

УПРАВЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

УДК 621.311

А.И. Стасюк, Л.Л. Гончарова

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ И ОПТИМИЗАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Введение

Стремительное развитие интегральных технологий изготовления сверхбольших интегральных схем и микропроцессорных комплектов и на их базе информационных и сетевых технологий открывает широкие возможности для формирования необходимой или сверхвысокой производительности вычислений в любой точке или сегменте топологии сложных распределенных энергетических объектов в процессе управления и оптимизации их функционирования [1, 2]. Это стимулировало исследования, ориентированные на использование сверхвысокой производительности вычислений, а также других преимуществ современных компьютерных сетей при исследовании штатных, аномальных и аварийных режимов распределенных энергетических систем повышенной сложности для выявления и формирования новых знаний в прикладной области и реализации на их основе синтеза специальных математических моделей, методов и алгоритмов для оптимизации функционирования, создания более эффективных энергосберегающих технологий и решения текущих вопросов. Дальнейшие исследования возможностей использования сверхбольшой мощности распределенных вычислений современных компьютерных средств, направленных на проведение в реальном времени глубокого системного анализа и оптимизации режимов функционирования инженерных объектов, открыли ряд новых направлений в теории компьютерного моделирования, исследовании операций, теории оптимизации, информационных и сетевых технологий для формирования, накопления и представления новых знаний в данной предметной области [3, 4]. Появилась насущная потребность решения проблемы организации информационно-аналитических компьютерных систем с интеллектуальными свойствами, которые на основе полученных новых знаний в соответствующей области могут выполнять не только рутинные процессы обработки информации, но и предварительно анализировать первичные данные, прогнозировать развитие штатных и аномальных ситуаций, отбирать наиболее перспективную альтернативу решения, формировать некоторые советы и рекомендации, выполнять комплекс операций и решать некоторую совокупность творческих задач [1, 3, 4]. Появление подобных компьютерных систем стимулировало также существенное увеличение потребителей информационно-аналитической поддержки принятия решений.

Из анализа последних исследований и публикаций следует, что проблема инновационного преобразования тяговых электрических сетей железных дорог невозмож-

© А.И. СТАСЮК, Л.Л. ГОНЧАРОВА, 2018

на без создания интеллектуальных компьютерных сетей управления электроснабжением [4, 5]. Организация интеллектуальных систем базируется на результатах фундаментальных и прикладных исследований в области математического и компьютерного моделирования, используется в управлении сложными физическими объектами, процессами и явлениями, а концептуально — моделями искусственного интеллекта для моделирования разумного поведения человека, баз знаний и событий, ориентированных на выявление новых специальных знаний, для генерации адаптивных алгоритмов решения прикладных задач, которые плохо формализуются, для формирования управленческих решений в условиях не полностью структурированных и слабоструктурированных информационных данных. Исследование эволюции развития тяговых электрических сетей и компьютерных систем управления ими, представленные в научно-технической литературе, позволили сделать вывод, что максимальной эффективности интеллектуальных компьютерных сетей управления сложными энергетическими системами можно достичь только путем организации отражения в них взаимной интеграции интеллектуальных ресурсов управленцев и современных возможностей распределенных компьютерных систем, сетей и информационных технологий, основываясь на возможности использования практически неограниченной производительности распределенных вычислений [1–7]. Дальнейшие интенсивные исследования в сфере развития взаимной интеграции интеллектуальных ресурсов управления оптимизацией режимов, энергосбережением и современных возможностей компьютерных сетей и технологий привели к созданию нового класса математических моделей и на их базе интеллектуальных методов обработки информации, как основы создания интеллектуальных компьютерных систем (Intellectual computer systems) и интеллектуальных информационных технологий (Intellectual information technology — ИТ) [7, 8]. Необходимо отметить, что термин «интеллектуальные методы обработки данных» появился в середине восьмидесятых годов но, к сожалению, не было дано четкого его определения, поэтому в научной литературе этот термин трактуют в зависимости от специфики проблемной области применения [9, 10]. Разработка инновационных методов интеллектуальной обработки информации является основой организации интеллектуальных информационных технологий, которые открывают возможность существенно ускорить анализ технической информации, отражающей функционирование сложных энергетических систем, проводить непрерывный мониторинг и прогноз ситуаций в технической, экономической, социальной и политической сферах и, что самое главное, реализовать синтез управленческих решений. Обобщенная архитектура интеллектуальной информационно-аналитической компьютерной сети управления включает сегмент аналитических моделей, блок самоорганизации, блок адаптации, сегмент анализа и прогноза ситуаций, подсистемы искусственного интеллекта, нечеткие подсистемы управления, нейронные сети, подсистемы на базе генетических алгоритмов, подсистемы формирования новых знаний и управленческих решений, на основе актуальной в данный момент ситуации, а также подсистему, способную моделировать творческие процессы, понимать и изучать режимы функционирования в условиях постоянно меняющейся внутренней и внешней среды. Главная архитектурная особенность интеллектуальных систем, отличающая их от традиционных — это возможность использования неограниченной производительности вычислений компьютерной среды, которая позволяет в реальном времени формировать и обрабатывать новые знания, включая и знания персонала, который исследует объект, для реализации своих функций и целей. К типовым интеллектуальным системам можно отнести расчетно-логическую систему. Особенностью таких систем является то, что они, благодаря наличию базы знаний, способны автоматически синтезировать математическую модель и вычислительные алгоритмы управленческих и проектных задач по декларативным описаниям условий задачи. Существуют рефлекторные интеллектуальные системы, вырабатываемые специальные алгоритмы, для формирования наиболее вероятной реакции интеллектуальной системы на множество входных воздействий, включая их комбинации. Они ори-

ентированы на оценку инвестиционных предложений, прогнозирования результатов внешнего воздействия на сложные энергетические объекты. Большую популярность получили гибридные интеллектуальные системы, в которых для решения любого управленческого задания используется одновременно несколько методов имитации интеллектуальной деятельности человека. Гибридные интеллектуальные системы — это совокупность аналитических и имитационных моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем и генетических алгоритмов. При организации интеллектуальных систем учитывается специфика проблемной области, которая характеризуется совокупностью признаков, таких как хаотичность и дискретность поведения сред, оперативность принятия решений, нечеткость целей, слабая возможность формализовать процедуры, уникальность и нетипичность ситуаций, комплекс взаимосвязанных факторов, неполнота информационных данных, возможная парадоксальность логики решений. Для повышения эффективности управления знаниями при возникновении проблемных ситуаций используется набор познавательных моделей и как основа — компьютерное моделирование.

