



Наталья Сидоровская

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

Управление спросом на рынке США: опыт Калифорнии в области использования распределенных энергоресурсов

Журнал «ЭнергоРынок» продолжает публикацию материалов, посвященных мировому опыту *Demand Response (DR)*. В данной статье рассказывается о работе калифорнийского рынка *CAISO* в сфере применения распределенных энергоресурсов.

Штат Калифорния лидирует в США в области использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), энергоэффективности и интеграции распределенных источников электроэнергии. В соответствии с целями, поставленными правительством штата, к 2020 г. доля ВИЭ в балансе Калифорнии должна составить 33%, а к 2030 г. — 50%, что вполне достижимо, учитывая темпы роста ВИЭ на территории штата.

На сегодня перед Калифорнией не стоит задача по созданию дополнительных крупных источников электроэнергии для удовлетворения нужд потребителей. Согласно прогнозам, спрос на электроэнергию здесь останется практически неизменным до 2022 г. Однако для энергосистемы Калифорнии важно на-

личие маневренной генерации и ресурсов управления спросом (*Demand Response, DR*), которые могли бы оперативно и скоординированно поддерживать работу ВИЭ. Кроме того, необходимо найти надежный способ управления излишками солнечной и ветряной энергии, когда энергосистема в ней не нуждается. Таким решением могут стать распределенные энергоресурсы, которые могут быстро снижать уровень энергопотребления в ответ на «запросы» энергосистемы, а также формировать спрос на избыток электроэнергии.

Обзор электроэнергетического рынка CAISO

Компания *California Independent System Operator (CAISO)* является независимым системным оператором

и отвечает за функционирование оптового рынка электроэнергии и системных услуг на 80% территории штата Калифорния и небольшой части штата Невада в США. *CAISO* — некоммерческая организация, которая не имеет в собственности объектов магистральных электрических сетей и работает на основе членства. Членами *CAISO* являются организации — собственники объектов магистральных электрических сетей, производители электроэнергии, продавцы и покупатели электроэнергии на розничном рынке, группы по защите общественных интересов и другие структуры. Характеристики энергосистемы и рынка *CAISO* приведены в таблице 1.

CAISO была образована в качестве независимого системного оператора после принятия Федерального закона об энергетике от 1992 г., который обусловил появление конкурентных оптовых рынков электроэнергии в США. В ходе продвижения закона федеральные органы США потребовали создания независимых

организаций, не заинтересованных в получении прибыли, которые смогли бы управлять энергосистемой и обеспечивать доступ потребителей к электроэнергии, продаваемой на конкурентных рынках. Сегодня CAISO является одним из девяти независимых системных операторов Северной Америки, включая Канаду. Совместно они обслуживают две трети территории США, обеспечивая поставку 2,2 млн ГВт•ч электроэнергии ежегодно, и контролируют перетоки электроэнергии по магистральным ЛЭП общей протяженностью 434 523 км.

CAISO открыла два диспетчерских центра в Южной и Северной Калифорнии в 1998 г. Главный находится в г. Фолсом, дополнительный — в г. Алхамбра. Деятельность компании включает управление передачей электроэнергии по магистральным сетям, поддержание баланса генерации и потребления электроэнергии в энергосистеме; управление рынками электроэнергии и системных услуг; планирование развития и ремонта сетевой инфраструктуры; присоединение генерирующих мощностей к энергосистеме и обеспечение ее надежности.

В зону деятельности CAISO входят все территории, обслуживаемые частными энергопредприятиями, а также некоторые территории муниципальных энергокомпаний. Крупнейшими частными энергопредприятиями штата являются Pacific Gas and Electric (PG&E), Southern California Edison (SCE) и San Diego Gas and Electric (SDG&E) — рис. 1.

