

АДАПТИВНОЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ СУБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТЕЙ МАЛЫХ ПОСЕЛЕНИЙ*

Ю. А. Крюков

*Кафедра распределенных информационных вычислительных сетей,
ГБОУ ВО МО «Международный университет природы,
общества и человека «Дубна»; kua@uni-dubna.ru*

Ключевые слова: интеллектуальные сети; конкурентная среда; однопроводные технологии передачи электроэнергии; оптоволоконные коммуникации; резонансные технологии; сети передачи данных; сети электроснабжения; цифровое неравенство.

Аннотация: Представлены разработки университета «Дубна», призванные объединить множество разрозненных кабельных сетей в единую высокоэффективную систему, обеспечить привлекательность инвестиций со стороны бизнеса и населения.

Введение

Одной из основных задач развития производственных сил страны является опережающее наращивание мощности электроэнергетического комплекса России. Курс на модернизацию основных фондов предприятий предполагает повышение выработки продукции на одного работающего путем снижения объемов ручного труда, автоматизации производственных процессов, то есть повышения энергоёмкости и эффективности производств. Одним из факторов, сдерживающих процессы модернизации, переоборудования производств остается отсутствие у большинства компаний очевидной коммерческой эффективности инвестиций в условиях роста тарифов на энергоносители (рис. 1).

Как и в предыдущие периоды в текущем году предполагается повышение тарифов на газ на 15 %, приближающее стоимость этого сырья к уровню цен на западном рынке, а стоимость электроэнергии вырастет за год на 11,5 %. При этом эффективность генерации и, что не маловажно, доставки электроэнергии потребителю в России находится на крайне низком уровне. По данным Федеральной сетевой компании (ОАО «ФСК ЕЭС») 15 % подстанций 6-10/0,4 кВ находится в неудовлетворительном состоянии, а более 40 % воздушных и масляных выключателей отработали свои сроки эксплуатации. По причине изношенности электросетей потери при транспортировке энергии достигают 20 – 30 % вместо обычных для Европы 6 – 8 %. Около 60 % электросетей и вовсе нуждаются в перекладке. Проблема не только в высоком уровне морального и физического износа основных электроэнергетических фондов. Наша страна заметно отстает от Европы и по ряду других показателей: надежности, экономичности, эффективности использования топлива, техническому уровню систем мониторинга [1].

* По материалам доклада на конференции «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах» (см. 2015. Т. 21, № 3).

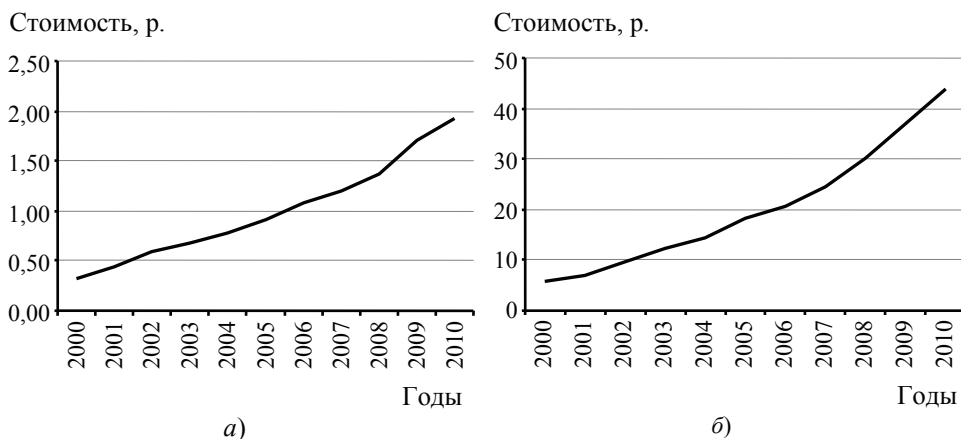


Рис. 1. Динамика роста тарифов (по данным Росстат):
a – электроэнергия в квартирах без электроплит, за 100 кВт·ч;
б – газ сетевой, за месяц с человека

