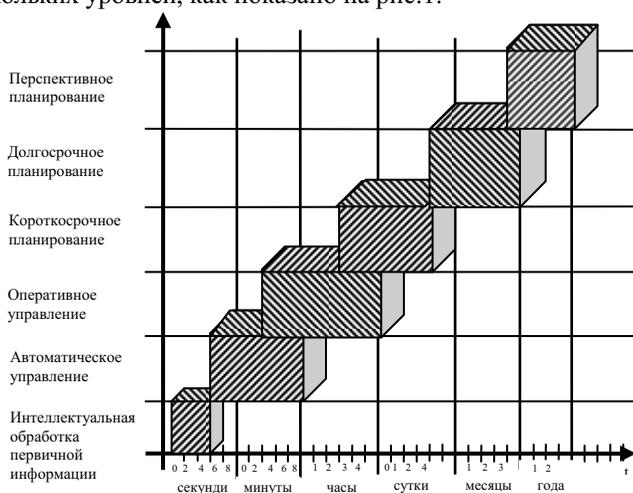


Рис.1. Временная декомпозиция задач управления силовыми сетями железных дорог

Задачи первых двух уровней относятся к классу автоматического управления. На первом уровне решается набор задач связанных с технологией управления энергетическими системами, то есть это задачи связанные с регистрацией первичных данных, при необходимости предварительной обработки и далее передачи и представления в соответствующей форме требуемым потребителям. Фактически на этом уровне при комплексном подходе реализуется мониторинг параметров электрических сетей, включая силовое оборудование для определения их состояния и, соответственно, режима функционирования. На этом уровне решаются задачи, выполнение которых обеспечивается существующими средствами релейной защиты и автоматики, включая средства противоаварийной автоматики. При современной организации процессов контроля и управления применяются микропроцессорные средства защиты. На втором уровне благодаря использованию результатов мониторинга и регистрации первичных данных автоматически решается класс задач связанных с управления генерацией электроэнергии, регулирования частоты и перетоков активной мощности для обеспечения оптимального распределения нагрузок, определение резервов мощности и контроля низкочастотных колебаний режимных параметров, а также определения показателей устойчивости единой энергосистемы. На третьем уровне обеспечиваются решения класса задач оперативно – диспетчерского управления. Реализуется организация оперативных переключений, в схемах электрических соединения и выполнение диспетчерских заявок. Четвертый уровень временной иерархии задач управления обеспечивает кратковременное - часовое планирование режимов функционирования, корректировку процессов управления, а также анализа диспетчерских заявок. Пятый уровень замкнут на комплекс задач долгосрочного планирования, включая расчеты допустимых ограничений режимных параметров с учетом нормативных запасов устойчивости. Набор задач пятого уровня временной иерархии обеспечивает перспективное планирование и дальнейшее развитие, как единой энергосистемы, так и корпоративных электрических сетей, например, тяговой системы железнодорожного транспорта.

Способы, связанные с информатизацией электроэнергетических процессов. Основное электроэнергетическое и электротехническое оборудование железных дорог имеет высокий уровень физического и морального износа, что привело к существенному увеличению удельного расхода топлива, увеличению себестоимости электроэнергии и созданию ряда экологических проблем. При таком состоянии электрических систем развитие системных аварий в следствии ненадежности оборудования и ошибок персонала, как показывает опыт многих стран может привести к многомиллионным экономическим потерям. В связи с этим обеспечение надежности и эффективности функционирования электроэнергетического производства непосредственно связано с информатизацией и интеллектуализацией процес сов управления как показано на рис.2.