Распределенные энергоресурсы на рынке CAISO

Распределенные энергоресурсы включают в себя ресурсы малой мощности на стороне потребителей, которые могут быть агрегированы, чтобы обеспечить требуемый объем мощности для участия в рынке. К распределенным энергоресурсам относятся распределенная генерация, в том числе за счет ВИЭ, системы накопления электроэнергии, зарядные устройства электромобилей,

Табл. 1. Характеристики энергосистемы и рынка CAISO

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Число потребителей | 30 млн |
| Потребление энергосистемы | 260 млн МВт•ч |
| Пиковая нагрузка | 47 358 МВт (10 сентября 2015 г.) |
| Установленная мощность | 60 000 МВт (760 электростанций) |
| Общая протяженность магистральных ЛЭП | 41 843 км |
| Число сотрудников | 580 чел. |

реагирующие на изменение цены на рынке, и DR.

Сегодня компании на рынке Калифорнии устанавливают и агрегируют, хотя и в небольшом масштабе, распределенные энергоресурсы и управляют ими. Некоторые из них продают услуги энергосистеме, участвуя в пилотных проектах DR, другие получают оплату в рамках контрактов с энергокомпаниями по закупке электроэнергии распределенных источников генерации. Однако до настоящего времени общая политика в сфере использования солнечных батарей, накопителей электроэнергии, DR, энергоэффективности и постановке целей по инвестициям и планированию развития энергосистемы с учетом роста распределенных энергоресурсов отсутствовала.

В 2008 г. в штате Калифорния было принято Положение о применении DR и действиях в области энергоэффективности. В 2014 г. Комиссия по обслуживанию населения штата Калифорния (CPUC) предложила пересмотреть этот документ, чтобы найти оптимальный способ совмещения программ по энергоэффективности и DR. Это предложение стало известно как «интегрированная рационализация спроса» (Integrated Demand-Side Management — IDSM). Однако в ходе консультаций, проведенных с компаниями — участниками рынка, было принято решение о расширении сферы распространения этой инициативы и включении в нее не только ресурсов, находящихся в собственности энергокомпаний, но и распределенных энергоресурсов, находящихся в собственности потребителей. В ав-

густе 2015 г. CPUC представила новое положение о разработке единой политики по этим вопросам, получившее название «Интеграция распределенных энергоресурсов» (Integration of Distributed Energy Resources — IDER). Согласно этому документу поставщики распределенных энергоресурсов смогут предложить новые способы оплаты своих услуг и расширить сферу их применения.

Сегодня деятельность CPUC направлена на достижение двух целей: 1) подготовку Плана использования распределенных ресурсов, который требует от энергокомпаний рассмотреть возможность их применения в качестве альтернативы традиционным инвестициям в развитие распределительной сетевой инфраструк-

Рис. 1. Регионы обслуживания CAISO



Источник: Федеральная комиссия по регулированию энергетики, США

туры; 2) запуск программы *IDER*, в рамках которой должна быть разработана политика применения распределенных энергоресурсов энергосекторами.

Летом 2015 г. совет директоров *CAISO* одобрил проект предложения, позволяющего агрегаторам распределенных энергоресурсов участвовать в деятельности электроэнергетического рынка Калифорнии, в результате чего *CAISO* стала первым системным оператором в США, использующим агрегированную нагрузку распределенных энергоресурсов.

DR на рынке CAISO

DR имеет огромный потенциал, который может быть задействован на рынке *CAISO*. Чтобы более точно определить политику и процессы, необходимые для полной интеграции *DR* в структуру оптового рынка, в 2013 г. *CAISO* совместно с регулятивными органами штата опубликовала «Дорожную карту в области *DR* и энергоэффективности». Целью этого документа является создание динамичного и разнообразного рынка *DR* на западном побережье США. Сегодня *DR* принимает участие в деятельности рынков электроэнергии и системных услуг *CAISO* и представлен двумя продуктами, которые опираются на общие технологии и инфраструктуру (табл. 2).

Конечные потребители могут подавать заявки на оказание услуг *DR* на оптовом рынке электроэнергии «на сутки вперед» и в режиме реального времени через поставщиков

услуг *DR*. Такой вид *DR* называется «*DR* через посредника» (*Prox DR — PRD*). В рамках продукта *PDR* поставщик обязан предоставить мощность на разгрузку объемом как минимум 0,1 МВт на рынке электроэнергии «на сутки вперед» и в режиме реального времени и объемом не менее 0,5 МВт — на рынке быстро вводимого резерва «на сутки вперед» и в режиме реального времени. Ресурсы *DR* меньшего объема могут быть агрегированы с целью обеспечения минимального требуемого объема мощности на разгрузку. Группы агрегированных ресурсов мощностью 10 МВт и более, которые принимают участие в рынке системных услуг, должны предоставлять данные посредством телеметрии.