Значительную долю инвестиций при создании новых производств в России составляют затраты на подключение к электросети, где цены формируются в условиях монопольного положения на региональном рынке энерготранспортных компаний, высокие издержек при производстве и передаче электроэнергии потребителям, ориентации на западно-рыночное ценообразование на углеводороды и электроэнергию. При этом необходимо учитывать разницу в климатических условиях и, соответственно, в коммунальных издержках на большей территории России в сравнении со странами западной Европы, Японии и Китая (рис. 2).

В результате можно сделать вывод – в условиях паритета цен на энергоносители, конкурентоспособность страны на мировом рынке при производстве продукции отечественными компаниями будет ниже даже при условии внедрения самого современного западного оборудования [2].

Высокие риски будущих периодов, связанные, в том числе, и с ежегодным существенным ростом цен на энергоносители, невозможностью достоверно просчитать окупаемость дорогостоящего оборудования в долгосрочной перспективе, заставляют компании жить «сегодняшним днем», эксплуатировать физически и морально устаревшие основные фонды, а строительство высокоэффективных производств начинать за рубежом.

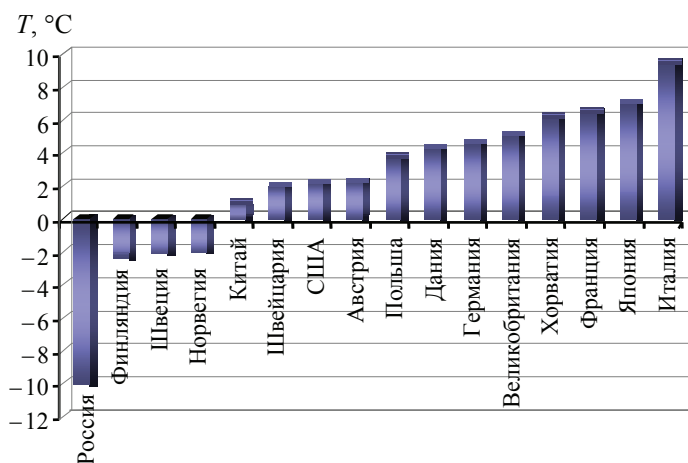


Рис. 2. Среднегодовая температура по территории стран

Обсуждаемая концепция развития электроэнергетики на основе крупных генерирующих станций [3], опирающихся на магистральные линии электропередачи с огромной протяженностью, не сможет обеспечить прорывное повышение динамики развития регионов страны. Инвестиции в строительство «умных распределительных сетей», являющиеся главным посылом концепции, призванным изменить ситуацию с надежностью и эффективностью электропередачи, непременно лягут тяжким бременем на потребителей в виде инвестиционной составляющей тарифов на период реализации в несколько десятилетий. Такое положение вещей ставит под сомнение саму возможность выполнения в обозримой перспективе планов по модернизации промышленности.

Существуют ли альтернативные решения по наращиванию мощности относительно более дешевой энергии? Усилиями западных энергетиков, ученых и властей мировая энергетическая отрасль выдвинула новую концепцию – интеллектуальные электроэнергетические системы Smart Grid – «умные сети», базовым элементом которых становятся возобновляемые (альтернативные) источники энергии. Понятие Smart Grid связывают с интеграцией модернизированных электроэнергетических систем с наложенными телекоммуникационными сетями и формированием на основе обмена информацией активных и адаптивных свойств распределительных сетей (например, самодиагностика и самовосстановление). Кроме того, акцент делается на переоборудовании сетей электропередачи с однонаправленной схемой, предназначенной для передачи электрической мощности от больших генерирующих установок до многочисленных потребителей, в двунаправленные системы. Концепция формирует возможность подключения и учета мощности многочисленных источников возобновляемой энергии, соединенных в единую информационную сеть и позволяющих оптимизировать генерацию и расход энергии в разное время суток. Массовое внедрение генерирующих мощностей альтернативной энергетики позволяет приблизить источники к объектам потребления и, тем самым, существенно снизить затраты на транспортировку. Предлагаемый подход позволяет создать на уровне муниципального образования конкурентную среду среди производителей электроэнергии, возместить дефицит мощностей в развитых регионах, значительно снизить ценовой порог входа в отрасль для новых генерирующих компаний.