Нерешенные ранее аспекты данной проблемы

Анализ научных исследований рассматриваемой предметной области, связанной с компьютерной интеллектуализацией быстротекущих технологических процессов сложных энергетических систем электроснабжения, позволяет сделать вывод, что интеллектуальные компьютерные системы, в первую очередь в железнодорожной энергетике, должны быть направлены на регистрацию и формирование новых знаний об аномальных и штатных режимах функционирования, на создание более эффективных методов и критериев оптимизации и на их базе — новых энергосберегающих технологий. В то же время малоисследованной частью общей проблемы инновационного преобразования систем электроснабжения железных дорог является разработка методов и уникальных электронных компьютерных компонентов определения полной информативности первичных данных, представленных в аналоговой, дискретной и цифровой формах, отражающих динамические, переходные и аномальные процессы функционирования энергетических объектов. К нерешенной проблеме также можно отнести отсутствие общесистемной методологии отражения в интеллектуальной системе взаимно интегрированных интеллектуальных ресурсов управления, включая исследовательский и диспетчерский персонал, и современных возможностей распределенных компьютерных систем, сетей и информационных технологий. В научно-технической литературе малоисследованной проблемой организации интеллектуальных распределенных сетей управления электроснабжением является создание новых принципов глубокой взаимной интеграции вычислительной архитектуры компьютерной среды и топологии тяговой электрической сети железной дороги. Такой подход открывает новые направления организации интеллектуальных электроэнергетических систем и существенно расширяет рыночные возможности, предоставляя широкий спектр взаимных услуг между субъектами рынка электроэнергетики и инфраструктурой электрической системы железных дорог.

Формулировка проблемы

Цель публикации — разработка принципов организации интеллектуальных компьютерных сетей управления быстротекущими технологическими процессами, протекающими в сложных энергетических системах, как теоретической основы синтеза математических моделей повышенной интеллектуальной сложности и размерности, для определения исчерпывающей информативности стохастических первичных данных и детального компьютерного анализа функционирования распределенных энергетических объектов, внешней среды и, основываясь на возможности использования практически неограниченной производительности распределенных вычислений, создания познавательных моделей и методов имитации творческой деятельности для

выявления и формирования новых знаний как основы создания интеллектуальных технологий оптимизации, энергосбережения, формирования управленческих решений и реализации стратегических функций и целей.

Инновационное преобразование систем электроснабжения железных дорог стало возможным благодаря внедрению интеллектуальных компьютерных сетей, что открыло новые направления исследований исчерпывающей динамики аномальных и переходных процессов энергосистем, путем непосредственного измерения в различных точках сети частот, амплитуд, фаз, напряжений, токов, выявления источников низкочастотных колебаний, их типов и мест возникновения, особенностей, форм и характеристик аномальных режимов, а также определения границ текущей устойчивости энергосистемы. Зарегистрированная таким образом первичная информация используется для исследования на качественно новом уровне свойств и динамических характеристик быстропротекающих технологических процессов в энергосистемах и является основой формирования новых знаний в железнодорожной энергетике. Для организации интеллектуальных компьютерных сетей управления и оптимизации режимов функционирования электрических систем железнодорожного транспорта, как показано на рис. 1, сформулируем некоторые принципы. Доминирующим или основным является принцип отражения в интеллектуальных системах взаимной интеграции интеллектуальных ресурсов управления, включая исследовательский и оперативно-диспетчерский персонал, и современных возможностей распределенных компьютерных сетей и информационных технологий с точки зрения использования избыточной производительности распределенных вычислений. Поскольку при исследовании динамических характеристик сложных энергетических объектов главным для формирования новых знаний, является определение исчерпывающей информативности первичных данных, полученных с выходов датчиков, сформулируем второй принцип организации интеллектуальных компьютерных систем.

Первичный принцип — это принцип формирования интеллектуального информационного пространства путем определения исчерпывающей информативности первичных данных, отражающих аномальные и штатные режимы функционирования энергетического объекта, на основе модели синхронного информационного взаимодействия с единых общесистемных позиций, как базис формирования интеллектуальных процедур управления электроснабжением, энергосбережением и накопления новых знаний в железнодорожной энергетике. Следующий принцип — взаимодействие интеллектуальной системы с энергетическими объектами и внешней средой, что реализуется синтезом математических моделей повышенной интеллектуальной сложности и размерности. В синтезированных моделях, благодаря существенно уточненному описанию процессов функционирования энергосистемы, открывается возможность не только получения дополнительных знаний об исследуемом объекте и внешнем мире, но и о динамике изменения их состояния в результате реализации активного поведения интеллектуальной системы. В процессе организации интеллектуальных систем очень важно создание методологии эффективного использования возможной избыточной производительности вычислений в различных сегментах распределенного энергетического объекта. Поэтому необходим принцип глубокой взаимной интеграции архитектуры компьютерной среды и топологии энергетического объекта, включая интеллектуальное силовое оборудование со встроенными контроллерами и средствами защиты. Организованные таким образом интеллектуальные системы гарантируют новое качество в сфере формирования знаний о железнодорожной энергетике, открывают возможность существенно оптимизировать потребляемые энергоресурсы, улучшить уровень безопасности движения и расширить диапазон рыночных услуг.