Продукт *RDRR* обеспечивает противоаварийный *DR* на рынке *CAISO*. Этот продукт предлагается на рынке «на сутки вперед» и используется при событиях на рынке в режиме реального времени, осуществляя поставку электроэнергии с целью поддержания надежности. Поставщик *DR* может не предоставлять информацию о доступности отдельных ресурсов и не подавать заявку на участие в рынке системных услуг. В рамках продукта *RDRR* поставщик должен предоставить мощность на разгрузку объемом не менее 0,5 МВт и произвести сброс нагрузки в полном объеме в режиме реального времени в течение 40 минут с момента получения сигнала. Минимальная длительность сброса нагрузки составляет 1 час, максимальная — 4 часа.

Аукцион DR. В январе 2016 г. энергокомпании штата Калифорния в США объявили о результатах первого в штате аукциона мощности с участием *DR* в качестве ресурса мощности. Механизм аукциона управления спросом (*Demand Response Auction Mechanism — DRAM*) был внедрен на территории штата, чтобы позволить широкому кругу распределенных энергоресурсов — от систем накопления электроэнергии до электромобилей — подавать заявки на участие в оптовом рынке при условии снижения уровня энергопотребления как минимум на 0,1 МВт.

В ходе аукциона было законтрактовано 40 МВт мощности на разгрузку за счет *DR*, предоставленного различными поставщиками услуг. Компания *SCE* предоставила 20 МВт, *PG&E* — 17,7 МВт и *SDG&E* — 3 МВт. Объем мощности на разгрузку, законтрактованный всеми энергокомпаниями, превысил необходимый уровень в 22 МВт. На аукционе были одобрены заявки таких поставщиков услуг *DR*, как *EnerNOC* и *Energy Connect*, а также разработчика систем накопления электроэнергии *Stem* и агрегатора нагрузки бытовых потребителей *EnergyHub*. Кроме того, была одобрена заявка компании *Motor Werks*, предусматривающая использование 1000 станций зарядки электромобилей на стороне бытовых потребителей.