Реализация подобного подхода в России не поддерживается существующей стратегией развития электроэнергетики и требует разработки нетрадиционных технологий, позволяющих представить строительство интеллектуальных сетей в виде высокоэффективного бизнеса, реализация которого возможна силами малых компаний с невысоким стартовым капиталом. Такие технологии должны аккумулировать в себе целый спектр прорывных идей позволяющих:

- начать строительство с уровня деревенской улицы;
- привлечь инвестиции населения для развития распределенных генерирующих мощностей и энерготранспортных сетей на муниципальном уровне;
- сформировать муниципальный рынок электроэнергии и обеспечить прозрачность формирования цены на основе информационных и телекоммуникационных систем;
- снизить общую стоимость создаваемой инфраструктуры и текущие эксплуатационные расходы;
- повысить доходность путем расширения спектра предлагаемых сетью услуг.

Телекоммуникационные технологии

Еще одной задачей современной России является устранение «цифрового неравенства». Проблема связана с существенным отставанием развития телекоммуникационных сетей за пределами крупных городов. Увеличение пропускной спо-

способности линий связи в основном реализуется прокладкой оптоволоконных коммуникаций, позволяющих транслировать данные со скоростью до сотен гигабит в секунду. Производительность таких линий на 2–3 порядка превышает максимально возможную пропускную способность других наземных коммуникаций, а также спутниковой и мобильной радиосвязи, что обеспечивает интеграцию в рамках единой оптоволоконной среды всех общественных и ведомственных сетей связи – телефонии, кабельного телевидения, Интернета, диспетчеризации лифтов, видеонаблюдения, технологических сетей и др.

Сложившаяся практика работы кабельных операторов связи показывает высокую коммерческую эффективность внедрения существующих оптоволоконных стандартов передачи данных при строительстве магистральных линий в густонаселенных городских районах с многоэтажной застройкой. При этом внутридомовые линии связи выполняются медными кабелями, позволяющими снизить временные затраты и стоимость подключения в расчете на одного абонента. Конкуренция в этой нише рынка чрезвычайно высока. Часто можно наблюдать ситуацию, когда в многоквартирном доме одновременно построены 5–6 кабельных сетей связи разных провайдеров, имеющих сопряжение между собой только на уровне Интернета и полностью дублирующих основные функции. Несмотря на очевидную избыточность, в конечном итоге выигрывает потребитель, который может выбрать наиболее качественную, полноценную и дешевую услугу. Стандартным становится и отсутствие платы за подключение к Сети, что приводит к высокой миграции пользователей от одного провайдера к другому, что в еще большей степени обостряет конкуренцию. В настоящее время не редкость, когда клиент в России получает услуги более богатые всевозможными сервисами и по меньшей цене, чем его коллега в развитых западных странах. При этом норма прибыли предприятий, работающих в сфере телекоммуникаций, остается более высокой, чем в ряде других отраслей промышленности, что говорит о высокой производительности труда, связанной с автоматизацией большинства рутинных процессов, высокой степенью внедрения технологий мониторинга и телеуправления сетевым оборудованием.

