

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ ЭНЕРГЕТИКИ И ЖКХ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРИЗИРУЮЩЕГО БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

С.В. Прокопчина¹

*Финансовый университет при Правительстве РФ,
125993, Москва, Ленинградский проспект, 49.*

В статье рассматриваются вопросы реализации принципов экономики знаний на основе байесовских интеллектуальных технологий. Основным математическим подходом является регулирующий байесовский подход. Рабочий пример анализа приведен для задачи реализации принципов экономики знаний.

Ключевые слова: байесовские интеллектуальные технологии, анализ, интегральная оценка состояния, управление и мониторинг, интеллектуальные сети

THE CONCEPT OF INTELLIGENT NETWORK ON THE BASE OF REGULARIZATING BAYESIAN APPROACH

S.V.Prokopchina

*Financial University under the Government of the Russian Federation,
125993, Moscow, Leningradsky Avenue, 49.*

The concept of the intelligent network (smart grid) for energy and housing applications, based on the Regularizing Bayesian Approach and methodology of Bayesian Intelligent Technologies (BIT) and Soft Measurement, is suggested. Parametrical (for data integration), functional (for models integration), multy-factors (for recognition of the situations) BIT as well as metrological aspects of obtaining decisions and possible ways to decisions risk control are considered. The analytical equations for these types of BIT on concept level are given. The “probability-possibility” integrating technologies, features of BIT for models creation, making decisions under conditions of great a priori uncertainty on the basic of BIT, definition of the situations and main influence factors are discussed. BIT-versions for integration of the perspective information technologies and distributed information recourses for distributed decisions support systems (DSS) are briefly considered.

Keywords: bayesian intellectual technologies, the Analysis, the Integrated estimation of a condition, management and monitoring, intelligent networks

Востребованность методов и средств искусственного интеллекта при решении задач управления энергетическими, экономическими, социальными системами и процессами значительно повысилась в настоящее время. Одним из ключевых приложений для этих методов являются интеллектуальные сети управления (smart grid), в частности и в основном, в энергетических приложениях. Целью создания интеллектуальных сетей в энергетике является интеграция и интеллектуализация имеющихся управленческих ресурсов в рамках «smart grid - модели» и перевод их на качественно новый уровень интеллектуальности механизмов управления совокупностью распределенных электроэнергетических сетей и энергообъектов [2].

Как отмечено в [2] «эффективность «smart grid - стратегий» российских энергетических компаний в условиях необходимости устойчивого экономического развития нашей страны в значительной степени зависит от

обеспечения органов управления соответствующим управленческим инструментарием для достижения энергоэффективности, снижения энергоемкости производства и обеспечения роста ВВП. Требуется трансформация механизмов управления производственно-технологическими, организационными и экономическими процессами в системе энергетических бизнесов (генерация, передача распределение, сбыт электроэнергии, услуги, связанные с энергопотреблением, другие энергетические сервисы) на основе использования распределенных интеллектуальных управленческих сред по технологии smart grid, которые в равной мере относятся как к энергетике, так и к информационно-технологической области. Такая трансформация должна обеспечивать возможность практической реализации комплексного подхода к решению задачи формирования мультифакторной оптимизации при переходе к интеллектуальным электрическим сетям (smart grid), лежащей в основе повышения эффектив-

ности деятельности энергетических компаний и энергопотребителей в нашей стране. Необходимо изменение траектории развития российской энергетики на принципах взаимосвязанности и сбалансированности функционирования и взаимодействия энергетических объектов путем развития smart grid как основы соответствующих управленческих механизмов.

Общественная ценность новых технических и организационных решений smart grid определяется вопросами энергетической независимости, повышением надежности и преимуществами для энергопотребителей. Так, эксперты аналитической компании McKinsey оценили общественную ценность совокупных аспектов smart grid для США в 130 млрд долларов. В этих условиях Президент и Правительство Российской Федерации поставили министерствам, ведомствам, а также энергетическим корпорациям нашей страны задачу по разработке и реализации проектов по переходу электроэнергетики России на «интеллектуальные сети».

На Санкт-Петербургском международном экономическом форуме был проведен круглый стол: «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика» с участием руководителей ведущих энергетических компаний мира. В апреле 2013 года прошел Форум «Информационные технологии в ЖКХ», одним из основных направлений которого явилась тема интеллектуализации ЖКХ в направлении «от умных измерений к умному городу», в рамках которого основным докладом стал доклад о разработке интеллектуальных сетей на основе БИТ.