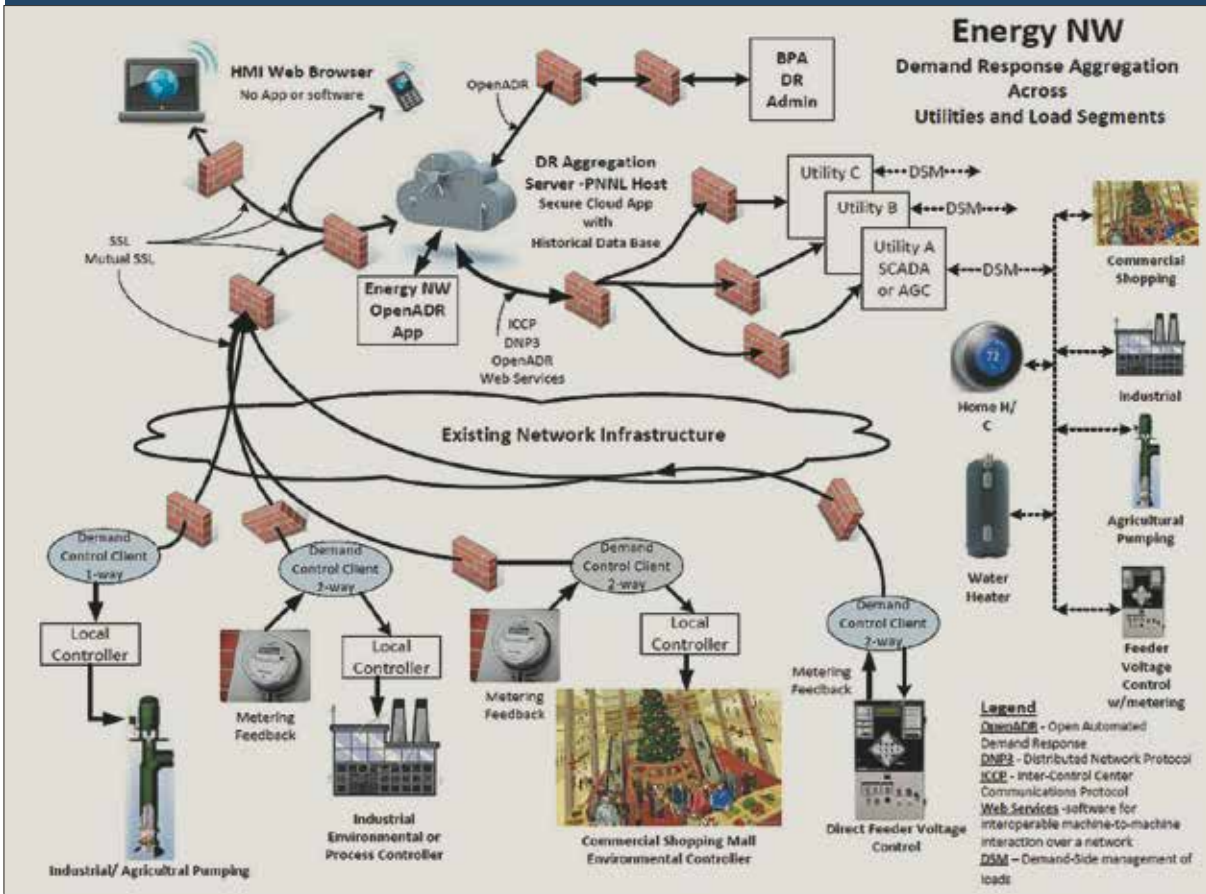
Проекты в области DR: Североатлантический демонстрационный проект коммерческого применения агрегированного DR. В проекте был задействован ряд технологий

Табл. 2. Виды *DR* на рынке *CAISO*

| Продукт | Виды рынков | Описание |
|--|---|--|
| DR через посредника (<i>Prox DR — PDR</i>) | Экономический DR на рынке электроэнергии и системных услуг (быстро вводимого резерва) «на сутки вперед» и в режиме реального времени | Ресурс DR подает заявку на рынке как поставщик электроэнергии |
| Ресурс DR для обеспечения надежности (<i>Reliability Demand Response Resource</i>) | Экономический DR на рынке электроэнергии «на сутки вперед», DR для обеспечения надежности (противоаварийный DR) на рынке в режиме реального времени | Ресурс DR подает заявку на рынке как поставщик электроэнергии; продукт используется для обеспечения надежности |

Источник: *CAISO*.

Рис. 2. Система управления агрегированным DR компании Energy Northwest



Источник: Energy Northwest.

и приняли участие несколько партнеров с целью создания ресурса DR общей мощностью 35 МВт для его использования в качестве оперативного резерва мощности со сроком поставки в течение 10 минут при интеграции генерации за счет ВИЭ компании *Bonneville Power Administration (BPA)*. Агрегация ресурса DR, который успешно функционировал в течение 12 месяцев прошлого года, была осуществлена компанией *Energy Northwest* и ее партнерами-энергокомпаниями.

Участники проекта создали с нуля масштабируемую платформу DR (рис. 2), которая обеспечивает управление в режиме реального времени деятельностью распределенных энергоресурсов, включая нагрузку промышленных потребителей, системы накопления электроэнергии на базе аккумуляторных батарей и автома-

тизированный DR на основе SCADA. В рамках проекта была разработана модель для участия государственных организаций в области электроэнергетики в рынке в качестве агрегаторов DR.

Электромобили

Долгосрочная стратегия Калифорнии в области транспорта направлена на сокращение выбросов парниковых газов, развитие рынка автомобилей с нулевыми выбросами и поддержку экономического роста штата. Кроме того, использование электромобилей помогает получать максимальные преимущества от применения интеллектуальных технологий с целью обеспечения надежности энергосистемы. В период с 2011 по 2014 г. в Калифорнии было продано 67 675 электромобилей, что составляет 33% продаж электромобилей в США.

