

УДК 621.924

Д.И. Вороненко

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫМИ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

В статье рассмотрены разработанные методические и архитектурные принципы применения автоматизированной системы управления региональной энергосистемой и корректирования схемы питания подстанций региональной или городской электросети, позволяющие улучшить эффективность оценки ежедневной ситуации за счет улучшенной прогностической информации о спросе на ЭЭ. В предлагаемой системе используется уникальный блок поддержки принятия решений на базе прогностических моделей связанного энергопотребления.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, региональная энергосистема, поддержка принятия решений, электропотребление, автоматическое управление, прогнозирование.

### Введение

Автоматизированная система диспетчерского управления ОЭС Украины имеет два основных уровня иерархии: центральное диспетчерское управление ОЭС Украины, и центральные диспетчерские службы региональных электроэнергетических систем. Ниже этих уровней находятся пункты оперативного управления городскими энергосистемами, электростанциями, предприятиями электрических сетей и районами электрических сетей.

Функционирование региональной или муниципальной системы электро- и теплоснабжения, если не прямо, то косвенно сказывается на успешности функционирования сотен промышленных предприятий, тысяч коммерческих организаций, а также на качестве жизни сотен тысяч простых граждан. Только две первые из названных групп остаются более-менее управляемыми в текущих условиях при помощи стандартных методов. Что же касается третьей группы – бытовых потребителей, то здесь требуются особые подходы к системам управления для обеспечения системных и эффективных управленческих решений.

Автоматизированное управление региональными энергосистемами жилых массивов на муниципальном уровне является актуальной задачей, решения которой позволит достичь экономии топливно-энергетических ресурсов, предотвратить внештатные ситуации и улучшить качество обеспечения электричеством населения. Решению данной задачи посвящено множество зарубежных и отечественных публикаций [1, 2].

Объектом исследования в данной работе являются управляемые процессы потребления электрической и тепловой энергии в коммунально-бытовом секторе (КБС).

Для исследования управляемых процессов энергопотребления в КБС применительно к г. Харькову, наиболее целесообразно рассматривать энер-

гопотребление следующих жилых массивов г. Харькова: Алексеевского, Салтовского и Павлово Поле, которые содержат на своей территории минимальное количество промышленных потребителей (по сравнению с другими районами города) и потребляют тепловую энергию от одной ТЭЦ, а именно, от Харьковской ТЭЦ-5.

К основным особенностям энергосистемы, снабжающей вышеуказанные спальные районы города Харькова, относятся:

- высокий уровень непромышленного электропотребления (до 80%) и, как следствие, высокая неравномерность суточных графиков нагрузок;
- в связи с изменениями климата и увеличением количества кондиционеров, с каждым годом происходит выравнивание зимних и летних максимумов, в связи с чем имеет место определенная сложность планирования планово-предупредительных ремонтов оборудования;
- зависимость нагрузки от погоды: в наиболее жаркие/холодные дни изменение температуры на 1° С приводит к изменениям суточных максимумов до 6%, что обуславливает определенные трудности прогноза суточных графиков даже в пределах текущих суток;
- по причине преобладания бытового потребления имеет место высокая скорость изменения потребления в часы утреннего и вечернего подъемов нагрузок и вечернего снижения нагрузок (до 25% суточного максимума в час), порождая проблемы управления частотой и мощностью.

Отмеченные особенности, а также некоторые социальные и экономические факторы определяют пути развития автоматизированного управления муниципальной энергосистемой в районах с преобладанием КБС.

Базой системы управления региональной энергосистемой должна являться мощная система сбора данных реального времени (ССДРВ) и комплекс обслуживающих программ обработки поступающей информации, управления объектами системы, кон-

троля исполнения команд управления, анализа состояния системы, ее визуализации, хранения всей поступающей информации и результатов обработки.

