

УДК 65.012.122
ББК 32.817

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Бурков В. Н.¹, Губко М. В.², Новиков Д. А.³
(Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления РАН, Москва)

Описываются возможности применения результатов теории управления организационными системами к разработке и внедрению эффективных механизмов управления предприятиями электроэнергетической отрасли России. Показывается, что применение механизмов управления организационным поведением на всех этапах взаимодействия участников энергетической системы позволяет повышать эффективность функционирования энергосистемы в целом и решать такие важные задачи, как точное оперативное прогнозирование потребления электроэнергии, гармонизация пиковых нагрузок, управление спросом и распределенной генерацией, совместное инвестирование в инновации и развитие.

Ключевые слова: теория управления организационными системами, механизмы управления, электроэнергетика, управление развитием, инновации в управлении.

¹ Владимир Николаевич Бурков, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией (vlab17@bk.ru).

² Михаил Владимирович Губко, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (mgoibko@mail.ru).

³ Дмитрий Александрович Новиков, доктор технических наук, профессор, член-корр. РАН, заместитель директора (novikov@ipu.ru).

1. Введение

Энергетическая политика Российской Федерации направлена на наиболее эффективное использование природных ресурсов и потенциала энергетического сектора для роста экономики и повышения качества жизни населения [8]. Успешное решение этих задач невозможно за счет только экстенсивного наращивания мощностей и объемов энергетического и электротехнического оборудования, каким бы привлекательным ни казался этот путь многим руководителям. Необходима коренная модернизация технологий управления – переход к интеллектуальной энергетике.

Одной из основных черт новой энергетики является повышение гибкости управления энергетической системой, обеспечение ее способности быстро и эффективно приспосабливаться к изменению внешних условий, что нашло отражение и в названии перспективной технологической платформы новой российской энергетики – интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью [3]. Такие возможности сети представляют собой альтернативу как экстенсивному пути развития через увеличение генерирующих и передающих мощностей, так и чисто «технологическому» пути развития через повышение традиционных энергетических и технологических характеристик отдельных элементов энергосистемы.

Ключ к такой гибкости – в принципиально новом взгляде на информацию и управление. Качественно меняется не только объем информации, необходимый для успешного выполнения возникающих задач, но также состав и источники этой информации. Помимо оперативных данных о режимах и условиях функционирования отдельных компонент технической подсистемы адаптивное и *проактивное* управление основывается как на прогнозах потребления и генерации электроэнергии, так и на экономической, финансовой информации об оптовых ценах, операционных расходах генерирующих компаний, тарифных режимах и условиях договоров, и т.д.

Не секрет, что управление в целом является слабым звеном многих российских компаний, в том числе, и крупных игроков электроэнергетического рынка. Поэтому именно инновации в управлении, а не технологические инновации, могут дать им не только наибольший выигрыш в краткосрочной и среднесрочной перспективе, но и стать основой долговременного стабильного развития как отдельных предприятий, так и всей отрасли. Если достающийся огромным трудом экономический эффект от повышения на 5% КПД энергоустановки немедленно «съедается» нерациональным управлением режимами ее работы из-за примитивности механизма планирования производства или ремонтов, о повышении конкурентоспособности энергетики говорить бесполезно.

2. Механизмы управления и тарифное регулирование

2.1. СТРУКТУРА РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В современной российской электроэнергетике большая часть взаимодействий опосредуется созданными в результате реформы РАО ЕЭС оптовым и розничными рынками электроэнергии, мощности, сервисных услуг и т.д. На рис. 1 приведена структура рынка электроэнергии. Аналогичную структуру имеет и рынок мощности.

По отношению к их роли в функционировании рынков участников электроэнергетической системы можно разделить на три группы – собственно участники рынка электроэнергии и мощности (генерирующие, сбытовые компании, оптовые и розничные потребители, в том числе, обладающие собственными генерирующими мощностями), организации, обеспечивающие инфраструктуру рынков (Администратор торговой системы, Системный оператор, Центр Финансовых расчетов и пр.) и регулирующие органы в лице федеральных и местных органов исполнительной власти, определяющих общую политику, структуру и принципы работы рынков, а также федеральной службы

по тарифам и региональных служб, обеспечивающих регулирование рыночных взаимоотношений.

Необходимая для управления энергетической системой информация распределена между участниками системы. Соответственно, повышение эффективности управления энергетической системой требует либо инструментов и технологий сбора, хранения и обработки этой информации, либо децентрализации – передачи принятия решений тем участникам энергетической системы, которые обладают максимально полной информацией.

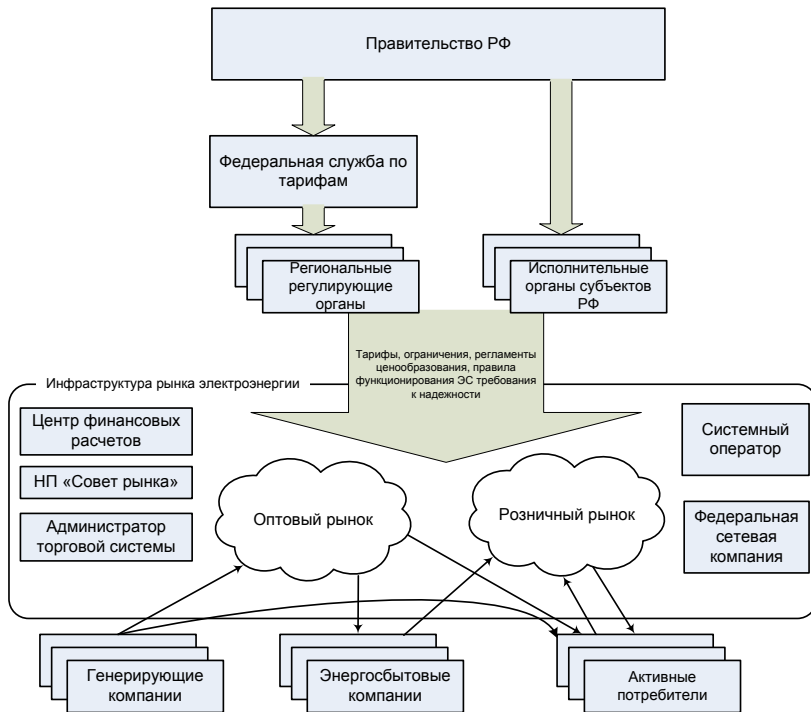


Рис. 1. Структура взаимодействий участников рынка электроэнергии

В то же время, интересы участников рынка могут очень сильно отличаться от общесистемных, и роль регулирующих органов состоит в том, чтобы гармонизировать и согласовать эти разнородные интересы для достижения эффективного и надежного функционирования, а также устойчивого развития энергетической системы путем определения правил и регламентов функционирования системы – *механизмов управления*.