Однако в частном секторе городов и населенных пунктов России наблюдается прямо противоположная ситуация. Значительно более низкая плотность населения не позволяет использовать медные кабельные линии для высокоскоростного подключения абонентов в связи с большими междомовыми расстояниями. Использование же оптоволоконной магистрали с множественными ответвлениями приводит к существенно большим затратам при создании кабельной инфраструктуры, установке дорогого оптоволоконного оборудования в каждое домовладение, что в конечном итоге, ведет к формированию цены на кабельное подключение, неприемлемой для большинства жителей. Таким образом, сельское население страны находится в неравноправных социально-экономических условиях при подключении и эксплуатации высокоскоростных сетей передачи данных по отношению к населению городов. В результате, наибольшей популярностью там пользуются технологии мобильной связи с низкой ценой подключения, но с несоизмеримо меньшей скоростью передачи и высокой стоимостью интернет-трафика.

В целом же по стране наблюдаются тенденции к насыщению рынка услуг связи в густонаселенных районах, где за последние 3–5 лет произошло значительное снижение количества вновь вводимых в эксплуатацию сетей передачи данных, идут процессы слияния и поглощения крупными операторами более мелких. Однако, несмотря на очевидную коммерческую заинтересованность расширения имеющихся зон покрытия кабельными операторами, каких либо прорывных изменений ситуации с распространением высокоскоростных сетей связи в районах с низкой плотностью застройки не происходит. Незрелость сферы телекоммуникаций регионов является еще одним существенным фактором, сдерживающим экономическое развитие территорий России.

Интеллектуальная распределительная сеть передачи электроэнергии и данных

Исходя из анализа ситуации, складывающейся на региональных и муниципальных рынках электроснабжения и передачи данных, можно сделать вывод о неполном соответствии существующих технологических, организационных, экономических подходов к решению наиболее значимых проблем в энергетике и связи. Современное развитие общества и технологий требует внедрения новых решений традиционных задач, в большей степени соответствующих глобальным законам сохранения энергии, гармонизирующим развитие значимых отраслей экономики.

В этих условиях, с учетом задач по привлечению в отрасли инвестиций населения, созданию рыночных механизмов ценообразования, необходимо заново сформулировать набор требований, предъявляемых к любым территориально-распределенным кабельным сетям, обеспечивающим спектр современных услуг:

– технологические и организационные особенности развития кабельной системы должны обеспечивать возможности для *строительства сетей «снизу»*, с уровня муниципальных образований и районных центров. Только в этом случае возможно создать экономическую заинтересованность широкого круга населения во вложении собственных средств в создание и развитие высокотехнологичной инфраструктуры региона, начать масштабное переоснащение и модернизацию устаревающего оборудования и кабельных линий электропередачи, решить задачу качественного энергоснабжения малых населенных пунктов, предоставить современные высокоскоростные услуги связи;

– принципиальные, структурные и топологические схемы территориально-распределенных сетей должны обеспечивать *возможность обмена генерируемой мощностью в двух направлениях* не только на уровне магистральных линий, но и на уровне распределения. Данное требование необходимо для подключения в общую энергосистему объектов малой и альтернативной энергетики, находящихся в частной собственности компаний и населения. Это позволит наращивать совокупную мощность генерации экологически чистой электроэнергии на уровне страны без существенных материальных затрат со стороны бюджета и монополий с государственным капиталом, создаст условия снижения стоимости электроэнергии для конечного потребителя;

– передача электроэнергии по линиям должна обеспечиваться с повышением потребительских характеристик сетей – *значительным снижением металлоемкости линий* передачи для цветных металлов, *потерь на разогрев проводников, повышением травмо- и пожаробезопасности* при эксплуатации электросетей. Данное требование принципиально необходимо для снижения стоимости погонного метра линий электропередач и потенциальной возможности финансирования строительства линий на основе привлеченных населением средств с учетом параметров средних заработных плат в регионах России;

– трансляция потоков мощности вдоль кабельной системы должна *совместиться с высокоскоростной передачей данных*. Реализация этого требования позволит существенно повысить рентабельность эксплуатации таких интегрированных систем, поднять заинтересованность инвесторов в софинансировании работ, развивать и обслуживать единую кабельную систему для всего спектра услуг с минимальными затратами на создание и текущее обслуживание;