Такая система может быть представлена следующими основными элементами:

- 1) устройства и средства сбора/приема/передачи информации на объектах системы;
- 2) система сбора данных реального времени;
- 3) набор устройств и средств отображения состояния системы с блоком анализа состояния системы;
- 4) комплекс средств управления объектами энергосистемы, включая управление частотой и мощностью;
- 5) интеллектуальное ядро с блоком прогнозирования энергопотребления и планирования режимов, с последующим выбором состава работающих агрегатов и/или промышленных потребителей-регуляторов для упреждающего воздействия;

Полноценная реализация первого и второго элементов системы являются масштабными по своей сути и стратегической важности. Аппаратная база и способы их реализации хорошо известны и основными вопросами, требующими детальной проработки при их реализации, являются организационные и экономические моменты.

Отметим только, что с точки зрения теории систем управления и практики построения региональных энергосистем в других странах, важнейшей концепцией построения системы автоматического управления, позволяющей снизить или даже переместить на другой, более низкий уровень сложности такие основополагающие задачи управления, как надежность, экономичность и безопасность, является как минимум – полнота и как норма – избыточность информации о системе в реальном времени. Подобная концепция может быть реализована возможностью получения ССДРВ максимально возможного количества информации, включая положения всех коммутационных аппаратов до уровня линий, отходящих от шин низкого напряжения подстанций; изменения состояний пусковых и выходных органов всех защит и устройств автоматики; положения отпаек трансформаторов; сообщения о нарушениях (близости к пределам) некоторых параметров эксплуатации оборудования (токов, напряжений, реактивных мощностей генераторов в соответствии с их характеристиками; температур и др.), наличие персонала на необслуживаемых объектах и др.

Реализации такой системы сбора информации требует больших капиталовложений и организационных усилий [3]. Однако направление в сторону автоматизации сбора информации, заложенное еще в 90-х годах реализацией Харьковоблэнерго АСКУЭ, продолжает, пусть и медленно, но развиваться в Харьковской области, включая расширение и повышение надежности каналов передачи данных, ввод в эксплуатацию новых устройств учета как на уровне линий и подстанций средствами Харьковоблэнерго, так и на уровне многоэтажных домов средствами за-

стройщиков. Данные факты позволяют уже сейчас разрабатывать системы автоматического управления с учетом достаточности собираемых данных.

Третий и четвертый элементы системы представляют собой комплекс диспетчерского управления, который должен позволять в реальном времени:

- контролировать уровни токов всех видов коротких замыканий;
- оптимизировать режим системы по реактивной мощности;
- анализировать результаты возможных аварий – списки аварий (отключений линий, трансформаторов связи) могут предварительно готовиться службой режимов;
- формировать ограничения по условиям перетоков по линиям/ автотрансформаторам и в сечениях сети для задачи оптимального распределения нагрузок.

Здесь отметим только, что текущим системам диспетчерского управления не достает большей визуализации состояния системы, простоты извлечения из архивов аналогичных ситуаций (и их последствий) для быстрого принятия решения диспетчером и, возможно, достаточно простых по набору правил экспертных систем, которые являются советчиками диспетчера, а также контролируют и автоматически блокируют заведомо ложные действия диспетчера (случайные ошибки, человеческий фактор и т.п.). Такие правила будут очень сильно зависеть от каждой конкретной энергосистемы и правилам возможных одновременных состояний ее элементов (выключателей, разъединителей, заземляющих аппаратов и т.п.). Кроме того, эти элементы сконцентрированы в основном на управлении в реальном времени.

Пятый же элемент является основой системы автоматического управления, его реализация не требует масштабных, пространственно разнесенных мероприятий, установка системы требуется в единственном экземпляре в центральном офисе. Принципы построения такого интеллектуального ядра будут одинаковыми для всех крупных городов Украины. Поэтому данная работа посвящена именно этому элементу системы автоматического управления муниципальной энергосистемой.

Понимая масштабность поставленной задачи, на первом этапе она рассмотрена со следующими ограничениями:

- рассматривается районная (городская) энергосистема;
- рассматривается только задача автоматизированного управления на основе суточного прогнозирования, как основа для принятия оперативных решений на региональном уровне.