По инициативе ОАО «ФСК ЕЭС» была подготовлена «Концепция развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью». Однако узким местом платформы том этой является методологическая база функционирования сетей. Разработчики не предложили и даже не определили задачи получения достоверной информации об объектах и ситуациях в ТЭК и ЖКХ, средств учета ее специфики и интеграции, планирования информационных процессов, контроля и достижения требуемого качества управленческих решений. Поэтому данная разработка не может быть использована в качестве базовой для создания интеллектуальных сетей энергетики и ЖКХ.

В настоящее время для управления распределенными энергогенерирующими системами в условиях неопределенности разработаны и находят практическое применение байесовские интеллектуальные системы нового поколения. Такие системы, наследуя основные принципы БИИ и БИТ, (а именно, интегрирование разнотипных потоков данных и знаний, метрологическое обоснование и возможность

управления качеством решений, гибкость и развиваемость в процессе функционирования), в совокупности с перспективными информационными технологиями сетевой передачи, сбора и распределенной обработки информации представляют собой новый тип систем, названный *байесовскими интеллектуальными сетями* (БИС).

Необходимость разработки БИС была обусловлена с одной стороны требованиями практических задач, (как правило, решаемых в условиях значительной априорной неопределенности) по обобщению и использованию всего имеющегося объема информации, с другой стороны, возможностями получивших активное развитие современных сетевых технологий, позволяющих собирать и обрабатывать значительные массивы разнотипных дистанционно распределенных информационных ресурсов. Унификация обработки информации в сети достигается использованием принятых стандартов и языков (например, XML), а также технологий распределенной обработки (например, технологий «облачных» вычислений). Однако, несмотря на развитые возможности по передаче и хранению числовой, текстовой, графической, аудио-, видео – и другой информации, во всех современных серверных технологиях отсутствует возможность свертки такой информации, ее интеграции в единый информационный поток, несущий максимально достоверные и полные знания об объекте или его свойствах в конкретных условиях, а также аналитической обработки информации с целью поддержки принятия управленческих решений.

Кроме того, в известных сетевых технологиях, нет, не только возможности управления качеством получаемых на их основе решений, но и контроля, метрологического обоснования поступающих и хранящихся данных, в реальных условиях не позволяет определять или гарантировать устойчивость, сходимость и достоверность (риск) получаемых решений. Иными словами, отсутствие принципов измерительного подхода в информационных технологиях современной распределенной обработки данных приводит к невозможности их эффективного использования для решения значительного круга задач энергетики и ЖКХ.

Заметим также, что в реальных условиях мониторинга или управления процессами генерации, распределения и потребления энергоресурсов на основе интеллектуальных сетей, возникает необходимость адаптации технологий и структур сетей к меняющимся свойствам объектов и процессов и окружающей их среды, развитию в соответствии с развитием объектов и структуры сетей. В такой постановке возникает задача оптимизации технологий и структур сетевой обработки информации в ходе эксплуатации систем, что означает необходимость

разработки и применения технологий самоорганизации, адаптивного изменения топологии сети, динамичного формирования круга клиентов, распределения функций между ними и их интеллектуализации.

Методология РБП, алгоритмическая база БИИ и БИТ послужили основой для создания методологической базы БИС для задач энергетики и ЖКХ. Схема реализации БИС представлена на рис. 1.

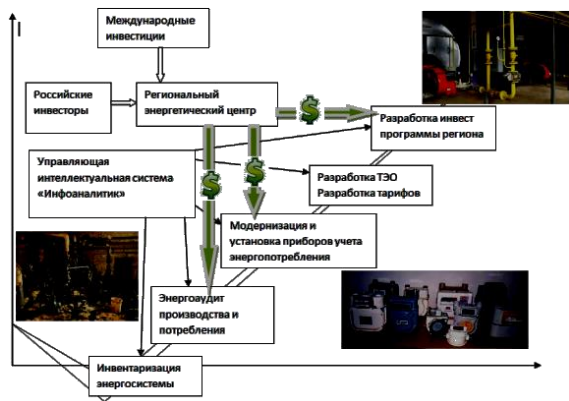


Рисунок 1. Схема реализации функциональности интеллектуальных сетей региональной энергетики

Методология прямых БИИ на однородных трехзвенных шкалах с динамическими ограничениями (ШДО), (иначе, прямых БИИ) составляет основу технологии интеграции *однотипных разноточных потоков информации* (например, свертку результатов измерений поступающих и хранящихся в архиве (базе данных) или свертку результатов измерений одного и того же параметра на разных по точности приборах).