– существенно *снизить организационные издержки* компаний и населения не только при присоединении потребителей к сетям передачи электроэнергии для объектов нового строительства, но и при подключении к сетям генерирующих мощностей объектов альтернативной энергетики. Учитывая неразрывную зависимость развития производительных сил России от наличия на территории источников

энергоснабжения, данное требование позволит обеспечить дальнейший рост среднего класса населения – собственников оборудования генерации электроэнергии;

– обеспечить непрерывный и *дифференцированный учет выданной и потребленной электроэнергии* всеми участниками рынка. Требование позволит организовать автоматизированный выбор «умной» розетки наиболее приемлемого источника по заранее определенным параметрам (цене, мощности, надежности), осуществлять взаимные расчеты и платежи в условиях долевого обеспечения энергией потребителя от множества различных источников. Прозрачность осуществления расчетов является гарантией формирования зрелого ресурсного рынка;

– обеспечить *динамическое управление параметрами* сложно структурированной сети с присоединенными разнородными источниками и потребителями электроэнергии с целью оптимизации процессов перетока энергии и сокращения технических потерь. Оснащение генераторов и электрических розеток высокопроизводительными контроллерами управления и мониторинга, объединенными оптоволоконной магистралью, позволит создать эффективную распределенную цифровую систему централизованного управления распределительной сетью в целом.

На первый взгляд некоторые из сформулированных требований противоречат друг другу. Например, требование по снижению стоимости погонного метра сетей несовместимо с интеграцией функций передачи электроэнергии и данных, оснащением каждой электрической розетки программируемым вычислительным устройством, формированием двунаправленного перетока электроэнергии. А строительство сетей «снизу», со случайно возникающими связями без предварительного проектирования (ячеистая топология, применяемая при строительстве линий Интернет) противоречит требованию динамического управления многочисленными электрическими параметрами в централизованной системе, резко усложняет организацию динамического учета в долевым энергообеспечении потребителя. Однако, новые подходы к передаче электрической энергии, применение новых конструктивных решений при создании электрораспределительных сетей позволяют дать положительный ответ на вопрос о возможности обеспечения всех вышеизложенных требований в рамках одной кабельной системы. Причем начало строительства таких сетей возможно не в замен, а параллельно с ныне существующими сетями.

Все новое – хорошо забытое старое. В работах Н. Тесла [4] предложен метод передачи активной мощности с помощью реактивного емкостного тока использованием резонансных свойств однопроводной линии, изготовленной из металлического проводника. Этот метод был незаслуженно забыт по причине сложной организации управления резонансными характеристиками линии на основе доступной на тот момент элементной базы. Значительный прогресс по снижению стоимости и одновременному росту производительности однокристальных микропроцессорных систем позволяет строить резонансные системы электропередачи с учетом экономической эффективности. Подходы к конструктивным решениям, используемым при строительстве интеллектуальных систем передачи электроэнергии разработаны в Международном университете природы, общества и человека «Дубна» и защищены соответствующими патентами.

Конкурентоспособность используемых технологий однопроводной передачи электрической энергии обеспечивается более высоким КПД передачи из-за малых потерь на поглощение и излучение энергии. Проводящий канал на основе силового стального компонента стандартного оптоволоконного кабеля в резонансном режиме имеет квазисверхпроводящие свойства. Объяснением этого эффекта является отсутствие активного тока в проводнике с низкой удельной проводимостью и доминирующей ролью в передаче энергии токов смещения, для которых закон

Джоуля–Ленца не выполняется. Ток высокочастотного преобразователя расходуется на потери в проводах цепи питания и сердечнике трансформатора Тесла, которые составляют менее 2 % и на создание реактивного тока в проводящем канале линии. В режиме резонанса напряжений потери от прохождения емкостного зарядного тока через активное сопротивление проводящего канала самой линии ничтожно малы. Использование телекоммуникационной инфраструктуры на основе оптоволоконного кабеля позволяет интегрировать в единой системе передачу электрической энергии и данных, предоставить потребителю значительную электрическую мощность с малыми потерями при передаче, значительно увеличить длину линии без установки повышающих подстанций.