Рис. 1

На основе приведенных принципов организация компьютерных сетей управления электроснабжением и оптимизацией электропотребления железных дорог может быть реализована следующим образом. Основываясь на первых трех принципах, формируется ряд математических моделей повышенной интеллектуальной сложности и размерности, которые позволяют более детально, а в некоторых случаях исчерпывающе, описывать динамические характеристики и специфику быстротекущих технологических процессов функционирования распределенных энергетических объектов. Аналогично формируется математическая модель высокой интеллектуальной сложности и размерности для оценки динамики внешней среды и определения влияния на объект, а также реализации прогноза функционирования для оптимизации рационального тактического и стратегического поведения. Выполнение принципа взаимодействия энергетической системы с внешней средой позволяет организовать канал определения дополнительных знаний для организации целесообразного поведения. Очень важным является также организация на базе третьего принципа аналогичных математических моделей, как основы формирования интеллектуального информационного пространства, путем определения исчерпывающей информативности зарегистрированной первичной информации в процессе непосредственного измерения напряжений, токов, частот, амплитуд, фаз и температур в различных точках системы при исследовании и анализе аномальных и переходных процессов энергосистем. На основе разработанной совокупности математических моделей высокой интеллектуальной сложности и размерности используются методы искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетические алгоритмы, а также интеллектуальные нейронные сети для синтеза компьютерно-ориентированных алгоритмов обработки информации. После выполнения рассмотренных процедур для синтеза компьютерной среды используется принцип глубокой взаимной интеграции архитектуры компьютерной среды и топологии энергетического объекта. Актуальность и перспективность такого подхода связана с необходимостью дополнительных исследований и поиском новых путей создания интеллектуальных энергосберегающих технологий оптимизации электроснабжения. Синтезированная таким образом компьютерная среда включает сегменты аналитических моделей, адаптации, анализа и прогноза, а также сегменты самоорганизации, моделирования творческих процессов, формирование новых знаний и интеллектуальный интерфейс. После получения первичной информации от объекта управления и внешней среды и определения ее исчерпывающей информативности в

компьютерной среде интеллектуальной системы на основе базы знаний и событий реализуется моделирование творческих процессов и на базе полученных результатов формируются новые знания, управленческие решения и инновационные технологии оптимизации электропотребления и энергосбережения.

Результаты исследований решения проблемы инновационного преобразования электрических сетей железных дорог позволили сделать вывод, что создание новых моделей, методов и критериев оптимизации быстропротекающих технологических процессов электроснабжения и технологий энергосбережения невозможно без получения принципиально новых знаний о физической природе переходных, аварийных и динамических режимов, протекающих в энергосистемах или сложных энергетических объектах. Существующие модели и методы для решения комплекса задач, связанных с определением и организацией новых знаний об энергетических объектах, не могут удовлетворить насущные потребности.

Математическая модель определения исчерпывающей информативности первичной информации

Благодаря появившейся в последние годы возможности в сфере создания практически неограниченной производительности вычислений в любом сегменте распределенного энергетического объекта насущной стала проблема разработки математических моделей повышенной интеллектуальной сложности и размерности и на их основе познавательных моделей и методов имитации творческой деятельности для определения новых знаний как теоретической основы организации интеллектуальных сетей электроснабжения. Доминирующей в этом плане является разработка, в первую очередь, математических моделей повышенной интеллектуальной сложности, ориентированных на определение исчерпывающей информативности зарегистрированных в процессе мониторинга первичных данных, отражающих штатные, аномальные, переходные и аварийные режимы энергетического объекта, поскольку потеря части информативности или неполное ее использование существенно уменьшает количество процедур определения дефицитных знаний. Основываясь на принципе взаимной интеграции интеллектуальных ресурсов управления и современных возможностей компьютерной среды, а также на фундаментальных понятиях теории дифференциальных преобразований, представим процесс организации интеллектуальных математических моделей и методов определения исчерпывающей информативности первичной информации, полученной при синхронной регистрации всей совокупности параметров режимов энергетических объектов, как основы формирования интеллектуального информационного пространства и в дальнейшем синтеза новых знаний [1, 4]. В процессе мониторинга регистрируется совокупность первичных данных, отображающая режимы энергосистемы. Каждый из параметров представляется мгновенным значением: $i(t_i)$ — токов, $u(t_i)$ — напряжений, $f(t_i)$ — частот, $\Theta(t_i)$ — данных окружающей среды, $P(t_i)$ — давления, t^0 — температуры, τ — промежутков времени, $\xi(t_i)$ — величин, определяющих синхронность измерений, $\Psi(t_i)$ — совокупность значений экспертной информации. В зависимости от измеряемой величины информация может быть представлена в аналоговой, дискретной или цифровой формах. Для простоты анализа штатных, аномальных и аварийных режимов представим каждый j -й параметр режима из всей совокупности в виде $x^j(t)$ и рассмотрим организацию моделей и методов определения исчерпывающей информативности первичной информации. Графическое изображение динамического процесса j -го параметра аномального режима $x^j(t)$, что протекает в энергосистеме, приведено на рис. 2. Синтез математических моделей определения исчерпывающей информативности первичных данных, которые в совокупности отражают режимы функционирования распределенных энергетических объектов,

реализуем на основе применения фундаментальных положений теории дифференциальных преобразований Пухова, представленных следующей парой математических зависимостей [1–8]:

$$X_i^j(k) = \frac{H_i^k}{k!} \left[\frac{d^k x^j(t)}{dt^k} \right]_{t_i} \stackrel{\square}{=} x^j(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t}{H_i} \right)^k X_i^j(k), \quad (1)$$

где $x^j(t)$ — первоначальная функция аргумента t , которую можно n раз дифференцировать и которая имеет ряд соответствующих ограничений, включая свои производные; $X_i^j(k)$ — дифференциальное Т-изображение первоначальной функции $x^j(t)$; H_i — масштабный коэффициент, размерность которого совпадает с размерностью аргумента t , как правило, выбирается на условиях $0 \leq t \leq H$ на всем диапазоне функции-оригинала $x^j(t)$; \square — символ соответствия между функцией-оригиналом $x^j(t)$ и его дифференциальным Т-изображением $X_i^j(k)$. Благодаря прямому дифференциальному преобразованию, что находится слева от символа \square , формируется дифференцированное Т-изображение функции-оригинала $x^j(t)$ в виде дискретной функции $X_i^j(k)$ целочисленного аргумента $k=0, 1, 2, \dots$. На основе совокупности значений Т-дискрет функции целочисленного аргумента $X_i^j(k)$ $k=0, 1, 2, \dots$, используя обратное дифференциальное преобразование, что находится справа от символа \square , получим функции оригинала $x^j(t)$. Заметим, что при $k=0$ согласно (1) для любого мгновенного значения t_i каждого j -го параметра $x^j(t_i)$ выполняются следующие равенства: $x^j(t_0) = X_0^j(0)$, $x^j(t_1) = X_1^j(0)$, $x^j(t_2) = X_2^j(0)$, $x^j(t_i) = X_i^j(0)$, $x^j(t_r) = X_r^j(0)$.

