



Наталья Сидоровская

специалист Департамента рынка системных услуг ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы»

Управление спросом на мировых рынках электроэнергии

Возможность потребителей влиять на спрос — ключевая черта любого эффективно функционирующего конкурентного рынка. Это утверждение справедливо и для рынка электроэнергии. Особые свойства электроэнергии как товара (одновременность производства и потребления, невозможность создания складских запасов или замены другим товаром) привели к тому, что исторически потребители не имели практической возможности влиять на баланс спроса и предложения, а следовательно, и на цены на рынке. Потребители электроэнергии не уменьшают потребление при росте цены на электроэнергию. В условиях такой неэластичности спроса активной стороной, полностью определяющей цену электроэнергии, выступают производители.

Новые тенденции в электроэнергетике, появление цифровых интервальных счетчиков электроэнергии, развитие телекоммуникаций и «интеллектуальных сетей» (*Smart Grid*) преопределили возможность повышения эластичности потребления и привели к появлению концепции «управление спросом» (*Demand Response — DR*).

Введение в управление спросом

Управление спросом подразумевает снижение энергопотребления ко-

нечными потребителями при определенных экономических сигналах рынка электроэнергии, когда потребители добровольно изменяют график энергопотребления по результатам рынка «на сутки вперед» без дополнительных указаний от системного оператора, с получением выручки за осуществление такого снижения потребления.

Управление спросом позволяет не только уменьшить расходы потребителей на электроэнергию, но и способствует ее удешевлению на оптовом рынке, повышению надежности энергосистемы, снижению потребности в дополнительных генерирующих мощностях и соответственно сокращению уровня выбросов двуоксида углерода. Сегодня интерес к управлению спросом значительно вырос во всем мире, особенно в странах, переживших энергетический кризис и стремящихся удовлетворить спрос на электроэнергию не за счет строительства дорогостоящих генерирующих мощностей и сетевой инфраструктуры, а используя эффективные рыночные механизмы (рис. 1).

Терминология

В настоящее время в зарубежной практике был создан и используется ряд терминов, имеющих отношение к теме управления спросом.

«**Рационализация спроса**» (*Demand Management*) — это программа, предназначенная для предоставления стимулов конечным потребителям или поставщикам услуг по управлению спросом с целью повышения способности или возможности снизить нагрузку, когда цены на электроэнергию на рынке высоки или когда энергосистема находится в критическом состоянии в связи с пиковым уровнем нагрузки. Действия по рационализации спроса включают управление спросом и энергоэффективность.

«**Управление спросом**» (*Demand Side Response — DSR, Demand Response — DR*) — добровольное изменение уровня энергопотребления потребителем в ответ на изменение цены или режимную ситуацию, отражающуюся на надежности энергосистемы. В РФ используется термин «ценозависимое потребление (ЦП)». Управление спросом не включает в себя изменение энергопотребления, обусловленное нормальной операционной деятельностью предприятия (например, снижение потребления электроэнергии в праздничные дни) (рис. 2).

«**Энергоэффективность**» (*Energy Efficiency*) — это снижение объема энергопотребления при сохранении того же уровня производства продук-

ции и/или комфорта от использования оборудования и приборов, достигаемое за счет использования энергоэффективного оборудования или осуществления действий по энергосбережению.

Преимущества от участия в управлении спросом

Управление спросом является эффективным инструментом снижения цен на рынке электроэнергии в пиковые часы, когда для покрытия спроса на электроэнергию привлекаются менее эффективные генерирующие объекты. При этом относительно небольшое снижение потребления может привести к существенному снижению цены на электроэнергию.

Упрощенно эффект от участия потребителей в управлении спросом представлен на рис. 3. Плавный рост кривой предложения S сменяется резким ростом в замыкающей части, что соответствует использованию наиболее дорогих генераторов. Снижение потребления в пиковые часы с величины $Q1$ до величины $Q2$ приводит к превращению кривой спроса $D1$ в кривую $D2$ и снижению цены на электроэнергию на величину ΔP .

Участие потребителей в технологиях управления спросом позволяет получить экономический эффект (получение платы за оказание услуг) не только им самим, но и всем участникам рынка за счет снижения выработки дорогостоящей электроэнергии низкоэффективными генерирующими мощностями.

Основные принципы организации управления спросом для потребителей

Ниже представлены основные принципы организации управления спросом и участия в нем потребителей.