Методологические основы построения ШДО и их применения для оценивания, измерений, контроля (аудита) процессов и ситуаций, прогнозирования и генерации управленческих решений подробно рассмотрены в [1] и других работах данной научной школы.

В качестве реперов ШДО могут выступать значения, лингвистические выражения, аудиторские или управленческие решения, функции, рекомендации, выводы или другие информационные объекты.

В результате реализации БИТ для указанных выше задач на соответствующих им ШДО получают решения в виде регуляризованных байесовских оценок (РБО) $\{h_{kt}^{(Q)} | \{MX\}_{kt}\}$, представляющих собой совокупность возможных альтернатив решений с присущей им, определенной апостериорной вероятностью. Альтернативы определяются в соответствии с оптимизационным уравнением БИТ в виде:

$$\{h_{kt}^{(Q)} | \{MX\}_{kt}^{(Q)}\} = \{\arg \text{extr } C[\varphi_j(\{X_{it}\} \times Y_t^{(OE)} \cdot G_t^{(OE)})]\}, \quad (1)$$

где: h_k – k -тое регуляризованное значение свойства $Q^{(0)}$ в момент времени t , X_{it} – поступающая информация для генерации управленческих решений от источников информации.

Последовательность мероприятий F , составляющих процесс реализации этапов сбора, инвентаризации и управления ресурсами задач энергетики и ЖКХ, может быть представлена в виде взаимоувязанных во времени БИТ-решений последовательности этапов f_i :

$$\{h_{kt}^{(F_i)}\} = \times_{j=1}^{J_t} \{h_{kt}^{(f_j)}\}, \quad (2)$$

где $k = 1, K_t$, K_t – число альтернативных управляющих решений, $j = 1, J_t$.

Решение о реализации последующего этапа находится в виде списка упорядоченных по вероятности альтернатив как решение уравнения вида:

$$\{h_{kt}^{(f_j)} | \{MX\}_{kt}^{(f_j)}\} = \{\arg \text{extr } C[\varphi_{jt}(G_t^{(OE)} \times Z_t \times Y_t^{(OE)} \times h_{t-1}^{(f_j)})]\}. \quad (3)$$

Комплекс метрологических характеристик $\{MX\}_{kt}^{(f_j)}$ включает показатели РБО по точности, надежности и апостериорной достоверности оценочных и управленческих решений, которая может быть вычислена по модифицированной в рамках РБП формуле Байеса:

$$P(h_{kt}^{(F_i)} | G_t^{(OE)}) = \frac{P^a(h_{kt-1}^{(F_i)} | G_{t-1}^{(OE)}) \circ P(G_t^{(OE)} | h_{kt}^{(F_i)})}{\sum_{j=1}^J P^a(h_{jt-1}^{(F_i)} | G_{t-1}^{(OE)}) \circ P(G_t^{(OE)} | h_{jt}^{(F_i)})} \quad (4)$$

Если в качестве отношений ($\circ$) в (4) берется не вероятностная, а другая параметрическая логика, то такие управленческие решения согласно известным определениям, называются мягкими, а тип управления – «мягким управлением». При реализации управленческих решений по (4) имеется возможность смены параметрических логик в зависимости от целей, приоритетов проекта, а также от индивидуальных характеристик лица, принимающего управленческие решения (ЛПР).

Неопределенности, не позволяющие точно планировать и реализовывать процессы управления БИС, риски процессов приводят к задержке начала их реализации повышению их длительности.