Первая интеллектуальная система передачи электрической энергии и данных развернута на территории кампуса университета «Дубна» в июле 2011 года и с момента запуска эксплуатируется в непрерывном режиме. Система прошла тестирование в условиях аномально высоких температур летнего периода, в условиях дождей, множественных переходов нулевой отметки температур при высокой влажности воздуха осенью, а также низких температур, наледи в зимний период и показала высокую эффективность и надежность электроснабжения. Система построена на основе оптоволоконного кабеля со стальным несущим тросом, подвешенным на столбах освещения территории университета. Потребители электроэнергии – светильники уличного освещения, видеокамеры, точки беспроводного доступа Wi-Fi подключаются собственными оптическими волокнами к серверам мониторинга, биллинга, управления и обеспечиваются электропитанием на основе цифровых подстанций, формирующих прохождение емкостного зарядного тока вдоль трассы прокладки кабеля. Модульные преобразователи, необходимые для питания устройств, рассчитанных на стандартные сети электропитания, снабжены контроллерами автономного и дистанционного управления параметрами работы при формировании устойчиво резонансных колебаний в линии. Программное обеспечение систем мониторинга и управления, предназначенное для сбора и хранения текущих параметров энергоснабжения и формирования управляющих команд, разрабатывается с учетом возможности работы в режиме распределенных вычислений в случае потери связности с сервером. Свободные оптические волокна кабеля используются для объединения сетей различных зданий университета в единую сеть передачи данных, телефонии, видеонаблюдения, системы контроля и управления доступом.

Выводы

Положительные результаты эксплуатации тестового полигона на территории университета «Дубна» дают основания предполагать, что дальнейшее развитие технологий интегрированной передачи электроэнергии и данных позволит открыть новую страницу в формировании эффективной и широко востребованной инфраструктуры обмена энергией и информацией в современной России.

Список литературы

1. Большаков, Б. Е. Закон природы или как работает Пространство–Время / Б. Е. Большаков ; Рос. акад. естеств. наук, Междунар. ун-т природы, общества и человека «Дубна». – М. – Дубна : [б. и.], 2002. – 328 с.
2. Кузнецов, О. Л. Устойчивое развитие: Научные основы проектирования в системе природа – общество – человек / О. Л. Кузнецов, Б. Е. Большаков. – СПб. : Гуманистика, 2002. – 615 с.

3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс] : утв. Правительством Рос. Федерации 13 нояб. 2009 г. // Министерство энергетики Российской Федерации : офиц. сайт. – Режим доступа : <http://minenergo.gov.ru/aboutminenergo/energostrategy/> (дата обращения 19.11.2015).

4. US Pat № 349621 Apparatus for Transmission of Electrical Energy / N. Tesla. – 15.05.1900.

Adaptive Multiple Criteria Decision Making Based on the Subject-Oriented Approach to the Design of Networks of Small Settlements

Yu. A. Kryukov

*Department of Distributed Information Networks;
Dubna International University of Nature, Society and Man;
kua@uni-dubna.ru*

Keywords: competitive environment; data transmission networks; digital divide; Smart Grid; electric power supply networks; fibre-optic communication; power transmission, resonance technologies; single-wire technology.

Abstract: The concept of construction of electric power transmission systems has been applied in practice for more than 100 years. Innovations in the modernization of the elements of the existing technologies provide little effect and are not able to radically improve the situation in the aging electric power industry, create a competitive environment among providers. Low efficiency of energy complex inhibits the pace of modernization of the industry and sphere of services. The developments "Dubna" of university are designed to combine disparate cable networks into a single high-performance system, to ensure the attractiveness of the investment for businesses and general public.