- Управление спросом может принимать различные формы в зависимости от объемов и режима потребления. Например, промышленные или крупные коммерческие предприятия могут реорганизовать свой процесс производства и график работы с

Рис. 1. DR как альтернатива строительству новой инфраструктуры



Рис. 2. Управление спросом под влиянием погодных условий и цен

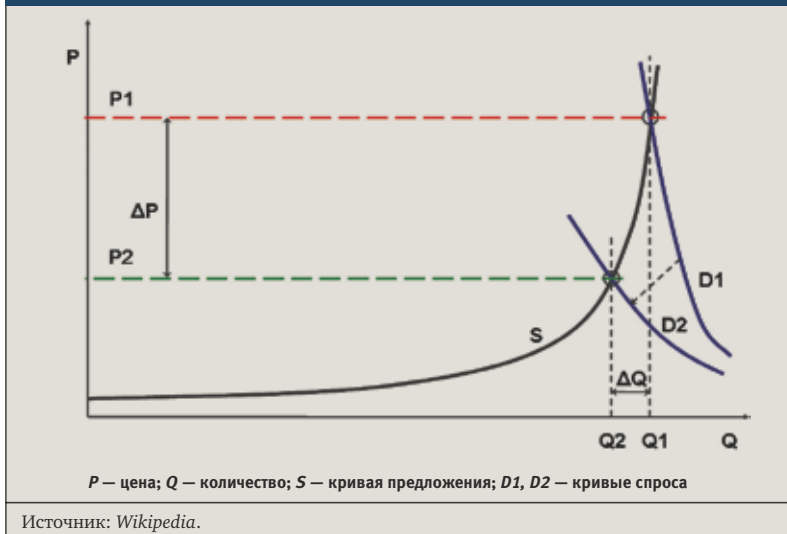


тем, чтобы сместить время энергопотребления на периоды более низких цен. Участие в управлении спросом мелких предприятий и бытовых потребителей может включать смещение времени обогрева и кондиционирования воздуха в помещениях с периодов пиковых цен на внепиковые, подзарядку или разрядку электромобилей в периоды цен, привлекательных для потребителей, или

изменение времени использования бытовой техники.

- Снижение потребления электроэнергии также может осуществляться за счет использования локальных источников энергоснабжения потребителя (в том числе резервных генерирующих объектов, накопителей энергии и др.), регулирования интенсивности работы двигателей насосно-перекачивающих систем, изменения

Рис. 3. Преимущества от участия в DR

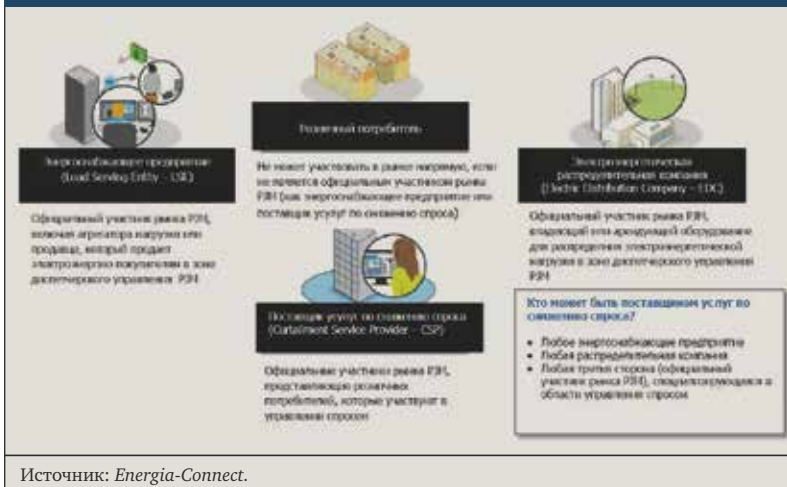


дрение непосредственно в оптовый рынок (рис. 4). Поставщики услуг по управлению спросом конкурируют друг с другом, с тем чтобы предлагать самый высокий уровень услуг, и потребители должны иметь возможность выбирать предложения услуг, которые им лучше всего подходят.

Агрегирование нагрузки конечных потребителей

Некоторые поставщики услуг по управлению спросом являются агрегаторами управления спросом (Demand Response Aggregators): они заключают контракты напрямую с потребителями, а затем объединяют действия нескольких потребителей по управлению спросом в рамках одного пула с целью его продажи на рынке электроэнергии или другим участникам энергосистемы. В некоторых странах агрегаторы управления спросом являются независимыми участниками рынка (они не являются ни поставщиками услуг, ни партнерами сторон, ответственных за поддержание баланса энергосистемы, или поставщиков услуг).

