

УДК 620.313

О.В. ЗГУРОВЕЦЬ, Г.П. КОСТЕНКО (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

## ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Проанализирован опыт США в области управления электропотреблением. Установлено, что система мероприятий, получившая название DSM (Demand Side Management, или управление потреблением), оказалась эффективной для решения ряда проблем, возникших из-за дефицита и удорожания энергетических ресурсов, а также необходимости в новых генерирующих мощностях. Выявлено, что элементы этой системы могут быть эффективно внедрены и в условиях Украины.

Существующая в Украине ситуация с недостатком маневренных мощностей [1] приводит к необходимости использования крупных энергоблоков для регулирования суточных графиков электрической нагрузки, что нерационально как с точки зрения потери эксплуатационного ресурса блоков, так и использования первичных энергоресурсов.

Стремительный рост цен на топливо и износ большей части энергоблоков на фоне недостатка средств на реконструкцию существующих и строительство новых маневренных генерирующих мощностей ОЭС Украины определяет актуальность поиска новых эффективных решений, направленных на сбалансирование отечественной энергосистемы. Практика многих зарубежных стран показывает, что одним из путей решения данного вопроса может служить использование комплекса мероприятий, направленных на управление спросом.

Следует отметить, что перспективность управления спросом на электрическую энергию определяется Энергетической стратегией Украины до 2030 года, где общий потенциал энергосбережения, достижимый в результате применения методов управления нагрузкой потребителей, оценивается в 1263 млн. кВт·ч на уровне 2030 года. Не менее важным является и то, что управление нагрузкой рассматривается Энергетической стратегией как важное средство регулирования графиков электрической нагрузки, существенно облегчающее условия поддержания частоты в энергосистеме энергоблоками тепловых электростанций.

С целью разработки и внедрения комплекса наиболее эффективных форм и методов управления нагрузкой в условиях Украины следует проанализировать зарубежный опыт с целью формирования оптимальной энергоэффективной политики Украины. Одной из стран, чей опыт может быть особенно полезен для Украины, является США, где вопросы управления потреблением получили наибольшее развитие.

Вопрос приведения спроса потребителей в соответствие с возможностями генерации в отечественной практике возник еще в 20-е годы прошлого века во время строительства Днепровской ГЭС, когда рассматривалась возможность сезонного использования энергоемких предприятий. Более широкое развитие управление потреблением получило в 60-е годы с целью более рационального использования энергетического хозяйства и повышения качества электроэнергии путем уплотнения графиков нагрузки и проведения антипиковых режимных мероприятий. В начале семидесятых годов, в связи с удорожанием и лимитированием энергоресурсов, возникла необходимость усложнения тарифов с целью более точного отслеживания графика нагрузки как отдельного предприятия, так и энергосистемы в целом. Это привело к переводу крупных потребителей с присоединенной нагрузкой более 750 кВА на двухставочный тариф, который аппроксимировал кривую электропотребления уже двумя параметрами: потребленной электроэнергией и заявленной мощностью.

В период становления Украины как независимого государства был принят ряд законопроектов, касающихся реформирования электроэнергетического комплекса и базирующихся на модели энергорынка Великобритании. Основной их целью было увеличение эффективности работы комплекса путем демонополизации и внедрения рыночных отношений.

Тем не менее, существующие методы управления, которые разрабатывались в условиях командно-административной политики, полностью отвечают современным требованиям рыночной экономики и нуждаются в определенной коррекции на основе мирового опыта рыночных преобразований в энергетике.

В США столкнулись с необходимостью внедрения управления потреблением во время энергетических кризисов 1973-го и 1979 гг. Тогда правительства многих стран обратились к созданию программ сокращения энергопот-

ребления. Одним из первых примеров послужило утверждение Закона о национальной политике энергосбережения (National Energy Conservation Policy Act) 1978 года в США, которому предшествовали энергетические кризисы в штатах Калифорния и Висконсин 1975 года [2]. В ответ на рост цен на первичные энергоресурсы и их возникший дефицит был разработан ряд мер, получивших название DSM (Demand Side Management, или управление потреблением). DSM развивалось наиболее быстро в Калифорнии и северо-западной части США, хотя к середине 1980-х оно распространилось по остальной территории как средство уменьшения потребности в строительстве новых станций и сетей. Созданное в 1974 году Международное энергетическое агентство (International Energy Agency) в 1993 году начало международную программу по развитию и продвижению DSM технологий. Сегодня это программа включает 21 страну Европы, Азии, Америки и Австралии [3].