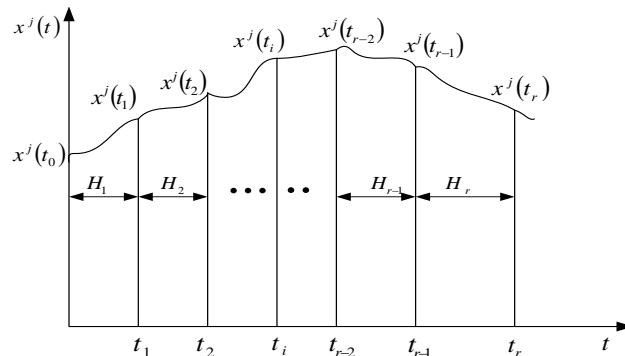


Рис. 2

Применив дифференциальное преобразование (1), представленное выражением

$$x^j(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t}{H_i} \right)^k X_i^j(k),$$

к полученной всей совокупности параметров $x^j(t_0), x^j(t_1), x^j(t_2), \dots, x^j(t_i), \dots, x^j(t_r)$ в каждой точке $i=0, 1, 2, \dots, r$ согласно рис. 1 сформируем систему уравнений n -го порядка:

$$X_i^j(0) + \frac{\tau_i}{H} X_i^j(1) + \left(\frac{\tau_i}{H} \right)^2 X_i^j(2) + \left(\frac{\tau_i}{H} \right)^3 X_i^j(3) + \dots + \left(\frac{\tau_i}{H} \right)^n X_i^j(n) = x^j(t_{i+1}),$$

$$X_i^j(0) + \frac{\tau_{i+1}}{H} X_i^j(1) + \left(\frac{\tau_{i+1}}{H} \right)^2 X_i^j(2) + \left(\frac{\tau_{i+1}}{H} \right)^3 X_i^j(3) + \dots + \left(\frac{\tau_{i+1}}{H} \right)^n X_i^j(n) = x^j(t_{i+2}), \quad (2)$$

$$X_i^j(0) + \frac{\tau_n}{H} X_i^j(1) + \left(\frac{\tau_n}{H}\right)^2 X_i^j(2) + \left(\frac{\tau_n}{H}\right)^3 X_i^j(3) + \dots + \left(\frac{\tau_n}{H}\right)^n X_i^j(n) = x^j(t_{n+1}).$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, r.$$

Решив систему уравнений (2) в каждой точке $i = 0, 1, 2, \dots, r$ аномального процесса и учитывая, что $x^j(t_i) = X_i^j(0)$, для всех мгновенных значений t_i каждого j -го параметра $x^j(t_i)$ получим следующие векторы:

$$\begin{aligned} \varphi_1^j &= \left[X_1^j(0) \mid X_1^j(1) \mid X_1^j(2) \mid \dots \mid X_1^j(n) \right]^t \\ \varphi_i^j &= \left[X_i^j(0) \mid X_i^j(1) \mid X_i^j(2) \mid \dots \mid X_i^j(n) \right]^t \\ \varphi_n^j &= \left[X_n^j(0) \mid X_n^j(1) \mid X_n^j(2) \mid \dots \mid X_n^j(n) \right]^t. \end{aligned} \quad (3)$$

Из анализа полученных результатов следует что в процессе вычислений, согласно выражению (2) величина j -го параметра $x^j(t)$, в каждой точке t_i ($i = 0, 1, 2, \dots, r$) представляется не только его мгновенным значением $x^j(t_i) = X_i^j(0)$, но и дополнительной совокупностью T -дискрет $X_i^j(k)$, каждая k^a -я из которых ($k = 1, 2, \dots, n$) эквивалентна k производной j -го параметра $x^j(t_i)$ в этой же точке t_i , что представлено выражением (3). Таким образом, в результате подобной организации вычислительного процесса полученные первичные данные $x^j(t_i)$ ($j = 1, 2, \dots, m$), ($i = 0, 1, 2, \dots, r$) с выходов датчиков энергетического объекта в каждой точке t_i ($i = 0, 1, 2, \dots, r$) согласно (3) представлены соответствующим вектором: $\varphi_i^j =$

$= \left[x^j(t_i) = X_i^j(0) \mid X_i^j(1) \mid X_i^j(2) \mid \dots \mid X_i^j(n) \right]^t$, совокупность которых отображает исчерпывающую информативность зарегистрированной первичной информации. На основе исходных данных, представленных в виде набора векторов (3), можно организовать единое информационное синхронизированное по времени пространство. Для этого каждый вектор данных, полученных выражением (3), покажем в виде вектора доаварийного состояния, аварийного и послеаварийного, а также представим векторы: $\Theta(t_i)$ — данные окружающей среды; $\xi(t_i)$ — синхронность измерений; $\Psi(t_i)$ — значения экспертной информации в виде следующих множеств: $\{\varphi_i^{jd}\} \in G^d \neq \emptyset$, $\{\varphi_i^{ja}\} \in G^a \neq \emptyset$, $\{\varphi_i^{jp}\} \in G^p \neq \emptyset$, $\{V_i^j\} \in G^V \neq \emptyset$, $\{\Theta_i^j(t_i)\} \in G^\delta \neq \emptyset$, $\{\xi_S^j(t_i)\} \in G^S \neq \emptyset$, $\{\Psi_E^j(t_i)\} \in G^E \neq \emptyset$.

Процедуру формирования единого информационного и временного пространства представим в виде множества G :

$$\begin{aligned} G_A &= G^d \cup G^a \cup G^p \neq \emptyset, \\ G &= G_A \cup G^\delta \cup G^S \cup G^E \cup G^V. \end{aligned} \quad (4)$$

Благодаря тому, что любая ордината $x^j(t)$ j -го параметра аргумента t представляется в каждой точке t_i ($i = 0, 1, 2, \dots, r$) не только ее мгновенным значением $x^j(t_i)$, а согласно (3), (4) совокупностью компонентов $X_i^j(k)$, ($k = 1, 2, \dots, n$), т.е.