Рис. 4. Функционирование DR на рынках PJM



Так, например, для участия в экономической программе управления спросом на северо-восточном американском рынке электроэнергии PJM Interconnection (далее — PJM) все местоположения участников в рамках одного пула агрегированной нагрузки должны иметь одного и того же оператора распределительных сетей и энергоснабжающее предприятие. При этом общая объединенная нагрузка должна быть не менее 100 кВт, и лишь одна точка присоединения к сети может иметь нагрузку, равную или превышающую 100 кВт. Число точек присоединения в пуле нагрузки при этом не ограничено (рис. 5).

установки термостата для систем кондиционирования и/или холодильных установок, изменения или остановки производственного цикла, частичного отключения освещения и других действий.

- Участие в программах управления спросом может осуществляться как самостоятельно потребителями (преимущественно для потребителей с большим объемом потребления электроэнергии), так и с помощью поставщиков услуг по управлению спросом (Demand Response Providers), ко-

торые являются агентами и несут ответственность за деятельность по управлению спросом от имени потребителей электроэнергии на оптовых рынках. Поставщики услуг по управлению спросом определяют возможности участия в управлении спросом для потребителей, устанавливают необходимое оборудование, внедряют операционные процессы и/или системы с тем, чтобы обеспечить функционирование управления спросом на стороне потребителей и его вне-

Кроме того, в дополнение к обычным источникам управления спросом в штате Калифорния, США недавно было принято решение о возможности участия ресурсов распределенного производства электроэнергии (Distributed Energy Resources — DSR) за счет использования агрегаторов

нагрузки в оптовом рынке электроэнергии штата CAISO. Компании, включая коммунальные энергокомпании, смогут покупать и объединять в один общий пул электроэнергии, вырабатываемую с помощью панелей солнечных батарей, электрических батарей и электромобилей, находящихся в собственности бытовых потребителей и коммерческих энергосистем. Они также смогут использовать ресурсы управления спросом, чтобы создавать исходный объем мощности, который затем может быть продан на рынке. Как правило, объем нагрузки таких источников не превышает 500 кВт, что является требованием для продажи мощности на рынке CAISO. При правильном агрегировании нагрузки эти ресурсы смогут предложить энергосистеме ряд существенных преимуществ, а системный оператор CAISO станет первым оператором энергорынка в мире, который будет закупать электроэнергию и мощность, предоставляемые агрегированными распределенными энергоресурсами.

Рынки для участия управления спросом

Потребители и агрегаторы управления спросом (далее — ресурсы DR) могут принимать участие в деятельности рынков электроэнергии, мощности и системных услуг. Сегодня участие ресурсов DR в деятельности рынков разных стран мира зависит от уровня развития этих рынков, возможности доступа на них таких ресурсов и наличия соответствующих правил, регулирующих участие в них ресурсов DR.

Так, например, в США (на рынках PJM, MISO и CAISO) ресурсы DR активно участвуют в рынках электроэнергии, мощности и системных услуг (табл. 1). В Великобритании в операционной зоне системного оператора National Grid ресурсы DR имеют возможность участвовать в рынке системных услуг и недавно запущенном рынке мощности. Как и в США, к ним относятся предприятия и организации с большим уровнем энергопотре-

бления, имеющие возможность снизить уровень нагрузки на энергосистему или быть отключенными на некоторое время, а также совокупность большого числа конечных потребителей с низким уровнем нагрузки, которые могут участвовать в рынке за счет использования агрегаторов нагрузки.

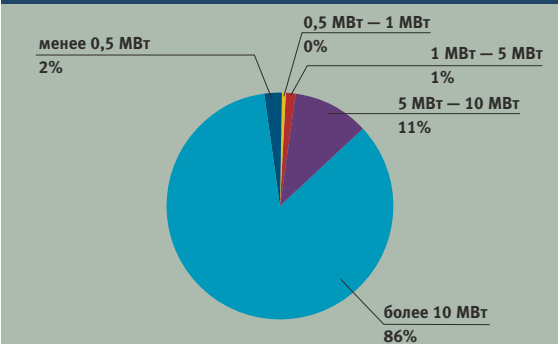
Экономическое и противоаварийное управление спросом

Управление спросом подразделяется на две категории:

- экономическое управление спросом используется с тем, чтобы стимулировать потребителей снизить уровень их потребления, когда эффект для рынка больше, чем выгода от использования электроэнергии такими потребителями;
- противоаварийное управление спросом применяется с тем, чтобы избежать непредвиденных перерывов в энергоснабжении в периоды ограниченного предложения электроэнергии.