2.2. МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Разработка эффективных механизмов управления энергетической системой невозможна без анализа их устойчивости к целенаправленному искажению предоставляемой информации [мех]. Пример подобного искажения информации дает недавний скандал в Испании, когда с ноября 2009 по январь 2010 года более 4500 МВт*ч электроэнергии было «произведено» с помощью солнечных установок в ночное время. Анализ неманипулируемости требует детального описания механизма принятия решений, интересов всех участников принятия решения, а также способов их воздействия на ситуацию, и проводится с привлечением формальных математических моделей и методов экономического и теоретико-игрового анализа [6].

Анализ интересов участников энергетической системы и способов их воздействия на ситуацию позволяет также избежать ситуаций целенаправленного несоблюдения обязательств. Хотя наиболее популярным способом борьбы с такими ситуациями является детальная регламентация взаимодействий и включение в условия договоров юридических гарантий и санкций за отклонение от согласованного порядка действий, практика показывает, что зачастую более эффективным является предотвращение конфликта интересов – главной предпосылки нарушения договоренностей. Такой анализ основан на детальном анализе возможных сценариев взаимодействия в долгосрочной перспективе и в подстройке условий соглашений для обеспечения динамической стабильности [11] – предотвращения ситуаций, когда нарушение ранее достигнутых договоренностей становится выгодным одному или нескольким участникам энергетической

системы. В частности, такой анализ важен при разработке долговременных механизмов стимулирования распределенной генерации (trade-in tariffs), эффективность которых существенно зависит от точности многолетних прогнозов цен на электроэнергию и операционных издержек производителей [12].

Поведение организационных элементов существенно менее предсказуемо по сравнению с поведением технических систем. Наличие пресловутого «человеческого фактора» существенно снижает надежность функционирования любой системы управления, включающей ручной контур. Таким образом, проектирование и внедрение механизмов организационного управления должно проводиться с учетом концепций ограниченной рациональности [6], в частности, должна обеспечиваться устойчивость к нерациональному поведению. Например, эффективность введения *мультизонных* тарифов и предоставления бытовым потребителям возможностей гибкого управления потреблением существенно ограничивается инертностью и слабой заинтересованностью потребителей даже в условиях четких экономических стимулов – за более чем 10 лет функционирования открытого рынка электроэнергии в Европе поставщика сменило не более 10 процентов потребителей.

Инструменты математического моделирования механизмов управления дает теория управления организационными системами (ТУОС) – научное направление, занимающееся разработкой эффективных инструментов управления организациями различной природы и масштаба. ТУОС является развитием теории активных систем (ТАС) – области науки управления, занимающейся управлением в так называемых активных системах, элементами которых являются люди, обладающие собственными интересами, способные к самостоятельному выбору действий [5].

Подходы ТАС, основанные на учете интересов всех сторон и поиске взаимовыгодных механизмов компромисса, дают надежные методы разработки и внедрения механизмов управления в электроэнергетической системе в масштабах страны, региона, отдельного предприятия и индивидуального потребителя. К нас-

тоящему моменту в ТУОС наработано несколько десятков типовых механизмов управления, которые позволяют решать широкий спектр задач, возникающих на всех этапах управления компаниями различных отраслей [9]. В следующих разделах приводится несколько примеров адаптации типовых механизмов для решения задач управления, возникающих в отдельных секторах электроэнергетической отрасли.

2.3. МЕХАНИЗМЫ ТАРИФНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Важный класс механизмов управления взаимодействием энергетических компаний с потребителем электроэнергии представляют собой механизмы тарифного регулирования, включающие тарифы на электроэнергию, тарифы за использование мощности, тарифы за подключение к энергосетям, цены на оформление необходимых документов, налагаемые в разных ситуациях штрафы и пени.

Задача регулируемых тарифов, как инструмента управления, состоит не только в назначении экономически обоснованной платы за единицу товара или услуги, но и в создании экономических стимулов для определенного способа действий потребителей. Управление поведением через тариф предполагает дифференциацию тарифа – различные ставки соответствуют различным линиям поведения; для стимулирования нужных действий тарифы снижаются, для запрета нежелательного поведения – повышаются.

Принципиальной является способность субъекта управления измерять и наблюдать поведение активного объекта управления. Эти измерения должны быть объективными, так как на их основе производится выбор тарифов, и определяются суммы взаиморасчетов. Поэтому разработка гибких меню тарифов для потребителей электроэнергии предполагает развитие системы приборных измерений, в первую очередь, потребления электроэнергии. Другой важной предпосылкой является внедрение средств интерактивного взаимодействия с потребителем с применением современных информационных технологий.

Однако для разработки действительно эффективной системы гибких тарифов одних технологических нововведений мало. При оценке эффективности тарифной политики, являющейся механизмом *мотивационного управления* [10], крайне необходимо учитывать активность потребителей – их способность к целенаправленным действиям в собственных интересах.

3. Модель активного потребителя

3.1. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОВЕДЕНИЯ

В контексте тарифной политики фиксация и формализация интересов потребителей преследует две основные цели. Во-первых, одним из основных приоритетов развития электроэнергетики на современном этапе считается ее клиентоориентированность [8]. Для того чтобы максимально учесть потребности клиентов при разработке меню тарифов, эти потребности требуется описывать и измерять. Во-вторых, для прогнозирования функционирования системы электроэнергетики в условиях той или иной планируемой тарифной политики необходимо вычислять реакцию всех участников энергетического рынка, и, в первую очередь, потребителей, на изменение параметров тарифов. Если в традиции теории управления понимать тарифы как управляющее воздействие, то реакция потребителей – изменение объема или структуры спроса на электроэнергию - представляет собой отклик системы, определяемый, в рамках концепции активного поведения, преследованием своих целей.