В данной работе предложена архитектура и распределение ролей для информационной системы автоматизированного управления энергосистемой регионального уровня, работающего на единой информационной основе. Система предназначена для

информационной поддержки краткосрочного управления региональной энергосистемой, так как именно этот уровень, во-первых, требует взаимосвязи нескольких участников энергорынка и местного самоуправления на региональном уровне, во-вторых, в отличие от долгосрочного планирования, не обладает большим временным горизонтом для принятия решения (тем более, что долгосрочное планирование является прерогативой более высоких уровней управления) и в-третьих, в отличие от оперативного, не является реакцией на непредвиденные или относительно несложные ежеминутные изменения, а также позволяет экономить значительные средства на местном уровне за счет более качественного анализа, прогнозирования и интеллектуальной поддержки принятия ежесуточных решений и плановых корректировок. Данная работа является частью комплексного исследования по построению предиктора связанного потребления электрической и тепловой энергии на нужды отопления жилых массивов города, используемого при моделировании и управлении региональным энергопотреблением [4].

### **Информационная система автоматического управления муниципальной энергосистемой в региональном координационном центре**

Преыдушие исследования по созданию прогностических моделей специально адаптированных для применения в системах автоматического управления регионального уровня показали высокую точность прогностических моделей как регрессионного типа на базе нейросетей типа многослойный перцептрон (МСП), так и классификационного типа на базе нейросетей каскадной корреляции Фалмана [5].

Предиктор энергопотребления жилого массива города, разработанный для спальных городских районов, обслуживаемых Харьковской ТЭЦ, описывается следующим выражением:

$$W'(t+1) = NN \left( \begin{matrix} \rho(t+1), \gamma(t+1), \underline{T}'(t+1), \overline{T}'(t+1), \\ \underline{T}(t), \overline{T}(t), Q'(t+1), Q(t), W(t) \end{matrix} \right), \quad (1)$$

где  $t$  – индекс текущего дня;  $\rho$  – показатель продолжительности светлого времени суток;  $\gamma$  – тип дня недели;  $\underline{T}'$  – прогноз минимальной ночной температуры;  $\overline{T}'$  – прогноз максимальной дневной температуры;  $\underline{T}$  – фактическая минимальная ночная температура;  $\overline{T}$  – фактическая максимальная дневная температура;  $Q'$  – планируемый отпуск тепла жилому массиву;  $Q$  – потребление тепловой энергии жилым массивом;  $W$  – потребление электрической энергии;  $W'$  – прогноз потребления электрической энергии;  $NN(\cdot)$  – выполняемое нейронной сетью функциональное преобразование вход-выход.