В концепции РБП процессы производства энергопродуктов и услуг, а также их длительность рассматриваются как факторы со значительной степенью неопределенности и могут быть оценены в виде РБО:

$$\{h_{kt}^{(Ar)} | \{MX\}_{kt}^{(Ar)}\} = \arg \text{extr } C[\varphi_t^{Ar}(G_t^{(OE)} \times Y_t^{(OE)}) \times h_{t-1}^{(f_j)}]. \quad (6)$$

Специфика БИС, раскрытая выше, определяет следующие дополнительные элементы сетевых технологий. Во-первых, это наличие в структуре сети байесовских интеллектуальных серверов, которые сочетают свойства информационных серверов и серверов приложений, осуществляя на формальном математическом уровне интеграцию потоков данных и знаний, синтез технологий с метрологической поддержкой согласно выражениям (1 – 6), аналитические процессы обработки данных по оценке состояний и ситуаций, их прогнозированию и генерации решений по запросам клиентов. Во-вторых, это наличие метаданных (в виде ШДО). В третьих, наличие мета технологий, осуществляющих управление развитием структуры сети по результатам работы предыдущих этапов реализуемой информационной технологии.

Метрологическое сопровождение байесовской интегрирующей сети дает возможность в ходе работы сети, не только выявлять “узкие” места, где происходит приток информации со значительными искажениями, шумами, но и корректировать технологию и список клиентов – источников информационных ресурсов и потребителей, планировать информационный эксперимент.

На информационной основе БИТ построены интеллектуальные ГИС, которые кроме вышеуказанных свойств, обладают еще возможностями пространственной ориентации решений, полученных выводов и рекомендаций. В качестве атрибутов используются элементы когнитивной графики для диалога с пользователем и извлечения знаний. Для интегрирования косвенной информации – данные и знания пользователем извлекаются самостоятельно после просмотра видеоинформационных массивов и сворачиваются на шкалах ШДО, для формирования дальнейшей технологии обработки данных.

Программная часть БИС представляет собой распределенную информационно-аналитическую систему, включающую систему поддержки принятия управленческих решений. Клиентская часть устанавливается в виде интеллектуальных рабочих мест специалистов (ИРМ) на компьютеры пользователей.

В качестве базовой платформы используется программная среда «Инфоаналитик». Она включает в себя систему создания моделей объектов анализа, подсистему сбора и передачи данных, систему интеллектуальной обработки и анализа данных, библиотеку байесовской математической статистики, базы моделей, систему визуального и когнитивного отображения введенной и обработанной информации, систему выгрузки данных и аналитической информации, подсистему работы с ГИС.

При работе с системой можно выделить следующие модули:

- модуль «Работа с факторами» – предназначен для построения моделей объектов и свойств, работы с классификационными шкалами и описаниями факторов – характеристик модели;

- модуль «Характеристики фактора» – используется для задания типа фактора, типа влияния фактора, единицы измерения, коэффициента масштабирования, корреляционного периода и регулируемости фактора;

- модуль «Работа со шкалами» – предназначен для создания шкал ШДО оценки свойств объектов по различным типам информационных данных;

- блок «Табличный ввод данных» – используется для ввода данных в табличном виде. Данные представляют собой числовое значение, экспертную оценку, шкальное данное или текстовую информацию;

- модуль «Динамическая шкала» – служит для отображения динамики и тенденций развития фактора;

- модуль «Метрология» – обеспечивает оценку характеристик метрологических комплексов (точности, надежности, достоверности, риска, энтропии получаемых решений;

- модуль «Рекомендации» – предназначен для анализа фактора – интерпретации ситуации и выдачи рекомендаций по управлению фактором и влияющими факторами;

- модуль «Моделирование» – определяет аналитический вид зависимости в виде кусочно-линейной модели, полиномиальной или иной модели (если характеристики модели связаны между собой функциональными (аналитическими) зависимостями).

Формирование единого информационного поля для решения энергетических задач является главным назначением интеллектуального рабочего места (ИРМ) специалиста по энергохозяйству предприятия или региона «ИРМ Энергоаналитика», представляющего собой программно-аппаратный комплекс на базе платформы «Инфоаналитик». В круг задач данного ИРМ входят:

- создание актуальных баз данных;
- создание и использование пространственно распределённых банков данных;
- гибкость системы с возможностью построения новых принципов, обработок и создания новых баз данных;
- быстрое реагирование и выдача сведений, аналитических отчетов и рекомендаций по индивидуальным запросам пользователей региональных отделений;
- доступность информационных и вычислительных ресурсов для пользователя;

- защита информации и интеллектуальной собственности от несанкционированного доступа;
 - защита внутренних информационных модулей от несанкционированного доступа.
- Вид комплекса представлен на рис. 2.