векторами $\varphi_i^j = \left[x^j(t_i) = X_i^j(0) \mid X_i^j(1) \mid X_i^j(2) \mid \dots \mid X_i^j(n) \right]^t$, то такой подход ставит насущную проблему создания математических моделей и методов повышенной интеллектуальной сложности и размерности для обработки первичной информации, представленной в виде совокупности векторов (3), сформированных в виде единого информационного пространства.

Математические модели повышенной интеллектуальной сложности и размерности

Фундаментальной процедурой в процессе обработки сигналов является организация спектрального анализа первичной информации. На практике широко применяются интегральные преобразования Фурье с конечными и бесконечными пределами. Взяв за основу процедуру спектрального анализа первичной информации, представленной набором векторов (3) и реализовав ряд математических преобразований, сформируем математическую модель для определения совокупности комплексных амплитуд γ_x гармоник $\dot{I}_\gamma = I_\gamma e^{j\gamma\omega t}$ тока [1, 3, 8]

$$\dot{I}_\gamma = \frac{1}{\pi\gamma} \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{k!}{(j\gamma\omega H)^k} \left[\sum_{m=0}^{m=k} \left(\frac{T}{H} \right)^m \frac{(-j\gamma\omega t)^m}{m!} - 1 \right] I(k). \quad (5)$$

Ключевым вопросом при анализе аномальных, аварийных или экстремальных режимов сетей электроснабжения в соответствии с (5) является определение спектральной плотности переходных процессов для комплексной оценки в любой момент времени динамики изменения запаса надежности и границ устойчивости системы. Создание подобных технологий стало возможным благодаря сигналам GPS, единого точного времени, современным информационным технологиям, а также математическим методам представления первичной информации в виде дифференциальных спектров (3). Для организации вычислительного процесса определение спектральной плотности на основе первичных данных, сформированных в виде Т-спектров (3), выполним совокупность математических преобразований для определения спектральной плотности [6,8]

$$X_i(j\omega) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{k!}{(j\gamma\omega t)^k} \frac{X_i(k)}{j\omega} X_i(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(j\omega H)^k}{k!} X_i(j\omega) d\omega. \quad (6)$$

На основе дифференциальных преобразований (1) аналогично (6) и совокупности первичных данных, представленных векторами (3) в виде дифференциальных спектров, нетрудно организовать вычислительный процесс для анализа силового электрического оборудования. Величина $G(t)$, характеризующая электрический износ контактов, в результате выполнения соответствующей коммутации фидеров тяговой электрической сети может быть определена как [1, 3]

$$G(t) = \int_{t_s}^{t_a} i^2(t) dt. \quad (7)$$

Применив дифференциальное преобразование (1) к выражению (7) и выполнив ряд преобразований, при $t_0 = 0$ и $t_m = H$ получим дифференциальную математическую модель определения $G(t)$:

$$G(t) = \int_{t_o}^{t_m} i^2(t) dt = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{t_n^{k+1} - t_0^{k+1}}{(k+1)H^k} \sum_{l=0}^{l=k} I(l)I(k-l). \quad (8)$$

Математический аппарат дифференциальных преобразований представленный выражением (1), как и в случае (8), также достаточно эффективно можно использовать для анализа интеллектуальных компьютерных сетей управления системами электроснабжения. Логическая структура распределенной компьютерной сети интеллектуальной системы тяговой подстанции, что отражает ее топологические характеристики, показана на рис. 3. Узлы графа — это компьютерные компоненты, функционально ориентированные на выполнение тех или иных функций. Центральный сервер управления на уровне тяговой подстанции изображен узлом $P_0(t)$; $P_1(t)$ — узел сервера базы данных и формирование единого информационного пространства; $P_2(t)$ — центральный узел связи; $P_3(t)$ — узел связи с Internet; $P_4(t)$ — узел сервера оперативного диспетчерского управления электроснабжением; $P_5(t)$ — узел сервера мониторинга в железнодорожной энергетике; $P_6(t)$ — узел формирования отчетных документов. Интенсивность потока заявок для обмена информацией между компьютерными компонентами локальной вычислительной сети тяговой подстанции выразим величиной $\lambda_i(t)$, а интенсивность потока обслуживания заявок $\lambda_i(t)$ представим величиной $\gamma_j(t)$.

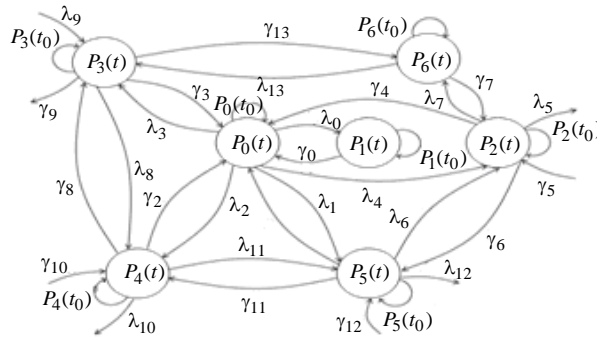


Рис. 3

На основе графа локальной сети (см. рис. 3) синтезируем математическую модель в виде системы дифференциальных уравнений Колмогорова–Чепмена с соответствующими начальными условиями [1–6]:

$$\frac{dP(t)}{dt} = AP(t), \quad (9)$$

где A — матрица, формируемая известным образом [6]; $P(t)$ — вектор вида

$$P(t) = \begin{bmatrix} P_0(t) & P_1(t) & \dots & P_6(t) \end{bmatrix}^t.$$

Система дифференциальных уравнений (9) справедлива при соблюдении условий нормирования $P_0(t_0) + P_1(t_0) + \dots + P_6(t_0) = 1$ в момент $t_0 = 0$ и соответствующих начальных условий

$$P_0(0) = 1, \quad P_1(0) + P_2(0) + \dots + P_6(0) = 0. \quad (10)$$

Ограничения на интенсивности потоков заявок для обмена информацией $\lambda_j(t)$ и интенсивность потока обслуживания $\gamma_j(t)$ представлены выражениями

$$0 \leq \lambda_j \leq \lambda_{j \max}, \quad 0 \leq \gamma_j \leq \gamma_{j \max}, \quad (11)$$

где $\lambda_{j \max}, \gamma_{j \max}$ — максимальные интенсивности.