В 2013 г. *CAISO* совместно с регулятивными органами штата опубликовали «Дорожную карту по интеграции электромобилей в энергосистему: обеспечение системных услуг за счет электромобилей», которая является частью более крупного Плана действий по созданию автомобилей с нулевыми выбросами, разработанного губернатором штата. «Дорожная карта» предписывает, каким образом системный оператор *CAISO* и регулятивные органы штата в области энергетики должны выстраивать политику и внедрять технологии, необходимые для оказания системных услуг электромобилями при одновременном удовлетворении нужд потребителей в транспорте.

Применение интеллектуальных стратегий зарядки электромобилей и системных услуг за счет электромобилей предусматривает появление



новых рыночных правил, которые в конечном счете дадут потребителям возможность зарабатывать деньги при продаже электроэнергии обратно в энергосистему. Все это требует объединения усилий правительствен-

ных органов и коммерческих организаций в рамках исследовательских и пилотных проектов с целью построения соответствующей инфраструктуры и разработки правил, поддерживающих деятельность электрических и гибридных автомобилей.

Проекты в области электромобилей: проект установки станций зарядки электромобилей SDG&E. В мае 2015 г. энергокомпания SDG&E начала установку станций зарядки для 3500 электромобилей в 350 местоположениях на территории своего обслуживания в штате Калифорния стоимостью в 52,5 млн долл. США в рамках трехгодичного пилотного проекта «Power Your Drive», целью которого является стимулирование покупки электромобилей потребителями. Потребители будут оплачивать зарядку электромобилей SDG&E. Компания также разработает первую в США систему ценообразования в режиме реального времени, доступ к которой можно будет получить на смартфоне. Это позволит потребителям заряжать электромобили в течение внепиковых периодов спроса, когда цены на электроэнергию невелики (рис. 3).

Стоимость установки и управления станциями зарядки электромобилей составит 45 млн долл. SDG&E также вложит 7,5 млн долл. в программу обучения потребителей, которая будет включать возможность тест-драйва электромобилей любых производителей, а также получение информации о преимуществах и стимулах их покупки. Преимущества предполагают низкую стоимость топлива и возможность зарядки за счет электроэнергии на основе ВИЭ. Стимулы предусматривают налоговые льготы и компенсационные выплаты в размере до 10 тыс. долл.

Системы накопления электроэнергии

Крупномасштабные системы накопления электроэнергии считаются незаменимыми с точки зрения поддержки интеграции ВИЭ за счет того, что имеют возможность хранения электроэнергии, когда спрос на нее низкий, и осуществления ее поставок в короткие сроки при высоком спросе. Способность накопителей электроэнергии формировать двусторонние потоки электроэнергии важна при управлении колебаниями производства электроэнергии, обусловленными использованием ВИЭ.

Системы накопления электроэнергии

Системный оператор CAISO совместно с регулятивными органами штата разработал и опубликовал в декабре 2014 г. «Дорожную карту в области систем накопления электроэнергии», чтобы помочь участникам рынка определить направления развития рынка и приоритеты. CPUC поставила перед тремя энергокомпаниями штата задачу по заключению контрактов на создание систем накопления электроэнергии на рынке CAISO общей мощностью 1325 МВт к 2020 г. (PG&E — 580 МВт, SCE — 580 МВт и SDG&E — 165 МВт). Установка систем должна быть завершена к концу 2024 г.

Сегодня на рынке CAISO реализуется несколько крупномасштабных пилотных проектов, направленных на расширение участия накопителей электроэнергии в деятельности энергосистемы (рис. 4). Такие проекты, как военно-воздушная ба-

задача по заключению контрактов на создание систем накопления электроэнергии на рынке CAISO общей мощностью 1325 МВт к 2020 г. (PG&E — 580 МВт, SCE — 580 МВт и SDG&E — 165 МВт). Установка систем должна быть завершена к концу 2024 г.