Традиционным для экономического моделирования тарифной политики является подход, основанный на анализе агрегированного отклика рынка. Он оперирует понятиями спроса на электроэнергию и его эластичности по цене киловатт-часа (при решении задач управления спросом), замещения спроса в дневные часы спросом в ночные (в задачах гармонизации нагрузки). Однако возможности этого подхода для анализа сложных нелинейных тарифов в современных условиях доступности альтернативных источников энергии (в частности, распределенной генерации на стороне потребителей) весьма ограничены –

агрегированные показатели спроса оказываются слишком грубыми, а локальных дифференциальных показателей недостаточно для учета всех доступных активному потребителю альтернативных способов поведения.

Более современный подход предполагает описание интересов отдельного потребителя и вывод его реакции на изменения в тарифах на основе микромодели максимизации целевой функции потребителя. Такой подход позволяет непосредственно моделировать процессы принятия решений отдельным потребителем как на основе гипотезы рационального поведения [10], так и в рамках гипотезы ограниченной рациональности. Математическая модель поведения потребителя затем может использоваться или непосредственно, или в процессе имитационного моделирования на основе агентного подхода [2]. Ниже описывается модель поведения активного (обладающего возможностями собственной генерации) потребителя при принятии им оперативных и среднесрочных решений относительно потребления и производства электроэнергии, а также одно из возможных приложений этой модели к задачам гармонизации спроса.

3.2. ИНТЕРЕСЫ АКТИВНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ

Интересы активного потребителя на временном промежутке, соответствующем оперативной деятельности (условно, при горизонте планирования до одного года), можно свести к минимизации функции $C_{st}(\cdot)$ операционных затрат:

$$C_{st}(\mathbf{d}(\theta, \eta), \mathbf{a}, \mathbf{g}_i, \mathbf{g}_e, \theta, \xi, \eta) =$$

$$\sum_{t=1}^T p_a(t, \mathbf{a}, \xi_a, \eta) \cdot a(t) + C_{da}(\mathbf{d}(\theta, \eta), \mathbf{a} + \mathbf{g}_i, \theta, \eta) +$$

$$+ \sum_{t=1}^T C_{ga}(t, g(t), g(t-1), \theta, \eta) + \sum_{t=1}^T C_g(t, g(t), \theta, \eta) -$$

$$- \sum_{t=1}^T p_g(t, \mathbf{g}_e, \xi_g, \eta) \cdot g_e(t),$$

где $t = 1, \dots, T$ – периоды функционирования (например, $T = 24$ для почасового планирования в пределах суток),

$a(t)$ – объем электроэнергии (кВт·ч), потребляемой из сети в период времени t ;

$\mathbf{a} = (a(1), \dots, a(T))$ – вектор (профиль) потребления во все периоды функционирования;

$g_i(t)$ – объем собственной генерации (кВт·ч) для внутреннего потребления в период времени t ;

$g_e(t)$ – объем собственной генерации (кВт·ч), передаваемый в сеть в период времени t ;

$g(t) := g_i(t) + g_e(t)$ – полный объем (профиль) генерации в период времени t ;

$\mathbf{g}_i, \mathbf{g}_e, \mathbf{g}$ – соответствующие вектора генерации;

ξ_g – параметры механизма тарификации для передаваемой в сеть электроэнергии, например, накопленное потребление при кумулятивной зависимости цены от переданного с начала отчетного периода объема электроэнергии, включая оговоренные в контракте с энергетической компанией ограничения на генерацию.

ξ_a – аналогичные параметры тарификации для потребляемой электроэнергии, включая оговоренные в контракте ограничения на потребление.

$\xi = (\xi_a, \xi_g)$ – вектор параметров договоров для краткого их обозначения.

η – внешние условия на горизонте планирования, например, среднесуточная температура или длина светового дня.

θ – тип потребителя, совокупность его внутренних характеристик, влияющих на функцию затрат.

$p_a(t, \mathbf{a}, \xi_a)$ – цена на потребляемую электроэнергию в зависимости от временного промежутка, объема потребления и прочих параметров.

$p_g(t, \mathbf{a}, \xi_a)$ – цена на передаваемую в сеть электроэнергию в зависимости от временного промежутка, объема внешней генерации и прочих параметров.

$C_{g_a}(t, g', g)$ – затраты перенастройку генерирующих мощностей с мощности g на мощность g' в период t (важную роль, например, могут играть затраты на пуск/остановку электростанции)

$C_g(t, g)$ – затраты на производство активным потребителем объема электроэнергии g в период времени t .

$d(t, \theta, \eta)$ – потребность в электроэнергии в период времени t ,

$\mathbf{d}(\theta, \eta)$ – соответствующий вектор (профиль) потребности в электроэнергии. Потребность в электроэнергии зависит как от типа потребителя, так и от сложившихся внешних условий.

$C_{da}(\mathbf{d}, \mathbf{a})$ – потери из-за отклонения профиля потребления от профиля потребности за весь промежуток планирования.

Основной особенностью модели является то, что она позволяет максимально обособить рассмотрение взаимодействие потребителя с энергетической компанией от его хозяйственной деятельности, что настоятельно необходимо для применимости модели на практике. Фактически, вся хозяйственная деятельность, не связанная с генерацией электроэнергии, входит в целевую функцию потребителя через потери из-за отклонения профиля потребления от профиля потребности. Удобно потребностью \mathbf{d} считать существующий профиль потребления, и тогда потери $C_{da}(\mathbf{d}, \mathbf{a})$ описывают затраты, связанные с изменением профиля потребления (действия активного потребителя) как активной реакции на изменение тарифов (управления). Такие затраты гораздо проще идентифицировать из наблюдений и опросов, и этого зачастую не требуется описывать детально всю хозяйственную или бытовую деятельность потребителя – достаточно той ее части, которая непосредственно связана с изменением потребления электроэнергии. Если \mathbf{d} – это текущий профиль потребления, то можно положить $C_{da}(\mathbf{d}, \mathbf{d}) = 0$.