На основе дифференциальных преобразований (1) представим систему уравнений (9) в области дифференциальных изображений в виде Т-модели [1, 6, 8]:

$$P(k+1) = \frac{T}{k+1} AP(k). \quad (12)$$

При этом начальные условия (10), (11) будут иметь вид $P_0(t=0) = P_0(0) = 1$, $P_i(t=0) = P_i(0) = 0$, $k = 0$.

Подставив значения начальных условий $P_0(t=0) = P_0(0) = 1$, $P_i(t=0) = P_i(0) = 0$, $k = 0$ в виде вектора $P(0) = \begin{bmatrix} P_0(0)=1 & P_1(0)=0 & \dots & P_6(0)=0 \end{bmatrix}^t$ в (12), получим соответственно математические зависимости $k = 0$ $P(1) = TAP(0)$, $k = 1$ $P(2) = \frac{T}{2} AP(1)$, $k = 2$ $P(3) = \frac{T}{3} AP(2)$. Совокупность полученных векторов вида $P(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^t$, $P(1) = \begin{bmatrix} P_0(1) & P_1(1) & \dots & P_6(1) \end{bmatrix}^t$, $P(3) = \begin{bmatrix} P_0(3) & P_1(3) & \dots & P_6(3) \end{bmatrix}^t$

подставим в обратное дифференциальное преобразование $x^j(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t}{H_i} \right)^k X_i^j(k)$ математической зависимости (1) и, реализовав соответствующие преобразования, получим значения вероятностей $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$, $P_5(t)$, $P_6(t)$ узлов графа (см. рис. 3), в аналитическом виде запишем его следующим образом [2, 5]:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= 1 + \beta_0 t + (\beta_0^2 + \gamma_1 \lambda_1 + \lambda_2 \gamma_2 + \lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4) \frac{t^2}{2}, \\ P_1(t) &= \lambda_0 t + (\beta_1 + \beta_0) \lambda_0 \frac{t^2}{2}, \\ P_2(t) &= \lambda_4 t + (\beta_2 \lambda_4 + \lambda_6 \lambda_1 + \lambda_4 \beta_0) \frac{t^2}{2}, \\ P_6(t) &= (\gamma_{13} \lambda_3 + \lambda_7 \lambda_4) \frac{t^2}{2}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\beta_0 = -(\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)$, $\beta_1 = -\gamma_0$, $\beta_2 = -(\gamma_4 + \lambda_7 + \lambda_5 + \gamma_0)$, $\beta_3 = -(\gamma_0 + \gamma_{13} + \gamma_3 + \lambda_8)$, $\beta_4 = -(\gamma_8 + \gamma_2 + \lambda_{11} + \lambda_{10})$, $\beta_5 = -(\lambda_{12} + \gamma_{11} + \gamma_1 + \lambda_6)$, $\beta_6 = -(\gamma_7 + \lambda_{13})$.

На основе значений вероятностей $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$, $P_5(t)$, $P_6(t)$ узлов графа, представленных в аналитическом виде (13), сформируем математические модели для определения набора показателей, характеризующих локальную компьютерную сеть управления электроснабжением на уровне тяговой подстанции. Будем считать, что с вероятностью $P_0(t)$ принят и обслужен поток заявок $\lambda_0(t)$, $\lambda_1(t)$, $\lambda_2(t)$, $\lambda_3(t)$, $\lambda_4(t)$ центральным сервером. Если одна или несколько заявок потока $\lambda_0(t)$, $\lambda_1(t)$, $\lambda_2(t)$, $\lambda_3(t)$, $\lambda_4(t)$, поступающие на центральный сервер, получают отказ, то вероятность отказа $Q(t)$ будет представлять собой дополнение $P_0(t)$ к единице, т.е.

$$Q_0(t) = 1 - P_0(t) = \beta_0 t + (\beta_0^2 + \gamma_1 \lambda_1 + \lambda_2 \gamma_2 + \lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4) \frac{t^2}{2}. \quad (14)$$

Пропускную возможность $G_0(t)$ центрального процессора запишем так:

$$\begin{aligned} G_0(t) &= \lambda_m(t)(1 - Q_0(t)) = \lambda_m(t)[1 + \gamma_1(t) - (\lambda_0 \beta_0 + \lambda_1 \beta_1 + \lambda_3 \beta_2 + \lambda_4 \beta_3 + \gamma^2)] \frac{t^2}{2}, \quad (15) \\ \lambda_m(t) &= \max_i \{ \lambda_i(t) \}, \quad i = 0, 1, 2, 3, 4 \dots \end{aligned}$$

Среднее число заявок $R_0(t)$, которые обрабатываются в локальной компьютерной сети, представим в следующем виде:

$$R_0(t) = \frac{Gd(t)}{\gamma_m(t)} = \frac{\lambda_m(t) \left[1 - \beta_0 t - (\beta_2^2 + \gamma_1 \lambda_1 + \gamma_2 \lambda_2 + \gamma_3 \lambda_3 + \gamma_4 \lambda_4) \frac{t^2}{2} \right]}{\gamma_m(t)}, \quad (16)$$

$$\gamma_m(t) = \max_i \{\gamma_i(t)\}, \quad i = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$$

Полученные в соответствии с (13)–(16), значение вероятности $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$, $P_5(t)$, $P_6(t)$ состояния каждого узла графа можно использовать для формирования критериев оценки уровня защищенности информационных ресурсов [2, 5]:

$$\Theta_i(t) = \frac{1}{2} \int_{t=t_0}^T P_i(t) dt, \quad i = 0, 1, 2 \dots \quad (17)$$

Достижения системой заданных показателей защищенности возможно при рациональном определении стратегии формирования таких значений z_j , которые минимизируют плату субъекта обеспечения безопасности $\Theta_i(q_j, z_j)$ за потраченные ресурсы при максимальной интенсивности потоков кибератак q_j , т.е.