Так, например, на американском рынке PJM экономическое управление спросом является добровольным обязательством снижения нагрузки на рынке электроэнергии, когда рыночная цена на электроэнергию на оптовом рынке «на сутки вперед» или в режиме реального времени превышает розничную ставку за электроэнергию для потребителя. Предоставление твердого обязательства по снижению энергопотребления в определенном объеме не является необходимым.

Рис. 5. Участие в экономическом DR на рынке PJM по размеру потребителей



Источник: PJM.

При участии в противоаварийном управлении спросом снижение нагрузки или потребление электроэнергии в ограниченном объеме в условиях, когда системному оператору необходимо поддерживать надежность энергосистемы при недостаточном предложении энергоресурсов или в аварийных ситуациях, является обязательным (рис. 6).

Управление спросом с целью предоставления системных услуг

Управление спросом с целью предоставления системных услуг включает специальные услуги, которые необходимы для обеспечения надежного функционирования энергосистемы и которые традиционно предоставлялись генерирующими компаниями.

Так, например, на рынке PJM ресурсы экономического управления спросом могут также предоставлять системные услуги оптовому рынку с целью поддержания надежности

Табл. 1. Участие ресурсов DR в рынках PJM

Рынки PJM	Виды рынков
Электроэнергии	- «на сутки вперед» - в режиме реального времени - диспетчируемое управление спросом
Мощности	- заявки подаются на аукционе за три года вперед
Системных услуг	- регулирования частоты - вращающегося резерва - оперативного резерва «на сутки вперед»
Источник: PJM.	

энергосистемы при наличии соответствующей инфраструктуры и квалификации, подтвержденной PJM. Они могут принимать участие в трех рынках системных услуг: вращающегося резерва, оперативного резерва с составлением графика «на сутки вперед» и регулирования частоты. Участие в этих рынках является добровольным, однако в том случае, если участие ресурса подтверждается на рынке, появляются обязательства, невыполнение которых штрафует-

ся. В операционной зоне системного оператора Великобритании *National Grid* ресурсы управления спросом имеют возможность участвовать в следующих рынках системных услуг: регулирования частоты, предоставления резервов и обеспечения системной надежности.

Неявное и явное управление спросом

Неявное управление спросом используется в тех случаях, когда потре-

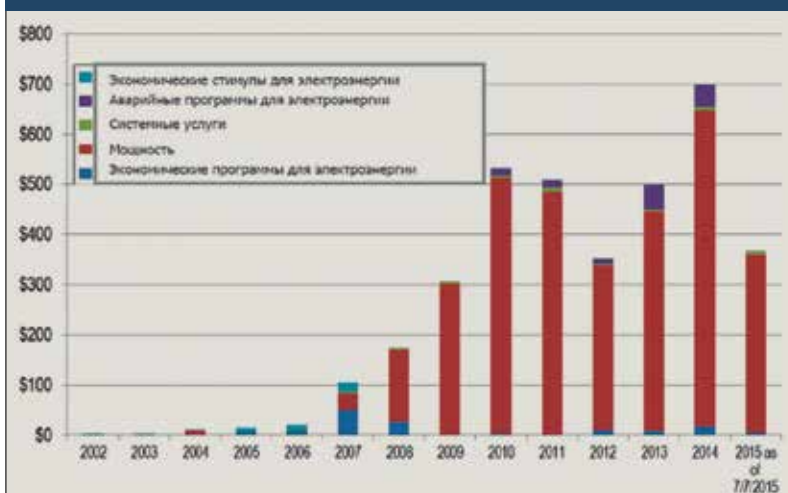
бители соглашаются на применение тарифов на электроэнергию, дифференцированных по времени потребления и отражающих стоимость электроэнергии и расходы, связанные с ее потреблением в разные периоды времени. Обладая такой информацией, потребители могут принимать решения о смещении энергопотребления с периодов высоких цен или позволить системе делать это автоматически. Тарифы, дифференцированные по времени потребления, предлагаются поставщиками электроэнергии и могут как подразделяться на ночные и дневные, так и быть чрезвычайно динамичными и привязанными к почасовым ценам на оптовом рынке электроэнергии. В дополнение к этому некоторые страны ввели или рассматривают возможность внедрения тарифов на передачу электроэнергии по распределительным сетям, дифференцированных по времени потребления, что направлено на смещение периода энергопотребления для избежания перегрузок в сети.