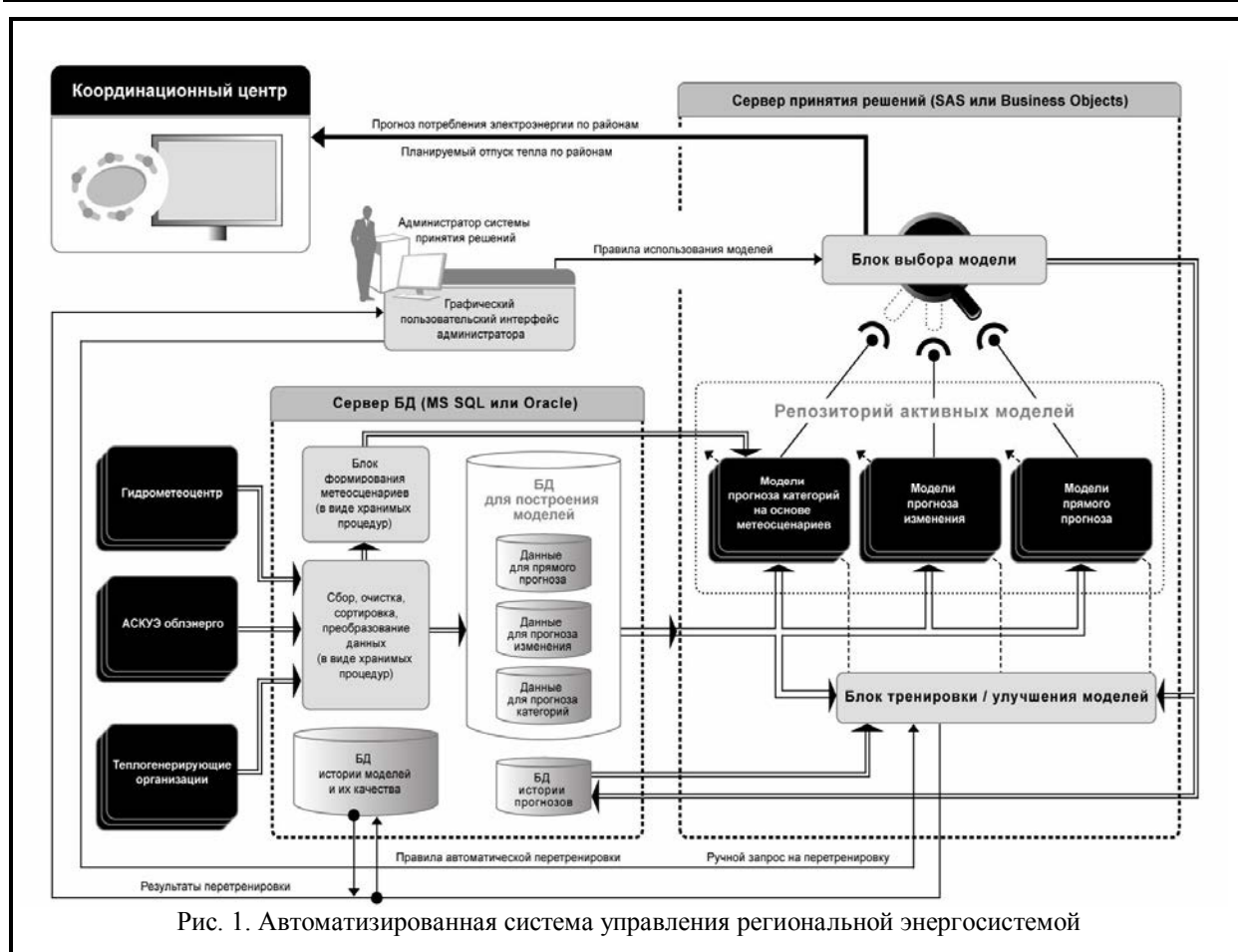
Высокая точность данных предикторов позволяет перейти на следующий уровень автоматизации и разработать методические и архитектурные принципы применения указанных моделей в работе комплекса управления энергосистемой, как для отображения на экране компьютера для поддержки принятия решений региональным координационным центром (краткосрочное планирование и оперативное управление), так и для автоматического регулирования нагрузки источников электроснабжения (автоматическое управление).

Для повышения устойчивости, надежности, горизонтальной и вертикальной расширяемости автоматизированной системы предлагается использовать два сервера: сервер баз данных, использующий СУБД MSSQL или Oracle; и сервер принятия решений (или сервер приложений), который может быть в относительно короткий срок настроен при условии использования в качестве основы для организации информационных и управляющих потоков серверного программного обеспечения компании SAS или стандартной системы создания бизнес-процессов компании Business Objects (дочерняя компания SAP). В случае выбора решения от SAS более простым будет организовать репозиторий моделей, ежедневную работу с моделями и их периодическую адаптацию и улучшение. В случае выбора решения от Business Objects более просто и эффективно можно будет организовать информационные потоки, систему отчетности и пользовательский интерфейс для пользователей автоматизированной системы.

Для максимального удешевления автоматизированной системы всю ее программную часть можно создать на одном сервере, где на платформе Linux установить СУБД Oracle и, используя средства программирования Oracle, организовать репозиторий моделей, бизнес потоки и отчетность. Для перетренировки моделей можно использовать программное обеспечение, созданное в рамках данной работы.