Тип потребителя, обозначаемый через θ , определяет совокупность его внутренних характеристик, влияющих на функцию затрат. Также затраты потребителя могут зависеть от внешних условий. Тип потребителя θ и совокупность внешних параметров функционирования ξ (включая начальные значения значимых переменных, например, объема генерации $g(0)$ непосредственно перед началом промежутка планирования, а также параметры тарификации ξ_g, ξ_a) считаются фиксированными и, иногда для краткости опускаются в обозначениях. Однако при рассмотрении потерь от недифференцированного подхода к

тарификации отдельных групп потребителей может потребоваться сравнение целевых функций потребителей разных типов (например, потребителей, проживающих в современных коттеджах и жителей личных домов со слабой энерговооруженностью). При этом θ и ξ фигурируют в явном виде среди аргументов функции затрат. Также изменение типа потребителя может быть результатом стратегических решений (см. ниже).

Модель позволяет выделить основные экономические факторы, влияющие на поведение активного потребителя, и помогает оценить порядки величин этих факторов в финансовом выражении. Они, в свою очередь, позволяют определить порядок величин экономических стимулов, заставляющих потребителя изменить свою стратегию. Во многих случаях для решения принципиальных вопросов целесообразности тех или иных инициатив по изменению параметров ценообразования достаточно таких грубых оценок факторов.

В приведенном выше виде модель активного потребителя подходит для описания его поведения при разработке как механизмов мотивации потребителя к участию в регулировании, так и механизмов управления спросом.

3.3. ДОПУСТИМЫЕ СТРАТЕГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Рациональный способ взаимодействия для каждого типа потребителя является результатом экономического расчета. Однако этот расчет должен учитывать целенаправленную самостоятельность поведения потребителя – способность рационально корректировать свое поведение с изменением внешних условий.

Для этого необходимо проанализировать возможности поведения участников энергосистемы – множества их допустимых действий. Сначала потребитель выбирает объем потребления $a(t)$ электроэнергии из сети и объемы собственной генерации $g_e(t)$ и $g_s(t)$. При этом объемы генерации в сеть могут быть ограничены энергетической компанией как с точки зрения объемов, так и с точки зрения периодов поставки. Кроме того, выбор потребителя может быть ограничен условиями договоров как в

части потребления (например, отключение некритичных нагрузок в пиковые часы), так и в части генерации (гарантированная поставка в сеть определенного объема электроэнергии в определенные часы).

На горизонте оперативного принятия решений потребителем базовый порядок функционирования системы следующий.

Регулирующие органы выбирают тарифную политику – принципы и формулы формирования тарифов, методику дифференциации потребителей для целей тарификации, верхние и нижние границы тарифов (в случае ограниченного тарифного регулирования), регламенты рыночного ценообразования (в случае регулируемого рынка).

Энергетическая компания определяет условия договоров с конкретным потребителем или тарифы для отдельных групп потребителей в соответствии с установленной учетной политикой и регламентами. Основные тарифы для активного потребителя – это тариф на потребляемую электроэнергию и тариф на передаваемую в сеть электроэнергию в случае владения генерирующими мощностями.

В случаях, когда это предусмотрено условиями договора, активный потребитель сообщает энергетической компании прогнозный профиль потребления на плановый период и согласовывает свои обязательства по передаче электроэнергии в сеть. Затем реализуются те или иные внешние условия (погодные, экономические и т.д.), влияющие на потребности и возможности потребителя. В случаях, когда это предусмотрено условиями договора, активный потребитель корректирует ранее сообщенный прогнозный профиль потребления на плановый период и уточняет свои обязательства по передаче электроэнергии в сеть.

Потребитель выбирает профиль потребления на период планирования и объемы собственной выработки энергии, как для покрытия собственных нужд, так и для передачи в местные энергетические сети в соответствии с условиями договоров и текущими потребностями и возможностями.

По мере наступления расчетной даты потребитель оплачивает потребленную им электроэнергию и получает плату за

переданную в сеть электроэнергию в соответствии с зафиксированными в контракте условиями и тарифами.

3.4. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ АКТИВНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ К ЗАДАЧАМ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ

С точки зрения общесистемного критерия эффективности условием эффективности системы тарифов для конечного потребителя является равенство маржинальных затрат на производство и транспортировку электроэнергии маржинальным потерям потребителя, связанным с перераспределением им своего потребления.

Прямые расходы на производство электроэнергии включают в себя в первую очередь топливные затраты и экономия от перераспределения нагрузки может быть оценена непосредственно. Затраты бытового потребителя от переноса нагрузки вычислить сложнее, но в данном случае его усилия можно разбить на три категории:

- относительно «безболезненные» для потребителя переносы потребления на непиковые (ночные) часы;
- отказ от некритических нагрузок в пиковые часы;
- переносы нагрузки и отказ от нагрузок, связанные с существенными неудобствами.

Для целей управления спросом имеет смысл рассматривать первые две категории действий.

Рассмотрим бытового потребителя, не обладающего генерирующими мощностями.

Его поведение определяется стремлением к минимизации функции затрат

$$C_{st}(\mathbf{d}(\theta, \eta), \mathbf{a}, \theta, \xi_a, \eta) = \sum_{t=1}^T p_a(t, \mathbf{a}, \xi_a, \eta) \cdot a(t) + C_{da}(\mathbf{d}(\theta, \eta), \mathbf{a}, \theta, \eta).$$

При переносах нагрузки потребитель не изменяет суммарный объем потребления $d(1) + \dots + d(T)$, а может лишь перераспределять нагрузку во времени. Если энергетическая компания не заинтересована в воздействии на профиль потребления, то

для получения заданной прибыли ей достаточно использовать единый тариф, и в этих условиях, очевидно, $\mathbf{a} = \mathbf{d}$.

Идеальным с точки зрения минимизации себестоимости генерации электроэнергии является равномерное потребление электроэнергии в течение суток. Таким образом, перенос потребления осуществляется с дневных часов на ночные, когда электрические сети меньше загружены.

Технологические возможности бытовых потребителей по переносу нагрузки на ночные часы очень ограничены. В [7] предлагается следующая типизация бытовых потребителей с точки зрения управления спросом:

- Проживающие в многоквартирных домах;
- Проживающие в коттеджах и таунхаусах;
- Проживающие в индивидуальных домах с низким уровнем энерговооруженности;
- Мелкий бизнес.

Третью категорию потребителей можно не рассматривать, так как ее возможности по переносу нагрузки крайне малы.