При использовании схем явного управления спросом (иногда называемого «на основе стимулов» или «на основе объема») результат действий по управлению спросом продается на рынке электроэнергии заранее, иногда напрямую крупными промышленными потребителями или через поставщиков услуг по управлению спросом. Потребители получают специальное вознаграждение за изменения в энергопотреблении в ответ на соответствующий запрос, который вызван высокими ценами на электроэнергию, необходимостью в обеспечении гибкости энергосистемы организациями, ответственными за поддержание баланса энергосистемы, или перегрузками энергосистемы.

Управление спросом в мире

Программы, стимулирующие потребителей к участию в экономическом и противоаварийном управлении спросом, широко распространены в мире и активно применяются в США, Европейском Союзе, Австра-

Рис. 6. Предполагаемый доход от участия ресурсов DR в экономической и аварийной программах на рынке PJM



Источник: PJM.

Рис. 7. Рынки электроэнергии США



лии, Новой Зеландии, Китае и других странах. В каждой из стран они имеют свои особенности, определяемые спецификой принципов организации рынка электроэнергии, наличием или отсутствием рынка мощности, возможностями участия в нем потребителей, а также целями программ по управлению спросом и степенью их реализации.

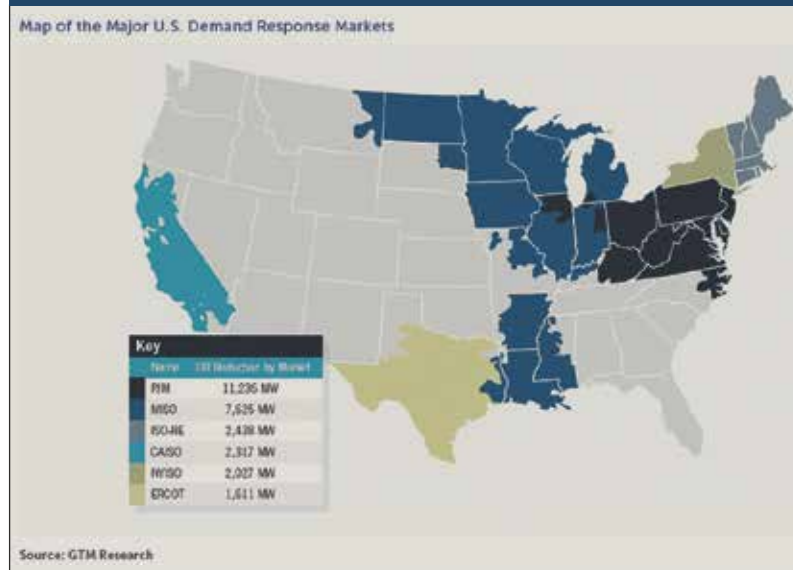
Так, например, на территории США функционирует несколько рынков электроэнергии, существенно различающихся по географии (некоторые включают несколько штатов, другие находятся в пределах одного штата), структуре рынка, принятым стандартам и механизмам торговли, составу участников и другим показателям (рис. 7). Соответственно уровень развития управления спросом неодинаков на разных рынках страны (рис. 8).

Наиболее широко управление спросом применяется на рынке PJM, где уже в течение нескольких лет оно конкурирует с генерацией электроэнергии. Уникальной чертой рынка PJM является успешное внедрение управления спросом на рынках электроэнергии, мощности и системных услуг (табл. 2).

В Европе управление спросом рассматривается в различных директивных документах ЕС, а именно в Директиве по электроэнергетике ЕС (2009/72/ЕС) и Директиве по энергоэффективности ЕС (2012/27/EU). В частности, Директива по энергоэффективности ЕС призывает страны — члены ЕС устранить стимулы, включенные в тарифы на передачу электроэнергии по магистральным и распределительным сетям, которые могут помешать развитию управления спросом с целью повышения уровня участия в нем потребителей (согласно оценкам, в настоящее время в ЕС задействовано лишь 10% потенциала DR).

Страны-члены также должны обеспечить стимулирование участия ресурсов управления спросом национальными регулирующими органами в области электроэнергетики

Рис. 8. DR на рынках электроэнергии США



на равных условиях с поставщиками электроэнергии на оптовых и розничных рынках.

Уровень развития управления спросом в Европе значительно различается по странам, при этом в некоторых странах он полностью отсутствует. Управление спросом активно задействовано на электроэнергетических рынках Великобритании, Ирландии, Финляндии и Франции (рис. 9).