Потоки данных в автоматизированной системе будут организованы следующим образом. Данные из трех основных источников: Гидрометеоцентра, АСКУЭ Облэнерго и систем сбора телеметрической информации теплогенерирующих предприятий будут поступать в блок очистки, сортировки и преобразования данных, который будет организован как набор хранимых процедур на сервере БД.

Подготовленные данные будут подаваться в блок формирования метеосценариев для преобразования метеоданных в базовые метеосценарии по методике описанной в [6]. Также подготовленные данные будут передаваться в БД для построения моделей, которая организована как три отдельных хранилища, по одному для каждого типа моделей: прямой прогноз, прогноз изменения и прогноз категорий. Предварительная подготовка и обработка данных для каждого типа моделей должна осуществляться согласно методологии описанной в [6].



Получение новых данных (по умолчанию система работает ежесуточно, однако может быть настроена на работу с любой периодичностью) автоматически инициирует их подготовку и распределение, после чего подготовленные данные поступают на вход активных прогнозных моделей. Активные модели хранятся в репозитории активных моделей, расположенном на сервере принятия решений. Для каждого теплофикационного района города создается и хранится по три модели каждого типа.

Согласно правилам использования моделей, задаваемых администратором системы, блок выбора моделей определяет какие типы моделей для каждого из районов города необходимо активировать для получения соответствующего прогноза. Затем блок автоматически начинает выполнять операцию по прогнозированию спроса на электрическую энергию на новые сутки (или другой заданный в правилах период времени) для каждого из районов.

При каждом получении новых данных также автоматически инициируется работа блока тренировки и улучшения моделей. Данный блок проверяет, подтвердились ли за прошедшие сутки прогнозы, сделанные активными моделями накануне, для чего извлекает данные из БД истории прогнозов. Для каждой активной модели, если спрос на электроэнергию был спрогнозирован правильно, т.е. в пределах установленной погрешности, делается вывод,

что нейронная сеть данной модели не нуждается в дополнительной тренировке, и блок завершает свою работу. Если точность прогноза недостаточна, и необходима перетренировка модели, то блок начинает цикл тренировки по известным примерам потребления, а также новым эпизодам, поступившим в БД для построения моделей после последней тренировки данной модели.

Затем, согласно правилам, установленным администратором системы, блок загружает новые модели в репозиторий активных моделей на место предыдущих. Простейшим правилом может быть просто условие улучшения качества модели. При этом предыдущие модели, вместе со статистическими результатами их работы, сохраняются в БД истории моделей и их качества. Таким образом, все модели-чемпионы и их показатели хранятся для дальнейшего анализа, как эффективности работы системы, так и возможных ошибок администратора или неточностей в построении правил работы с моделями.

Одновременно прогнозные данные накапливаются в БД прогнозов.

Основным рабочим местом системы является рабочее место администратора автоматизированной системы. Используя графический пользовательский интерфейс, администратор решает следующие задачи:

- задает и управляет правилами использования моделей;

- задает и управляет правилами тренировки и улучшения моделей;
- оценивает результаты работы активных моделей и их истории;
- постоянно адаптирует под новые социально-экономические условия текущие модели и правила работы с ними;
- по запросу из координационного центра предоставляет нестандартные или комбинированные виды прогнозов, для чего может в ручном режиме тренировать и запускать модели;

Следующим по важности является рабочее место сотрудника регионального координационного центра, который анализирует полученные прогнозы и корректирует планы распределения электрических и тепловых мощностей по районам или представляет полученные прогнозы для анализа ежедневным собранием координационного центра, которое и принимает окончательные решения.