Для прочих домохозяйств среди немногих нагрузок, без высоких затрат переносимых на ночь – это стиральная и посудомоечная машины, а также кондиционер. Кроме того, существенную мощность потребляют электрические бойлеры в домах и квартирах, лишенных газоснабжения и горячего водоснабжения¹. Для мелкого бизнеса остается только кондиционер и бойлер. Для остальных электроприборов потери $C_{da}(\cdot)$ от переноса нагрузки можно, по-видимому, считать запретительными.

Средний расход электроэнергии на домохозяйство в Москве и Московской области в 2008 году составлял 2140 кВт ч/год. Среднее потребление электроэнергии посудомоечной машиной – от 0.57 до 1.7 кВт·ч в зависимости от модели и класса энергопотребления за стандартный цикл. Таким образом, при однократ-

¹ За рубежом для потребителей, проживающих в коттеджах и таунхаусах, особенно в США, в числе подобных нагрузок называют также циркуляционные насосы бассейнов.

ном ежедневном использовании с учетом оценки распространенности посудомоечных машин в 20%, доля посудомоечных машин составляет от 2 до 6% в суммарном энергопотреблении домохозяйств.

Аналогичные цифры можно привести и по стиральным машинам, однако перенос их работы на ночные часы сопряжен с большими трудозатратами.

В настоящее время распространенность стиральных машин с таймером, посудомоечных машин и кондиционеров даже в крупных городах достаточно низка, и потенциальные технологические (без учета экономических факторов) возможности переноса нагрузки на ночные часы в краткосрочной перспективе не превышают единиц процентов. Однако уже в ближайшем будущем с ростом энерговооруженности домохозяйств возможности переноса нагрузки будут расти.

Существенным потенциалом по переносу нагрузки обладают воздушные кондиционеры. С 2005 по 2009 гг численность домохозяйств-пользователей бытовыми кондиционерами выросла на 490 тысяч. Доля пользователей бытовыми кондиционерами увеличилась с 4,88% в 2005 г до 5,75% от всех домохозяйств РФ в 2009 г. В 2010 г был отмечен рост спроса на 15,7%, обусловленный как отложенным спросом 2009 г, так и аномальной жарой, установившейся летом в России.¹ Имея мощность до 1.5 кВт в стандартном режиме, кондиционеры могут отключаться на время без существенных потерь для потребителя.

Для стимулирования переноса нагрузки на ночные часы используется двухзонный тариф в зависимости от времени суток. Потребители оборудуются многорежимным счетчиком и платят за электроэнергию по двухзонному тарифу.

Ставка ночного тарифа должна быть достаточно малой, чтобы полностью скомпенсировать потери потребителя, в том числе – вызванные неудобствами от переноса потребления. При этом потери в прибыли энергетической компании могут быть

¹ По данным *BusinesStat*®.

скомпенсированы повышением дневного тарифа, причем, с учетом небольших объемов переносимой нагрузки, это повышение весьма мало и практически незаметно на фоне инфляционного роста тарифов. Таким образом, потери прибыли энергетической компании могут быть сведены к нулю.

Минимизация приведенной выше функции затрат соответствует рациональному поведению потребителя. Как показывает практика, на уровне отдельных людей полностью рациональное поведение довольно редко. Более адекватно реальное поведение описывается концепциями ограниченной рациональности. Это значит, что даже если снижение тарифов делает экономически выгодным перенос нагрузки на ночное время¹, потребитель может не воспользоваться представившимися возможностями в силу своей инертности или в силу трудоемкости расчета собственных выгод. В силу небольших объемов переносимого потребления суммы экономии также будут крайне невысокими, так что большинство индивидуальных бытовых потребителей не будут усложнять себе жизнь, меняя порядок и уклад.²

Повышение эффективности тарифной политики возможно с помощью информационных мер, направленных на популяризацию и рекламу выгод от переноса потребления на ночные часы, но это связано с дополнительными затратами.

Однако даже с учетом этих мер эластичность усилий по переносу нагрузки крайне мала и потенциал ее почти исчерпан в рамках уже действующей тарифной политики, предполагающей двухзонный тариф «день/ночь».

Так, наиболее критичным является снижение утреннего и вечернего пиков нагрузки. Существующий тариф не создает

¹ Для этого, очевидно, требуется очень сильное снижение тарифа, так в Москве в настоящее время ночная ставка в 4 раза ниже дневной.

² Стоит отметить, однако, что есть и другая категория потребителей, для которых управление энергопотреблением представляет интерес, выходящий за рамки чисто экономического. Примером служат обсуждения на <http://forum.fazanol.ru/>.

стимулов к переносу нагрузок с пиковых периодов на прилежащие к ним часы в рамках существующей зоны «день». В то же время, более детальное разбиение зон позволит включить в программу переноса нагрузки те же бытовые кондиционеры, которые практически исключены из нее в настоящее время, так как работы их в рамках тарифной зоны «ночь» недостаточно для обеспечения требуемого потребителям качества, а стимулов перераспределения нагрузки в течение дня нет.

Чем ниже цены в зоне «ночь», тем сильнее стимулы потребителей по переносу нагрузки на ночные часы. Однако это снижение порождает и изменение суммарного объема потребления. Если изменением спроса в дневные часы при переходе от единого тарифа к двухзонному можно пренебречь в связи с крайне небольшим изменением тарифа, то существенное снижение ночных тарифов, необходимое для обеспечения экономической мотивации, стимулирует рост потребления электроэнергии ночью.

Эластичность спроса ночью достаточно низка, однако существует довольно существенный опциональный потребитель электроэнергии в ночные часы – это подсветка частных домов и освещение придомовых участков.

Таким образом, анализ модели поведения активного потребителя показывает, что возможности перераспределения нагрузки с помощью гибких тарифов в настоящее время почти исчерпаны. Дальнейшая работа по снижению пиковых нагрузок на электрическую сеть может вестись в рамках программ *управления спросом*. В них речь идет скорее не о перераспределении нагрузок, а об их снижении в пиковые часы за счет:

- прямого управления нагрузкой (ПУН);
- требования (предложения) нагрузки или обратной покупки;
- дальнейшей дифференциации тарифов по времени суток и тарификации в режиме реального времени;
- прерывания для обеспечения системной надежности;
- других программ снижения нагрузки.