При наличии достаточно широких возможностей и механизмов участия в управлении спросом развитие его потенциала (привлечение все большего числа потребителей к оказанию услуг) в Великобритании и в Европе в целом ограничено по ряду причин. К ним можно отнести обя-

зательства по сокращению выбросов парниковых газов (что лимитирует участие дизельных генераторов потребителей), наличие жестких требований к поставщикам услуг по DR, несовершенство методик определения среднего уровня энергопотребления, относительно которого будет определяться фактически осуществленное снижение, отсутствие четкой договорной основы и системы расчета платежей за оказанные услуги.

Управление спросом в Российской Федерации

В настоящее время в России предпринимаются первые шаги по стимулированию потребителей к участию в повышении энергоэффективности и выравниванию графиков

Табл. 2. Активные участники программ PJM по управлению спросом в 2015/2016 году поставки по состоянию на 07/2015

Программы управления спросом	Участие
Экономическая программа управления спросом	
Количество объектов	2 241
Объем предоставленной электроэнергии, МВт	3 122
Аварийная программа управления спросом	
Количество объектов	17 721
Объем предоставленной мощности на разгрузку, МВт	11 641
Для сравнения общие данные по PJM	
количество генерирующих блоков	1 376
Подсоединенная генерирующая мощность, МВт	185 600
Источник: PJM.	

нагрузки, например, за счет внедрения дифференцированных по времени суток тарифов.

В целях создания условий для повышения энергоэффективности работы Единой энергосистемы России за счет привлечения потребителей оптового рынка к активному участию в регулировании спроса на электрическую энергию и мощность, получившему название «ценозависимого потребления», разработан проект постановления Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.11 № 1172».

Внедрение технологий управления спросом в российской электроэнергетике предусматривает, что потребители оптового рынка могут подавать заявки для участия в конкурентном отборе мощности (КОМ) с указанием планируемого объема снижения потребления, и по факту отбора заявки в КОМ примут на себя обязательства по снижению потребления со специальными требованиями по обеспечению готовности

энергопринимающего оборудования к снижению потребления. В результате выполнения принятых на себя обязательств объем покупки мощности, формируемый по итогам месяца в отношении такого участника оптового рынка, снижается на учтенный при проведении КОМ объем ценозависимого снижения потребления.

Покупатели с ценозависимым потреблением обязаны поддерживать энергопринимающие устройства в состоянии готовности к ценозависимому снижению объема покупки электрической энергии. Способность покупателей исполнять свои обязательства по снижению потребления будет контролироваться путем тестирования до начала исполнения обязательств, а также путем регистрации случаев невыполнения покупателем с ценозависимым потреблением условий поддержания энергопринимающих устройств в состоянии готовности к ценозависимому снижению объема покупки электрической энергии в процессе исполнения обязательств.

При выполнении покупателем с ценозависимым потреблением всех требований фактический объем ценозависимого снижения потребления

мощности признается равным объему ценозависимого снижения потребления мощности, определенному по итогам КОМ. При невыполнении одного или нескольких условий работы в режиме ценозависимого потребления фактический объем ценозависимого снижения потребления мощности равен произведению объема ценозависимого снижения потребления мощности, определенного по итогам КОМ, и понижающих коэффициентов, учитывающих степень исполнения покупателем обязательств.

Заключение

За последние годы в зарубежной электроэнергетике накоплен обширный опыт применения управления спросом, в том числе по вопросам регулирования, технического внедрения, экономической эффективности, перспектив развития и т.д. Материалы, описывающие этот опыт, доступны на сайтах зарубежных регулирующих органов, отраслевых ассоциаций, энергетических компаний и в средствах массовой информации на английском языке. В Российской Федерации подобные материалы ввиду ограниченного опыта по применению управления спросом не публикуются на регулярной основе и редко доступны на русском языке.

В этой связи ОАО «СО ЕЭС» стало инициатором создания информационно-образовательного портала, посвященного теме управления спросом (DR). Целью портала является освещение проблемы управления спросом на русском языке с использованием зарубежного опыта, направленное на повышение интереса к нему среди участников электроэнергетического рынка РФ и стимулирование его внедрения на российском рынке.

Более подробная информация об управлении спросом, а также о возможности участия в Программе партнерства ОАО «СО ЕЭС» с субъектами малого и среднего предпринимательства в области ценозависимого потребления может быть получена на портале ОАО «ЕЭС» по адресу <http://so-ups.ru/index.php?id=dr>

Рис. 9. DR на электроэнергетических рынках Европы