Рис. 4. Пилотные проекты в области систем накопления электроэнергии на рынке CAISO



Источник: Федеральная комиссия по регулированию энергетики, США

за в Лос-Анджелесе и микросеть в Калифорнийском государственном университете Сан-Диего, обеспечивают получение важных данных о том, как эти ресурсы функционируют в реальных условиях. Системный оператор CAISO, в свою очередь, может провести на практике различные подходы к решению проблем в области телеметрии, присоединения к сети, моделирования, поддержки уровня напряжения и частоты до полного внедрения систем накопления электроэнергии в деятельность энергосистемы.

Проекты в области систем накопления электроэнергии: проект SDG&E и Hecate Energy Bancroft. Энергокомпания SDG&E подписала контракт с Hecate Energy Bancroft LLC на установку системы накопления электроэнергии мощностью 20 МВт, способную снабжать электроэнергией 28 тыс. домов в течение 4 часов в г. Сан-Диего. Эта система с использованием литий-ионной батареи станет крупнейшей в своем роде в районе Сан-Диего и будет поддерживать использование ВИЭ, а также оказание услуг в области устойчивого развития. Собственником системы станет компания Hecate Energy Bancroft, которая будет поставлять электроэнергию в соответствии с соглашением о закупке электроэнергии сроком на 20 лет. Строительство объекта предположительно будет завершено в 2019 г. Реализация этого проекта поможет SDG&E достичь объема мощности в 79 МВт за счет систем накопления электроэнергии в рамках выполнения задачи, поставленной CPUC.

Энергоэффективность

Жители Калифорнии на протяжении десятилетий стремились к энергосбережению как посредством использования усовершенствованных способов возведения зданий, так и за счет участия в программах энергоэффективности для бытовых электроприборов. В 2013 г. программа энергоэффективности штата позволила сэкономить 70 тыс. ГВт•ч электроэнергии, при этом стандарты штата в области энергоэффективности по-



могли сократить общую сумму счетов за энергоснабжение на 74 млрд долл. США начиная с 1975 г. (рис. 5).

Проекты в области энергоэффективности: программа энергоэффективности SDG&E. Совместно с компанией Willdan Energy Solution SDG&E приступает к запуску программы в области энергоэффективности, в результате которой объем энергосбережений достигнет 18,5 МВт к концу срока ее реализации в 2024 г. Проект будет направлен на оказание поддержки при управлении энергопотреблением в местных зданиях за счет использования систем обогрева помещений и кондиционирования воздуха, морозильных установок, систем освещения и других приборов коммерческой деятельности.

Заключение

Опыт рынка CAISO доказывает, что использование ВИЭ совместно с другими распределенными энергоресурсами, такими как накопители электроэнергии, электромобили, действия в области энергоэффективности и DR, ведет к сокращению инвестиций в развитие сетевой инфраструктуры и, соответственно, экономии средств потребителей. В 2016 г. коммунальная энергокомпания штата — PG&E отказалась от 13 проектов по реконструкции ЛЭП низкого напряжения общей стоимостью в 190 млн долл. в связи с

результатами, полученными за счет применения распределенных энергоресурсов. В свою очередь, энергокомпания SDG&E в марте 2016 г. в ответ на требования регулирующего органа штата в связи с выводом из эксплуатации АЭС «Сан-Онофре» объявила тендер на предоставление 140 МВт мощности на разгрузку также за счет распределенных энергоресурсов.

Опыт CAISO в области применения распределенных энергоресурсов, в частности использования DR, является передовым, и многие страны обращаются к нему при разработке национальных программ на рынках электроэнергии. Например, Великобритания рассматривает DR как средство, с помощью которого можно достичь целей в борьбе с изменением климата и управлять энергосистемой, однако ряд трудностей мешают его полной интеграции в деятельность рынка. Так, в отчете «Энергетическая революция и будущие вызовы политике Великобритании в области энергетики и борьбы с изменением климата», подготовленном Комитетом по энергетике и изменению климата Палаты представителей Парламента Великобритании в октябре 2016 г., проводится анализ целей и развития DR на рынке CAISO и предлагается, опираясь на практику CAISO, найти способы расширения рынка DR в Великобритании. **Э Р**