In July 2011 on the territory of the "Dubna" University campus the first intelligent system of electric energy and data transfer was deployed; it has been continuously operated since it was launched. The network segment of the resonance system of electric energy and data transfer as a medium uses a standard fiber optic cable which can be several tens kilometers long. Resonance generators (RG) transduce active power of multiple geographically distributed electrical energy power sources such as solar panels, wind turbines, mini hydroelectric power stations, hydrogen generators, tidal power plants, electric energy storage devices. RG can be connected both to power metal components of the fiber optic cable and to the data optic fibers of the same cable by means of the optic couplers. Similarly, multiple receivers-rectifiers (RR), also equipped with microprocessor system of data processing ("intelligent socket" device), are connected to the resonance data transfer system. The data space of the network segment maintains the billing and monitoring server, and reports of the instant values of the electric power generated by each of the connected RG during some time interval as well as values of the power consumed by the RR equipment duty cycle are regularly entered into the database of this server. The system is administrated by the operator who has access to the equipment via the Internet.

References

1. Bol'shakov B.E. *Zakon prirody ili kak rabotaet Prostranstvo-Vremya* (The law of nature, or how the space-time), Moscow, 2002, 328 p.

2. Kuznetsov O.L., Bol'shakov B.E. *Ustoichivoe razvitie: Nauchnye osnovy proektirovaniya v sisteme priroda-obshchestvo-chelovek* (Sustainable Development: Scientific basis for designing the system of nature-society-man), St. Petersburg: Gumanistika, 2002, 615 p.

3. <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/> (accessed 19 November 2015).

4. Tesla N. *Apparatus for transmission of electrical energy*, 15.05.1900, US Pat. № 349621.

Adaptive vielkriteriale Beschlussfassung aufgrund des subjektorientierten Herangehens bei der Projektierung der Netze der kleinen Siedlungen

Zusammenfassung: Die Konzeption der Konstruktion der Systeme der Sendung der Elektroenergie wird mehr als 100 Jahre in der Praxis verwendet. Die Neuerungen bei der Modernisierung der Elemente der existierenden Technologien geben den kosmetischen Effekt und sind radikal nicht fähig, die Situation in der alternden Elektroenergetik zu verbessern, die Konkurrenzumgebung unter den Lieferanten zu schaffen. Die niedrige Effektivität des energetischen Komplexes hält das Tempo der Modernisierung der Industrie und der Sphäre der Dienstleistungen zurück. Die Entwicklungen der Universität "Dubnas" sind gerufen, eine Menge der vereinzelt Kabelnetze ins einheitliche hocheffektive System zu vereinigen, die Attraktivität der Investitionen seitens des Business und der Bevölkerung zu gewährleisten.

Prise des décisions adaptatives et à plusieurs critères à la base de l'approche subjective orientée lors de la conception de réseaux des petites colonies

Résumé: La conception de la construction de systèmes de transmission d'énergie est appliquée en pratique plus de 100 ans. Les innovations lors de la modernisation des éléments des technologies existantes donnent un effet cosmétique et ne sont pas capables d'améliorer radicalement la situation dans l'électroénergétique vieillissante, de créer de la concurrence parmi les fournisseurs. La faible efficacité du secteur de l'énergie freine le rythme de la modernisation de l'industrie et des services. Les élaborations de l'université «Dubna» ont pour but de regrouper un ensemble disparate de réseaux de câbles dans un très efficace système, d'assurer l'attractivité de l'investissement de la part des entreprises et de la population.

Авторы: *Крюков Юрий Алексеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры распределенных информационных вычислительных сетей, проректор по информатизации и инновационной деятельности, ГБОУ ВПО МО «Международный университет природы, общества и человека «Дубна» (государственный университет «Дубна»), г. Дубна.

Рецензент: *Чернышова Татьяна Ивановна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», директор института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».