Наибольшее развитие вопрос управления потреблением получил в США. На развитие управления спросом в США к 1993 году 447 энергокомпаний расходовало более 3,2 млн. долл. ежегодно (1,7% общего объема реализации электроэнергии), а за период с 1989-го по 1999 г. на DSM было потрачено более 23,1 млн. долл., в том числе 14,7 млн. на повышение энергоэффективности [4]. В Европе в течение 1994 года было выполнено около 600 DSM-программ [5].

DSM включало ряд мероприятий, нацеленных как на общее снижение уровня потребления, так и на выравнивание графика нагрузки путем уменьшения пиков, смещения нагрузки в области меньшего потребления, стимулирования спроса в провалах графика нагрузки энергосистемы. DSM разделяется на два класса подзадач [6]: энергоэффективности (Energy efficiency) и управления спросом (Demand response (DR) или Load management) (рис. 1).

Управление спросом (DR) можно определить как комплекс мер, нацеленных на изменение характера электропотребления конечными потребителями либо в ответ на изменение стоимости электроэнергии в течение времени, либо благодаря поощрительным выплатам, разработанным для побуждения к снижению потребления во время пиков нагрузки или в случае возникновения угрозы функционирования энергосистемы.

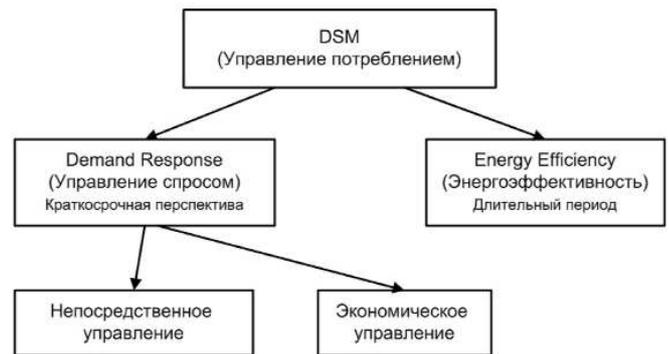


Рис. 1. Структура DSM

Вопрос дефицита энергии во время пиков потребления в экономическом смысле аналогичен недостаточному предложению и напрямую связан с ростом цен. В результате расходы на более дорогую электроэнергию включаются в стоимость итоговой продукции, уменьшая ее конкурентоспособность у потребителей, с одной стороны, и вызывая дополнительные затраты на покрытие пиков потребления у генерирующих энергокомпаний, с другой. Это привело к необходимости создания эффективных механизмов воздействия не только на увеличение производства электроэнергии, но и на увеличение гибкости (эластичности) её спроса. Решение этой задачи было возложено на меры по управлению потреблением, дающие возможность уменьшать цену электроэнергии на оптовом рынке путем уменьшения спроса.

По оценкам [7], 5% снижение спроса в часы максимума потребления во время Калифорнийского кризиса 2000-2001 гг., как это видно из рис. 2, приводит к 50% снижению цены.