4. Механизм встречных планов для повышения точности прогноза потребления

Мотивирующую роль тарифов и возможности расширения взаимодействия с активным потребителем можно проиллюстрировать на примере гибкого тарифа, стимулирующего по возможности точное прогнозирование потребления электроэнергии, а также оперативное информирование об уточнении прогноза.

Понятно, что наибольшей информацией о прогнозируемом потреблении обладают сами потребители. Для привлечения их к планированию потребления электроэнергии необходимо обеспечить экономическую мотивацию, направленную на подготовку и своевременное предоставление максимально точных прогнозов потребления, а также оперативную их корректировку с учетом вновь поступившей информации. Основу такой мотивации дают гибкие механизмы тарификации за потребленную электроэнергию на основе механизмов стимулирования встречных планов и опережающего самоконтроля [4, 5, 9].

Идея механизма стимулирования встречных планов состоит в том, что прогноз потребления на период не вычисляется энергетической компанией, а сообщается самим потребителем. Потребитель оплачивает электроэнергию по базовому тарифу, однако, дополнительно штрафует, по одной ставке – за перерасход энергии, по другой ставке – за недорасход. Эти штрафы стимулируют потребителя к сообщению максимально точного прогноза. Ставка штрафов не должна при этом превышать базового тарифа, чтобы предотвратить нерациональное «дожигание» запланированных объемов электроэнергии (см. рис. 2).

Чтобы стимулировать оперативную корректировку планов потребления при получении более точной информации на протяжении отчетного периода необходимо вводить плату за корректировку планового профиля потребления, зависящую от момента корректировки. Ставки этих платежей не должны превышать ставок платежей за невыполнение плана.

Такое сочетание ставок обеспечивает потребителю правильные стимулы к достоверному и максимально точному пла-

нированию потребления, рациональному и экономному энергопотреблению, и, в конечном счете, способствует существенному повышению точности прогнозирования, избегая, в то же время, уродливых перекосов, связанных с нерациональным энергопотреблением.

Подобные механизмы являются одним из инструментов повышения надежности функционирования энергетической системы, поскольку гибкая настройка ставок штрафов позволяет добиться надежности прогнозов отдельных потребителей, обеспечивающих требуемую надежность прогноза совокупного потребления электроэнергии.

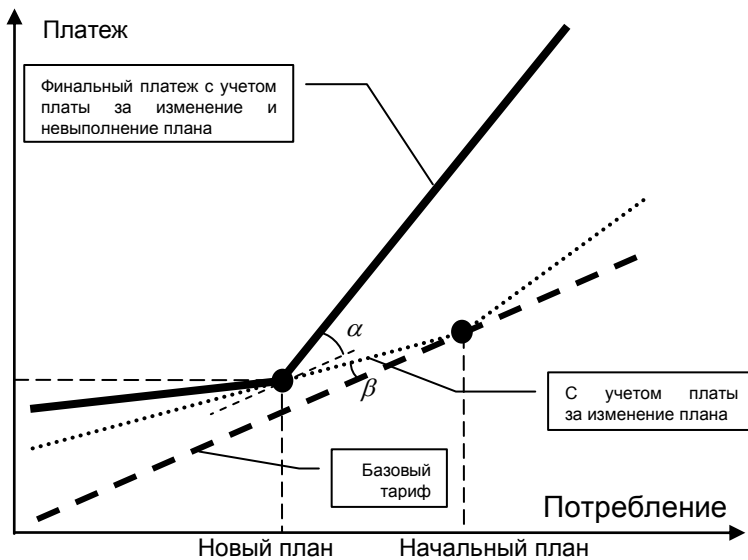


Рис. 2. Механизм стимулирования встречных планов

Механизмы стимулирования встречных планов имеет смысл применять для средних и крупных коммунальных и промышленных потребителей, и идея механизма достаточно часто применяется на практике. Другое дело, что конкретные значения ставок как базового тарифа, так и платежей за измене-

ние плана или отклонения должны выбираться на основе экономического расчета для обеспечения достаточной силы стимулов с одной стороны, и сохранения рационального поведения, с другой. Слишком сильные штрафы за недорасход снижают маржинальную стоимость недорасходованного киловатт-часа, что приводит к нерациональному использованию электроэнергии, слишком слабые – стимулируют завышение прогнозов.

Важно отметить, что задача стимулирования точности прогнозирования является лишь одной из частных задач, решаемых посредством тарифной политики. Реальная система тарифов объединяет в себе многочисленные стимулы, требующие балансировки и согласования.

5. Противозатратные механизмы для стимулирования инноваций

Развитие энергетики России требует существенных инвестиций в инфраструктуру сетей. В части взаимоотношений с активным потребителем речь идет об:

- установке интеллектуальных счетчиков,
- организации двухсторонних сетей передачи информации между потребителями и энергетической компанией,
- установке на стороне клиента интеллектуальных систем управления энергопотреблением и интеллектуализации бытовых приборов,
- приобретении потребителями генерирующих мощностей,
- создании инфраструктуры подключения распределенной генерации к сети.

Ввиду существенности расходов возникает важный вопрос – кто будет платить за модернизацию сетей. Потенциальных источников финансирования несколько – это потребители, энергетические компании, государство.

Определение пропорций, в которых финансирование развития инфраструктуры должно делиться между заинтересованными сторонами, основывается на тщательном экономическом

анализе выгод, которые получает каждая сторона от внедрения новаций.

В первую очередь это, несомненно, экономические субъекты, непосредственно входящие в энергосистему – производители электроэнергии, потребители, сбытовые и сетевые компании.

Мощным средством стимулирования развития генерирующей инфраструктуры являются льготные тарифы на поставляемую в сеть электроэнергию. Однако их применение является экономически обоснованным, пожалуй, только в рамках программ развития возобновляемых источников энергии, где обоснованием существенных льгот для владельцев мощностей является существенное общественное благо (по крайней мере, потенциальное), связанное с развитием возобновляемой энергетики.

При отсутствии такого обоснования стимулирование развития распределенной генерации должно носить менее радикальный характер и должно быть направлено, скорее, на снятие барьеров, сдерживающих общую экономическую эффективность энергетической системы.

Эти барьеры связаны как с существующими технологическими ограничениями подключения распределенных источников, так и с недостаточной гибкостью правовых регламентов, регулирующих допуск участников к торговой системе оптового и розничного рынка электроэнергии и мощности – высокими издержками входа на рынок.