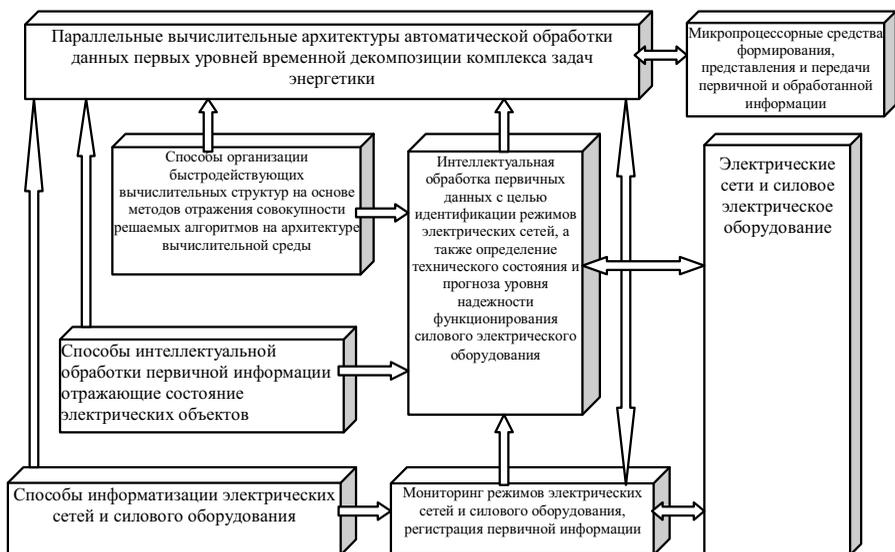


Рис. 2

Для контроля состояния и управления тяговыми электрическими сетями не обходимо решать комплекс задач первого уровня иерархии связанных с регистрацией значений параметров режимов и представления полученной первичной информации. Для этого применяются различные способы и подходы. Доминирующим подходом в этом плане является способ информатизации и функционирования электрических сетей и силового оборудования. Под информатизацией понимается разработка и внедрение новых компьютерных средств специального назначения и информационных технологий. Информатизация - это наиболее перспективный путь увеличения надежности и эффективности электроэнергетического производства, который по сравнению с другими путями не требует существенных инвестиций, но открывает возможность достаточно быстро и качественно влиять на надежность и эффективность протекания технологических процессов с минимальными затратами. Увеличения уровня информатизации путем внедрения компьютерных методов и средств в электроэнергетику существенно повысило системность управления и, соответственно, качество принятия управленческих решений, что в большей степени отвечает современным требованиям автоматизации управления энергетикой предприятий в условиях формируемого рынка электроэнергии. Однако продолжительные исследования в области компьютеризации процессов управления в энергетике показали, что современный этап их применения характеризуется в первую очередь существенным ростом объемов

информации получаемой с объектов управления благодаря компьютерным средствам регистрации первичных данных, что существенно увеличило трудности диспетчерскому и обслуживающему персоналу с точки зрения ее анализа. Кроме того, проведенные исследования показали весьма низкий уровень согласованности решений этих задач с системных позиций. В этой связи стала доминирующей тенденция увеличения уровня интеллектуализации управленческих процессов. Под интеллектуализацией управленческих действий понимается совокупность способов обеспечивающих перераспределение первичной информации полученной в результате информатизации электрических сетей и последующей передачи максимум возможного большого объема ее для формирования вариантов управленческих решений компьютерными средствами. Представляются перспективными способы интеллектуальной обработки первичной информации отражающей состояние электрических сетей и объедков. Для технической реализации комплекса задач связанных с информатизацией и интеллектуализацией процессов управления электрическим хозяйством необходима организация компьютерных систем и компонентов, удовлетворяющих условиям требуемого быстродействия и надежности работы. Бурное развитие интегральных технологий изготовления сверхбольших интегральных схем и на их базе электронных компонентов способствовало к поиску в энергетике новых подходов для синтеза подобных автоматизированных систем ориентированных на территориально-распределенные объекты. Одним из перспективных инструментов на сегодняшний день для регистрации, обработки, накопления и визуализации информации о состоянии электрических сетей и силового оборудования являются, например, серийно выпускаемые программные инструментальные среды (SCADA). В этой связи представляется перспективным способ организации быстродействующих вычислительных структур на основе методов отражении совокупности решаемых алгоритмов на архитектуру вычислительной среды. При таком подходе на основе параллельных вычислительных архитектур представляется возможным автоматически реализовать комплекс задач первого и второго уровня временной декомпозиции, представленных на рис.1. К совокупности задач можно отнести проведение «скользящего» мониторинга режимов электрических сетей с целью воспроизведения интегрированной оценки их технического состояния, идентификации штатных и аварийных режимов на основе результатов мониторинга параметров, определения места нахождения аварии, прогноза надежности работы силового электрического оборудования, задачи реализуемые средствами микропроцессорной и релейной защиты и другие. К комплексу задач, решение которых позволит обеспечить существенное повышение уровня интеллектуализации процессов управления можно

отнести задачи оперативного определения интегрированной оценки уровня технического состояния и надежности силового электрического оборудования и электрических сетей. Важным также при интеллектуализации управленческого труда является мониторинг режимов сетей, прогноз их работоспособности, идентификация аварий, регистрация синхронно по времени и работой противоаварийной защиты нештатных и послеаварийных режимов и другие. После решения вопросов формирования первичной информации, а также ее интеллектуально обработки доминирующим представляется организация микропроцессорных средств формирования, представления и передача полученных данных, как показано на рис.2. Внедрение компьютерных методов и средств в электроэнергетику призвано обеспечить системность управления и, соответственно, высокое качество принятия управленческих решений, что отвечает современным требованиям автоматизации управления энергетикой предприятий в условиях формируемого рынка электроэнергии.

Выводы.

1. Проведен анализ современных методов компьютерного контроля и управления режимов функционирования сложных электрических объектов на основе которого напечены пути информатизации и интеллектуализации процессов управления электрическими сетями для обеспечения заданной надежности и качества функционирования..

2. На основе проведенного анализа предложены способы информатизации и интеллектуализации процессов управления электрических сетей и силового оборудования путем решения задач первых уровней временной декомпозиционной иерархии.

3. Рассмотрена организация быстродействующих вычислительных структур на основе методов отражения совокупности решаемых алгоритмов на архитектуре вычислительной среды.

1. *Стогній Б.С., Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Левітський В.Г.* Информатизація та інтелектуалізація електроенергетики: пріоритети та практичні доробки // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2002, № 3 (3). – С. 4-18.

2. *Буткевич О.Ф., Вороновський Г.К., Рибіна О.Б.* Деякі питання формалізації знань та розробки інтелектуальних компонентів АСУ ТП ТЕС // Техн. електродинаміка. Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 8. – 2006. – С. 121-126.

3. *Щербакова И.А., Тутик В.Л., Гончарова Л.Л., Железняк А.Л.* Информационные технологии и компьютерные системы для обработки информации управления электрическими сетями // Зб. наук. праць ІПМЕ НАН України. – Вип.49. – К.: - 2008. с. 35 – 41.

Поступила 5.08.2010р.