$$\Theta_i^*(q_j, z_j) = \min_{q_j \in E_q} \max_{z_j \in E_z} \Theta_i(q_j, z_j), \quad i = 0, 1, 2 \dots \quad (18)$$

В процессе моделирования стратегии кибератак противоборствующие стороны, вероятно, исходят из условия формирования таких стратегий q_j , которые максимизируют плату $\Theta_i(q_j, z_j)$, при условии ее минимизации системой кибербезопасности z_j , т.е.

$$\Theta_i^*(q_j, z_j) = \min_{q_j \in E_q} \max_{z_j \in E_z} \Theta_i(q_j, z_j), \quad i = 0, 1, 2 \dots \quad (19)$$

При выполнении условий (18), (19) поисковые стратегии q_j^{opt} и z_j^{opt} называются оптимальными:

$$\min_{z_j \in E_z} \max_{q_j \in E_q} \Theta_i(q_j, z_j) = \max_{q_j \in E_q} \min_{z_j \in E_z} \Theta_i(q_j, z_j) = \Theta_i^{\text{opt}}(q_j^{\text{opt}}, z_j^{\text{opt}}). \quad (20)$$

Стратегия обеспечения безопасности информации заключается в поиске закона изменения потока интенсивности защитных действий, которая реализует минимизацию функционала (17) при стохастической интенсивности потоков кибератак, в соответствующих пределах. Поэтому в связи с антагонизмом целей субъектов информационного конфликта доминирующей стратегией обеспечения безопасности (20) информации будет стратегия на основе принципа минимакса, т.е. [2, 5]

$$\min_{z_j \in E_z} \max_{q_j \in E_q} \Theta_i(t, P_i q_j, z_j). \quad (21)$$

Применив прямое дифференциальное преобразование (1) к функционалу (17) и в соответствии с (21), реализуем процедуру оптимизации через дискрету дифференциального спектра $P_i(k)$ в следующем виде [5, 8]:

$$\Theta_i^* = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{P_i(k)}{k+1}. \quad (22)$$

На основе вычисленных дискрет, представленных совокупностью векторов вида $P(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^t$, $P(1) = \begin{bmatrix} P_0(1) & P_1(1) & \dots & P_6(1) \end{bmatrix}^t$, $P(3) = \begin{bmatrix} P_0(3) & P_1(3) & \dots & P_6(3) \end{bmatrix}^t$, выражение (22) для $P_0(t)$ узла центрального сервера локальной сети управления тяговой подстанцией примет вид

$$\Theta_0^* \approx 1 + \beta_0 t + (\beta_0^2 + \gamma_1 \lambda_1 + \gamma_2 \lambda_2 + \gamma_3 \lambda_3 + \gamma_4 \lambda_4) \frac{t^2}{2}. \quad (23)$$

Процедура поиска оптимальных стратегий интенсивности потоков кибератак q_j^{opt} и потока интенсивности защитных действий z_j^{opt} функционала Θ_i^* неразрывно связана с исследованием его на экстремум. Известно, что необходимыми условиями существования экстремума функционала $\Theta_i^*(q_j, z_j)$, по теореме Куна–Такера есть условие обеспечения безопасности информации вида [2, 5]

$$\begin{cases} \frac{d}{dz_0}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) = 0, & \frac{d}{dq_0}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) = 0, \\ \dots & \dots \\ \frac{d}{dz_{13}}(\Theta_{23}^*(q_j, z_j)) = 0, & \frac{d}{dq_{13}}(\Theta_{23}^*(q_j, z_j)) = 0. \end{cases} \quad (24)$$

Реализовав согласно (23) подстановку $\Theta_i^{\text{opt}}(q_j, z_j)$ в систему уравнений (24) и взяв производные, получим систему линейных уравнений, решив которые, получим оптимальные стратегии q_j^{opt} и z_j^{opt} . При этом знаки экстремумов в стратегиях q_j^{opt} и z_j^{opt} определяются на основе проверки достаточных условий:

$$\begin{cases} \frac{d^2}{dz_0^2}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) > 0, & \frac{d^2}{dq_0^2}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) > 0, \\ \dots & \dots \\ \frac{d^2}{dz_{13}^2}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) > 0, & \frac{d^2}{dq_{13}^2}(\Theta_0^*(q_j, z_j)) > 0. \end{cases} \quad (25)$$

Проводя аналогичное исследование, т.е. подставив значение $\Theta_{i=0}^{\text{opt}}(q_j, z_j)$ из (23) в систему уравнений (25) и взяв вторые производные, получим систему уравнений, решение которых указывает на выполнение или невыполнение, достаточных условий. Реализовав вычисленные значения оптимальных стратегий q_j^{opt} и z_j^{opt} согласно (24), удовлетворяющих условиям (25), и подставив их в (23), определим уровень защищенности информации i -го узла графа, отражающий его локальную вычислительную сеть управления тяговой подстанцией.

Заключение

Исследования эволюции инновационного преобразования электрических систем железных дорог и распределенных компьютерных сетей управления быстротекущими технологическими процессами показали, что решение комплексной проблемы оптимизации электроснабжения, создания энергосберегающих технологий электропотребления и улучшения безопасности движения при минимальных инвестиционных составляющих возможно интеллектуализацией быстропротекающих технологических процессов электроснабжения и организацией интеллектуальных компьютерных сетей, способных решать комплекс задач, которые традиционно относятся к классу творческих, для получения новых знаний в соответствующей области.

Показано, что организация интеллектуальных систем базируется на результатах фундаментальных и прикладных исследований в области математического и компьютерного моделирования, для управления сложными энергетическими объектами, процессами и явлениями, а концептуально — на использовании необходимой или избыточной производительности вычислений в любой точке или сегменте топологии объекта, путем синтеза математических моделей и методов повышенной интеллектуальной сложности и размерности, ориентированных на выявление новых специальных знаний для генерации управленческих решений в условиях неструктурированных и минимально структурированных информационных данных.

Разработан концептуальный подход организации интеллектуальных компьютерных сетей и базовый принцип отражения в интеллектуальных системах взаимной интеграции интеллектуальных ресурсов управления и современных возможностей распределенных компьютерных сетей и информационных технологий. Предложен принцип формирования интеллектуального информационного пространства путем определения исчерпывающей информативности первичных данных, отражающих аномальные и штатные режимы функционирования энергетического объекта, а также принцип взаимодействия интеллектуальной системы с энергетическими объектами и внешней средой и принцип глубокой взаимной интеграции архитектуры компьютерной среды и топологии энергетического объекта, включая интеллектуальное силовое оборудование со встроенными контроллерами и средствами защиты.