В настоящее время, используя средства проведения удаленных собраний, таких как Microsoft Net-Meeting или Skype, возможно в видеорежиме проводить такие собрания виртуально, при этом в таких ежедневных собраниях могут принимать участие топ-менеджеры ключевых организаций регионального ТЭК. При правильной организации и удобном графическом представлении результатов прогноза (с использованием карты и сравнительных графиков) такие собрания могут занимать 10–20 минут. При этом степень координации между региональными генерирующими, распределяющими и снабжающими предприятиями энергетики региона, а также и регулируемыми организациями ТЭК значительно повысится. Значительно увеличится скорость и синхронность совместной реакции на возможные критические ситуации в энергообеспечении региона. Все это позволит значительно повысить эффективность работы регионального ТЭК.

Сокращение времени принятия решения, а также возможность автоматизировать принятие решений в некоторых случаях особенно просто и практически прозрачно достигаются при прогнозировании категории изменения энергопотребления. Благодаря тому, что прогноз выдается как прогнозируемый тип изменения спроса, лицам, принимающим участие в ежедневном собрании координационного центра, нет необходимости помнить точные цифры, допуски и границы потребления по каждому району. Используя тип изменения спроса, координационный центр (или даже на более низком уровне – диспетчер энергогенерирующего предприятия) способен быстро установить необходимую последовательность действий, которую нужно выполнить, во избежание потерь эффективности или надежности энергоснабжения региона.

Если в результате прогнозирования будет выбрана одна из категорий группы положительных приростов спроса на электроэнергию, нужно или увеличить генерацию, если это возможно и экономически обос-

нованно, или связаться с потребителями-регуляторами и предупредить их о необходимости уменьшения объемов собственного энергопотребления на определенное время. В зависимости от уровня положительного прироста и других местных экономических, социальных и политических факторов, известных участникам координационного центра, они выбирают тип и количество регуляторов-потребителей, которым необходимо будет снизить потребление. Данное решение может быть задано в виде набора правил, т.е. конечное решение будет автоматически предлагаться для утверждения и за него необходимо будет только проголосовать или изменить его с учетом уникальности ситуации.

В простейшем случае прогнозируемые типы изменений спроса могут отображаться в виде текстовых сообщений, например: «Прогнозируется значительное увеличение электропотребления в бытовом секторе – можно компенсировать крупными регуляторами-потребителями. Доступны следующие варианты компенсации: а) ... б) ... и т.д.». Второй вариант отображения представляет собой вывод набора прямых указаний к действиям, например: «Предупредить потребителя-регулятора А о необходимости снизить электропотребление завтра на такую-то величину».

Прямо противоположная ситуация будет происходить, если в результате прогнозирования будет выбрана одна из категорий сигнализирующих об уменьшении спроса в коммунально-бытовом секторе. В этом случае согласно предложенных системой вариантов необходимо будет связаться с промышленными потребителями-регуляторами и предупредить их о необходимости увеличения объемов собственного энергопотребления на определенное время.

Вторым вариантом использования предложений системы является «режим опытного диспетчера», когда входная информация используется для создания более сложных комбинаций решений. В этом случае на основе прогноза нагрузок решаются задачи:

- выбора составов работающих агрегатов и оптимального распределения нагрузок с учетом появляющихся ограничений (здесь в будущем возможно включение дополнительного блока оптимизации на основе методов Ньютона-Рафсона и Гаусса или генетических алгоритмов);
- разрешений заявок по текущим плановым и внеплановым отключениям (результаты передаются службам, организующим и выполняющим соответствующие работы);
- рекомендаций диспетчерской службе в случае "особых" режимов.

С учетом того, что до 80% потребителей данной системы – это коммунально-бытовое потребление, в котором преобладающие нагрузки – термостатированные системы кондиционирования, нагрева, охлаждения, возможно также понижение напряжения электричества для краткосрочной компенсации недостатка генерирующих мощностей, но только для случаев предотвращения полного отключения бытовых районов и под-районов.

Согласно текущей ситуации при конкретном внедрении автоматизированной системы могут создаваться дополнительные рабочие места для диспетчеров или энергоменеджеров генерирующих компаний, Облэнерго и чиновников соответствующих структур местных органов власти, в которых перечень, вид и формат отображаемой информации будут ограничены соответствующими районами и полномочиями конкретных организаций.