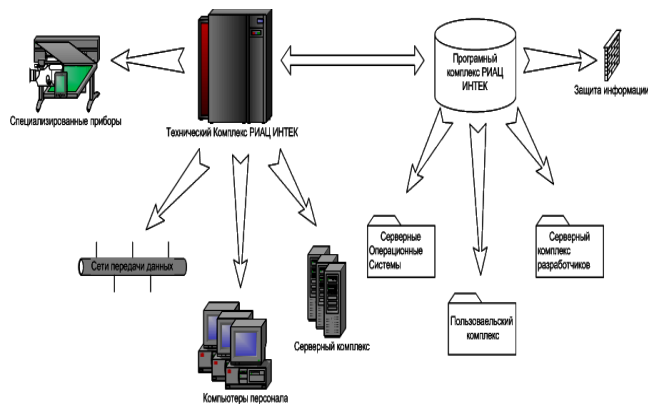


Рисунок 2. Программно-аппаратный комплекс «Энергоаналитик»

Программный комплекс «ИРМ Энергоаналитика» состоит из:

1. Серверного комплекса программных продуктов, содержащего надежные и удобные для работы сетевые службы и службы приложений, объединённые с мощным комплексным управлением. Данный сервер будет определять работу локальных сетевых модулей, регулировать жизнедеятельность отдельных подсистем.

2. Серверного комплекса разработчиков программных продуктов, баз данных, аналитиков и других сотрудников проекта, включающего:

- современную систему управления базами данных, обеспечивающую такие функциональные возможности, как поддержка распределённых транзакций, тиражирование данных, работу с хранилищами данных, взаимодействие с Интернет, поддержку различных языков программирования для программистов и математиков и др.;

- библиотеки различного программного обеспечения.

3. Пользовательского комплекса программных продуктов, включающего:

- стандартные и специализированные пакеты программ для работы специалистов – энергетиков;
- конвертеры с информационными системами ARC/Info, ARC/Edit, ARC/View, ARC/GIS3d analyst, MicroStation, и др..

Технический комплекс «ИРМ Энергоаналитика» состоит из:

1. Сети передачи данных, включающей:
 - внутренние высокоскоростные сети;
 - высокоскоростной доступ в Интернет – обеспечивает скоростной доступ к информационным ресурсам сети, а так же обмен информацией между регионами и доступ к сети Интернет.

2. Серверного комплекса, в том числе:

- сервера печати и файловый массив – выделенного компьютера с массивом программного обеспечения и специализированных программ, также выполняющего функции сервера печати;

- сервера баз данных для разработчиков программного обеспечения, прикладных программистов, аналитиков и ГИС специалистов – обеспечивающего программно-ориентированное направление для разработки и первичной обработки информации;

- мощного вычислительного сервера для обработки данных внешних систем, байесовских систем и обеспечения доступа к распределённым библиотекам данных и баз знаний;

- сервера интернет-технологий, обеспечивающего защиту информации от несанкционированного доступа, и работу интернет-приложений.

3. Рабочих станций ИРМ, представляющих специализированные приборы, включающие измерительные приборы для контроля производства и потребления ресурсов, датчики параметров энергоблоков и водоснабжения,

Комплекс БИС в целом соответствует архитектуре комплексов производственного назначения для решения задач внутреннего энергоаудита, учета расхода энергоресурсов, обеспечения энергобезопасности предприятий и территорий. Кроме того система может стать основой для реализации тренингового центра по управлению энергохозяйством и ЖКХ.

Литература

1. Прокопчина С.В. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО энергетика (издательства рост патента, об официальной программы для ЭВМ № 2004610246 от 19.02.2004)
2. Иванов . Т.А. Конференция «Интеллектуальная электроэнергетика. Автоматика и высоковольтное коммутационное оборудование» – 2010
3. Лукьянец А.А., Прокопчина С.В. Методология поддержки решений в управлении энергоснабжающими организациями на основе регуляризирующего байесовского подхода. – Томск некоммерческий фонд развития региональной энергетики 2006 г., – 353 стр.

¹Прокопчина Светлана Васильевна – доктор технических наук, профессор, Финансовый университет при Правительстве РФ, моб.: +7 915 203 13 45, email: svprokopchina@yandex.ru.