Основываясь на предложенных принципах, а также на фундаментальных понятиях теории дифференциальных преобразований, предложена дифференциальная математическая модель высокой интеллектуальной сложности и размерности для определения исчерпывающей информативности первичной информации, полученной путем проведения синхронной регистрацией всей совокупности параметров режимов энергетических объектов как основы формирования интеллектуального информационного пространства и синтеза новых знаний.

Разработана совокупность дифференциальных математических моделей повышенной интеллектуальной сложности и размерности для проведения в области дифференциальных изображений спектрального анализа первичной информации, исследования компьютерной архитектуры управления на уровне тяговой подстанции, а также синтезированы методы определения в аналитическом виде, значения вероятностей состояний узлов компьютерной сети, пропускной способности, числа отказов заявок на обслуживание и занятых каналов. Приведена дифференциальная математическая модель кибербезопасности компьютерной среды управления электроснабжением, что открыло возможность синтезировать модели кибератак на информационные ресурсы локальной вычислительной сети тяговой подстанции, формализовать критерий кибербезопасности компьютерной среды и создать стратегии обеспечения кибербезопасности на основе принципа минимакса.

О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ І МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ І ОПТИМІЗАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

Досліджено ключові напрямки еволюції інноваційного перетворення електричних систем залізниць. Показано, що розв'язання комплексної проблеми оптимізації електропостачання та створення енергозберігаючих технологій можливо шляхом інтелектуалізації швидкоплинних технологічних процесів електроспоживання. Запропоновано концептуальний підхід і сукупність принципів організації інтелектуальних комп'ютерних мереж, орієнтованих на нові знання в галузі залізничної енергетики і спроможних розв'язувати комплекс задач, які традиційно відносяться до класу твор-

чих. Науково обґрунтована організація математичних моделей і методів підвищеної інтелектуальної складності і розмірності, орієнтованих на виявлення нових спеціальних знань в залізничній енергетиці шляхом використання наявної надлишкової продуктивності обчислень в будь-якій точці або сегменті топології об'єкта. Запропоновано диференційні математичні моделі для визначення вичерпної інформативності первинної інформації, проведення спектрального аналізу первинних даних, дослідження комп'ютерної архітектури керування на рівні тягової підстанції, визначення ймовірностей станів вузлів комп'ютерної мережі, пропускної спроможності, кількості відмов заявок на обслуговування та зайнятих каналів. Розроблено математичну модель кібербезпеки комп'ютерного середовища, формалізовано критерії кібербезпеки і розроблено стратегію забезпечення кібербезпеки на основі принципу мінімаксу.

A.I. Stasiuk, L.L. Goncharova

MATHEMATICAL MODELS AND METHODS OF ORGANIZATION OF INTELLECTUAL COMPUTER NETWORKS POWER CONTROL AND OPTIMIZATION OF POWER CONSUMPTION OF THE RAILWAYS

The key directions of evolution of innovative transformation of electric systems of railways are investigated. It is shown that the solution of complex problem of optimization of power supply and creation of power saving up technologies is possible by intellectualization of fast-flowing technological processes of power consumption. A conceptual approach and a set of principles for the organization of intelligent computer networks focused on obtaining new knowledge in the field of railway energy and able to solve a set of problems that traditionally belong to the class of creative. The organization of mathematical models and methods of increased intellectual complexity and dimension focused on the identification of new special knowledge in the railway energy by using the available excess performance calculations at any point or segment of the topology of the object. The proposed differential mathematical model to determine the comprehensive information content of the primary information, the spectral analysis of the primary data, research of computer architecture control level of the traction substation, determining probabilities of States of nodes of a computer network, bandwidth, the number of failures of service calls and busy channels. The mathematical model of cybersecurity of the computer environment is developed, criteria of cybersecurity are formalized and the strategy of ensuring cybersecurity on the basis of the minimax principle is developed.

1. Стасюк О.І., Гончарова Л.Л. Математичні моделі і методи аналізу комп'ютерних мереж керування електропостачанням залізниць // Кибернетика и системный анализ. — 2018. — 54, № 1. — С. 134–145.
2. Стасюк О.І., Грищук Р.В., Гончарова Л.Л. Математична модель кібербезпеки комп'ютерної мережі керування електропостачанням тягових підстанцій // Там же. — 2017. — 53, № 3. — С. 170–179.
3. Стасюк О.І., Гончарова Л.Л. Диференційні математичні моделі дослідження комп'ютерної архітектури всережимної системи керування дистанції електропостачання // Там же. — 2017. — 54, № 1. — С. 83–92.
4. Стасюк О.І., Гончарова Л.Л. Математичні моделі комп'ютерної інтелектуалізації технологій синхронних векторних вимірів параметрів електричних мереж // Там же. — 2016. — 52, № 5. — С. 186–192.
5. Стасюк А.И., Гончарова Л.Л., Голуб Г.М. Методы оценки кибербезопасности распределенных компьютерных сетей управления электропотреблением дистанций электроснабжения // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2017. — № 4. — С. 119–127.
6. Стасюк А.И., Гончарова Л.Л. Математические модели и методы анализа компьютерных сетей управления электроснабжением тяговых подстанций железных дорог // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2017. — № 1. — С. 104–113.
7. Стасюк О.І., Буткевич О.Ф., Левкошук А.В. Підвищення надійності моніторингу допустимості завантажень контрольованих перетинів енергосистем // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 2. — С. 56–67.
8. Пухов Г.Е. Преобразования Тейлора и их применение в электротехнике и электронике. — Киев : Наук. думка, 1978. — 259 с.
9. IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)DC, USA Apr 23, 2017 — Apr 26, 2017. — <http://www.scgsc.net/1>.
10. European Technology Platform- Smart Grids. April 2011: Strategic Deployment document for European Commission, 2014. — Mode of access: — <http://www.smartgrids.eu/>.

Получено 20.02.2018