### Выводы

Определенная новизна предлагаемой технологии автоматического управления региональной энергосистемой, состоит, по нашему мнению, в:

- Разработке методических и архитектурных принципов применения автоматизированной системы управления региональной энергосистемой и корректирования схемы питания подстанций региональной или городской электросети; такая система позволяет улучшить эффективность оценки ежедневной ситуации за счет улучшенной прогностической информации о спросе на ЭЭ.

- использовании в системе уникального блока поддержки принятия решений, который может функционировать при определенных условиях и как полностью автоматическая система, на базе прогностических моделей связного энергопотребления, что сможет обеспечить эффективную работу регионального координационного центра при ежедневном анализе и управлении ситуацией в региональном ТЭК.

- интеллектуализации моделирования объекта при помощи трех различных типов прогнозирующих моделей;

- полноте и наглядности отображения информации для управляющего и диспетчерского персонала, включая прямую трансляцию прогноза в необходимые действия;

- надежности работы средств прогнозирования на основе зашумленной или неточной информации за счет блока очистки входной информации, а также использования метеосценариев вместо прямого метео-прогноза;

- возможности создания на такой информационной базе централизованной автоматизации, позволяющей более полно, чем локальные устройства, решать задачи управления.

- универсальности системы, т.е. возможности использования предложенной системы диспетчерским персоналом служб контроля и управления энергопотреблением в ТЭЦ и других энергообеспечивающих компаниях для повышения экономической эффективности их работы.

В целом, с учетом вышеуказанных факторов, возможно обеспечить более надежное, социально-ответственное, экономичное и безопасное управление региональной энергосистемой.

Использование предложенных методик в ТЭК Украины приведет к значительной экономии средств и повысит эффективность оперативного управления региональными энергосистемами.

### Список литературы

1. Воропай Н.И. Методы управления физико-техническими системами энергетики в новых условиях / Н.И. Воропай, Н.Н. Новицкий и др. – Н-ск: Наука, 1995. – 335 с.
2. Баринов В.А. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / В.А. Баринов, А.З. Гамм и др. – М.: МЭИ, 2000. – 648 с.
3. Гамм А.З. Методы решения задач реального времени в электроэнергетике / А.З. Гамм, Ю.Н. Кучеров. – Н-ск: Наука, 1991. – 272 с.
4. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г.К. Вороновский. – Х.: Изд-во «Харьков», 2002. – 240 с.
5. Вороненко Д.И. Использование каскадных нейросетей Фалмана для прогнозирования связного потребления электричества и тепла / Д.И. Вороненко // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2004. – № 43, т. 1. – С. 93–97.
6. Вороненко Д.И. Классификация метеорологических сценариев для использования в предикторах энергопотребления жилых массивов города. Проблемы региональной энергетики / Д.И. Вороненко. – АН Республики Молдова, Институт Энергетики, 2008, – №3(8).

Поступила в редколлегию 22.03.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.М. Любчик, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

### НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ КЕРУВАННІ РЕГІОНАЛЬНИМИ ЕНЕРГОСИСТЕМАМИ

Д.І. Вороненко

*Розглядаються методологічні та архітектурні принципи використання автоматизованої системи керування регіональною енергосистемою. У запропонованій системі використовується унікальний блок підтримки ухвалення рішень на базі прогностичних моделей зв'язного енергоспоживання.*

**Ключові слова:** автоматизована система управління, регіональна енергосистема, підтримка ухвалення рішень, електроспоживання, автоматичне управління, прогнозування.

### NEW TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED CONTROL OF REGIONAL ENERGOSYSTEMS

D.I. Voronenko

*Methodological and architectural principles for application of automated control of regional energosystems are considered. In the offered system the unique block of support of making a decision is utilized on the base of prognostic models of coherent energy consumption.*

**Keywords:** automated control the system, regional grid, support of making a decision, electro-consumption, automatic control, prognostication.