Одним из путей преодоления этих проблем является снижение издержек входа – облегчение, ускорение и удешевление процедур подключения к сети и входа на рынок электроэнергии и мощности.

Развитие распределенной генерации требует существенных инвестиций со стороны сетевой компании (развитие инфраструктуры доставки и электроэнергии, произведенной распределенно), системного оператора (обеспечение эффективных технологических режимов функционирования электроэнергетической системы в условиях распределенной генерации, что требует изменения существующих решений в области управления и

связи), администратора торговой системы (обеспечение сбора заявок, назначения тарифов с учетом расположения, типа генерации, времени и других факторов тарифной политики) и, разумеется, самого активного потребителя (приобретение генерирующего оборудования и поддержание выработки электроэнергии в соответствии с нуждами энергосистемы).

Экономический эффект развития распределенной генерации сконцентрирован в области генерации и, до определенной степени, транспортировки электроэнергии. Он состоит в снижении себестоимости производства электричества за счет обеспечения более равномерной загрузки крупных генерирующих мощностей (в частности, АЭС, обладающих относительно низкой себестоимостью выработки, но ограниченными возможностями по изменению мощности генерации во времени), и в уменьшении пиковых нагрузок на магистральные сети (и, как следствие, потерь в сетях) за счет большей приближенности распределенной генерации к потребителям электроэнергии.

Другой проблемой является большой срок окупаемости нового оборудования, который делает инвестиции невыгодными для небольших участников рынка, в частности, для индивидуальных потребителей, обладающих ограниченным капиталом. В основе проблемы лежит несклонность людей к риску. Решением же является перекладывание риска на более крупные организации – страхование инвестиций, лизинговые схемы, целевые кредиты.

Еще одна проблема – дороговизна, высокие риски и низкая рентабельность содержания генерирующих мощностей потребителями. Решением могло бы стать совместное финансирование содержания генерирующих мощностей потребителем и энергетической компанией при обеспечении государственных гарантий, страхующих активных потребителей от резких падений цен.

Как отмечалось выше, инновационное развитие электрических сетей, в частности, развитие распределенной генерации, требует согласованных усилий почти всех участников рынка электроэнергетики: производителей электроэнергии, потреби-

лей, сбытовых и сетевых компаний, Системного оператора. Для устойчивого их сотрудничества недостаточно наличия общего экономического эффекта от программы. Необходимо, чтобы программа давала прямой выигрыш каждой участвующей стороне. Например, в настоящее время считается, что несмотря на очевидный эффект для энергетики в целом, программы энергосбережения и повышения энергоэффективности крайне невыгодны для генерирующих и сетевых компаний, поскольку снижают их выручку за счет снижения спроса на электроэнергию и повышают долю постоянных расходов в себестоимости электроэнергии. Для компенсации своих потерь энергокомпании требуют повышения тарифов для потребителей.

В той мере, в которой государство заинтересовано в инновациях в электроэнергетике, оно должно использовать имеющиеся у него возможности для создания предпосылок образования и поддержания устойчивых инновационных альянсов. Передача экономического эффекта между участниками, например, программы повышения энергоэффективности, для обеспечения выгоды их участия в мероприятиях может обеспечиваться различными путями. Один из очевидных путей дают регулируемые тарифы, устанавливаемые Федеральной службой по тарифам. Чтобы использовать их в качестве инструмента мотивации к инвестированию в инновации, необходимо сделать их зависимыми от целевых показателей инновационной программы. Эта идея широко используется в т.н. *противозатратных механизмах управления* [4], показавших свою высокую эффективность в стимулировании снижения издержек в условиях монопольного производства.

Противозатратными называются такие механизмы управления, которые побуждают каждого участника программы максимально повышать эффективность своей деятельности, выполнять соответствующую работу с высоким качеством и минимальными затратами. Понятно, что в случае большого числа более или менее однородных агентов конкуренция между ними не позволит каждому отдельно взятому агенту завышать себестоимость продукции и цену. В случае наличия монополистов

необходимо использовать специальные механизмы управления, обеспечивающие невыгодность завышения затрат.

В отличие от широко распространенного принципа формирования тарифов «от норматива рентабельности» – принципа, поощряющего рост расходов и уменьшение производительности производства, в противозатратных механизмах нормативный уровень рентабельности делается не фиксированным, а «гибким», то есть зависящим от предельной цены (максимальная цена, при которой продукция еще нужна потребителю) и себестоимости, причем таким образом, что при уменьшении затрат прибыль монополиста растет, а цена продукции уменьшается. Простейший вариант – назначать нормативную (или предельную) рентабельность как долю от максимальной рентабельности (рентабельность при предельной цене).

Если применить эту идею к программам повышения энергоэффективности, необходимо привязать тарифы для бытовых потребителей к энергоэффективности их домохозяйств (например, к экономии энергии относительно средних показателей на момент начал программы). Для обеспечения противозатратности эта зависимость тарифа от энергоэффективности должна быть такой, чтобы как прибыль потребителя, так и прибыль энергетической компании должны расти с ростом эффективности. Удивительно, но зачастую такие гибкие тарифы существуют. Более того, в принципе, энергосберегающий тариф можно сделать и противозатратным – стимулирующим снижение издержек производства и транспортировки электроэнергии, однако подробное освещение этого вопроса выходит за рамки настоящей статьи.

6. Двухканальные механизмы и внедрение информационных систем управления

Двухканальные механизмы управления были разработаны в теории активных систем в конце 1970-х годов [1]. Основная их идея заключается в принятии решений двумя параллельными

каналами. Возможны различные варианты реализации механизма – либо в обоих каналах решения принимает человек (например, инженер, выбирающий схему подключения к электросетям), либо первый канал активен, а второй является «советующим» (обычно он реализуется в виде автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений – СППР). Выигрыш от внедрения двухканальных механизмов основывается на эффекте соревновательности и конкуренции. Результаты работы второго канала определяют гибкий норматив, за превышение которого стимулируется основной канал (человек-оператор). Это также побуждает первый канал обучаться – использовать предлагаемые вторым каналом управляющие воздействия при выработке собственных решений.

Основную сложность при внедрении двухканальных механизмов представляет собой разработка пересчетной модели технологического процесса. В настоящее время развитие вычислительной техники чрезвычайно расширило области применения информационных систем управления. С использованием компьютерных моделей принимаются решения о режимах работы отдельных установок и целых систем (например, электрических и тепловых сетей, систем газо- и нефтепроводов). СППР находят широкое применение и при решении инженерных задач – в частности, при определении технологических условий подключения к электросетям.

Внедрение СППР часто сталкивается с активным противодействием технических специалистов, которые (зачастую, обоснованно) опасаются, что со временем «их заменит компьютер». Часто встречается сокрытие информации, предоставление неполных или намеренно искаженных исходных данных. Особенно остро вопрос стоит в тех случаях, когда принятие «нужного» решения является для этих специалистов источником побочного дохода.

Для решения проблемы противодействия внедрению автоматизированной системы управления со стороны технических специалистов можно использовать двухканальные механизмы управления, а именно, использовать заложенную в них соревно-

вательность не для мотивации обучения оператора, а для аудита его решений. При этом исходные данные для внедряемой СППР вводятся на основе имеющейся, возможно, искаженной, информации. Затем решение принимается параллельно двумя каналами (оператором и СППР). Оператор (а по возможности, отдельная служба) при этом обязан вводить исходные данные в СППР, но может не следовать выдаваемым ею рекомендациям. Однако если принимаемое им решение отличается от решения СППР, оператор должен объяснить свою позицию. Обычно предлагаемое вторым каналом решение лучше с точки зрения принятого критерия эффективности – вопрос лишь в допустимости решения, удовлетворении реальным ограничениям. Именно эти (отсутствующие на данный момент в модели) ограничения и должен озвучить оператор – у него нет другого способа отстоять свое решение.

После внесения новой информации в систему СППР будет выдавать решение уже с учетом нового ограничения, и опять необходимо сравнить его с решением оператора, добавляя недостающие ограничения до тех пор, пока решение второго канала не совпадет с первоначальным решением первого канала или оператор не согласится с уточненным решением СППР.

Эти проверки производятся специально создаваемой службой аудита. С ее точки зрения СППР представляет собой предварительный этап контроля, фильтр, отсеивающий «нормальные» случаи. Без такого этапа аудит зачастую становится экономически невыгодным.

7. Заключение

Итак, в статье показано, что применение механизмов управления организационным поведением, в частности, механизмов тарифного регулирования, механизмов стимулирования встречных планов, противозатратных механизмов, на всех этапах взаимодействия участников энергетической системы позволяет повышать эффективность функционирования энерго-системы в целом и решать такие важные задачи, как точное

оперативное прогнозирование потребления электроэнергии, гармонизация пиковых нагрузок, управление спросом и распределенной генерацией, софинансирование инвестиций в развитие инфраструктуры сетей.

Современные эффективные механизмы организационным должны найти свое применение на всех уровнях энергетической системы Российской Федерации – от органов государственного регулирования до самых детальных взаимодействий с конкретным потребителем, на всех горизонтах управления – от принятия стратегических решений о направлениях развития энергосистемы до оперативного контроля.

Литература

1. АВДЕЕВ В.П., БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., КИСЕЛЕВА Т.В. *Многоканальные организационные механизмы*. – М.: ИПУ РАН, 1986.
2. БАХТИЗИН А.Р. *Агент-ориентированные модели экономики*. – М.: Экономика, 2008.
3. БЕРДНИКОВ Р.Н. Выступление на 1-ой Международной выставке и конференции по инновационным проектам в электросетевом комплексе IPNES 2010, Москва, 7-10 сентября 2010 г. [электронный ресурс]. URL: http://www.fsk-ees.ru/media/File/press_centre/speeches/Presentation_berdnikov.pdf (дата обращения: 30.10.2011)
4. БУРКОВ В.Н., ДАНЕВ Б., ЕНАЛЕЕВ А.К. и др. *Большие системы: моделирование организационных механизмов*. М.: Наука, 1989.
5. БУРКОВ В.Н., НОВИКОВ Д.А. *Теория активных систем: состояние и перспективы*. – М.: Синтег, 1999.
6. ГУБКО М.В., НОВИКОВ Д.А. *Теория игр в управлении организационными системами*. – М.: Синтег, 2002.
7. ЖУРАВЛЕВ О. Расчет потребления электроэнергии (моделирование) в бытовом секторе. URL: <http://energyfuture.ru/raschet-potrebleniya-elektroenergii->

modelirovanie-v-bytovom-sektore (дата обращения:
30.10.2011)

8. КОБЕЦ Б.Б., ВОЛКОВА И.О. *Инновационное развитие энергетики на базе концепции Smart Grid*. – М.: Энергия. 2010.
9. *Механизмы управления: учебное пособие* / [под ред. Д.А. Новикова] – М.: ЛЕНАНД, 2011.
10. НОВИКОВ Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: МПСИ, 2005.
11. ПЕТРОСЯН Л.А., ЗЕНКЕВИЧ Н.А. Принципы устойчивой кооперации // Математическая теория игр и ее приложения. – 2009. – Т. 1, Вып. 1. – С. 102–117.
12. KLEIN A. Feed-in Tariff Designs: Options to Support Electricity Generation from Renewable Energy Sources. – Saarbrücken, Germany: VDM Verlage De. Muller Aktiengesellschaft & Co. KG. – 2008.

MECHANISMS OF ORGANIZATIONAL CONTROL IN POWER SUPPLY INDUSTRY

Vladimir Burkov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Dr.Sc., professor (vlab17@bk.ru).

Mikhail Goubko, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand. Sc, chief researcher (mgoubko@mail.ru).

Dmirty Novikov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Dr.Sc., professor, deputy director (novikov@ipu.ru).

Abstract: Possible applications are described of the theory of control in organizations to the design and implementation of efficient organizational control mechanisms for firms in Russian power supply and distribution industry. It is shown that by applying proper control mechanisms on different stages of interactions of electricity market participants one can sufficiently increase the efficiency criterion of the industry as a whole and to help solving a range of topical tasks of the industry, including consumption forecasting,

peak shaving, demand response programs, feed-in tariffs policy, and innovations co-investments.

Keywords: theory of control in organizations, control mechanisms, power supply industry, managing innovations, innovations in management.