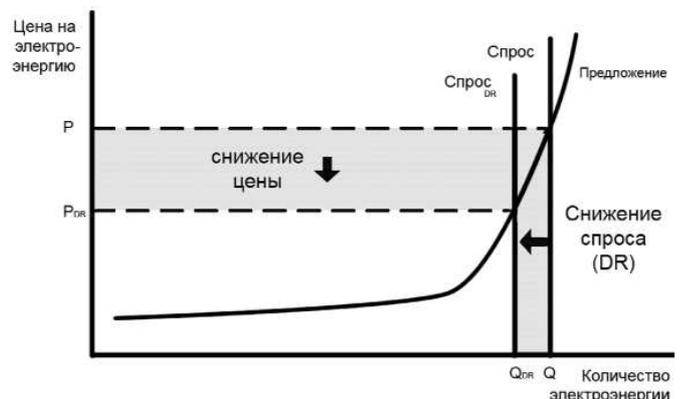


Рис. 2. Зависимость цены на электроэнергию от спроса (потребления)

Важность и эффективность управления спросом посредством использования тарифов

реального времени была подтверждена результатами исследований университета Карнеги Меллоун в 2006 году. На примере энергокомпании Пенсильвания – Нью Джерси – Мериленд было показано, что небольшой сдвиг в пике потребления приводит к весомым сбережениям и позволяет избежать ввода новых пиковых электростанций: однопроцентный сдвиг нагрузки привел к 3,9 млн. долл. сбережений на системном уровне, а примерно 10%-ное снижение пикового потребления даёт выигрыш от 8 долл. до 28 млн. долл. [8].

Управление спросом включает два класса задач. Первый класс составляют программы, использующие принцип ценообразования для воздействия на кривую потребления (непрямые методы). Второй класс состоит из программ, основанных на добровольном участии потребителей в контуре управления (прямые методы управления).

Программы управления, использующие принцип ценообразования, представляют собой различные модификации динамических тарифов (Dynamic Pricing), когда потребителям предлагаются розничные цены на потребленную энергию, которые варьируются в зависимости от периода использования и отражают тот факт, что стоимость электроэнергии и цены её оптовых закупок различны во времени. К динамическим тарифам относят дифференцированную тарификацию по времени использования, пиковую и тарификацию реального времени.

**Дифференцированная тарификация по времени использования (Time-Of-Use Pricing).** Такая тарификация может иметь сезонный характер и устанавливаться два раза в год (летний и зимний сезоны) либо, по аналогии с отечественными зонными тарифами, варьироваться в течение суток, включая от двух до четырех ценовых периодов в день. Иногда в структуру дифференцированной тарификации включают стоимость электроэнергии пиковых периодов потребления (критические пиковые цены Critical Peak Pricing), когда отдельные часы в определенное время года отражают реальную стоимость пиковой электроэнергии. Пиковая тарификация пока не сильно распространена, но уже зарекомендовала себя в пилотных проектах штатов Флориды, Калифорнии, Северной и Южной Каролины [7].

**Тарификация в режиме реального времени (Real-Time Pricing).** Потребителям предоставляются цены, устанавливаемые наперед и осно-

ванные на реальных оптовых ценах рынка. Цены для оплаты потребленной электроэнергии в эти периоды, как правило, устанавливаются и сообщаются потребителям за день или за час до использования, что позволяет им изменять спрос, перенося потребление на период с более выгодными ценами.

К программам по добровольному участию можно отнести следующие:

1. Непосредственное управление нагрузкой (Direct Load Control) – программа мероприятий, позволяющих прерывать нагрузку потребителей на короткие промежутки времени в момент прохождения пиков энергосистемы посредством прямого воздействия оператора системы. Это может осуществляться путем непосредственного прерывания энергоснабжения отдельных устройств или оборудования, потребительских помещений. Этот вид контроля применим, как правило, для бытовых потребителей в системах обогрева/кондиционирования.

2. Обратная покупка (Demand Buyback) – предоставляет возможность потребителям отказываться от потребления электроэнергии в обмен на возврат денег по заранее определенной цене. Потребитель имеет возможность выбора времени и степени участия в ответ на запрос энергокомпании.

3. Предложение цены (Demand Bidding) – позволяет потребителям участвовать в торговле электроэнергией, которую они могут не использовать, предлагая цену за возможность изменения своего графика потребления.

4. Диспетчеризация аварийной генерации (Dispatchable Standby Generation) – дает возможность диспетчеризации пользовательских резервных генераторов, поддерживая их в синхронной работе с электrorаспределительной сетью с помощью наблюдения и управления оператором системы.

5. Прерывание нагрузки (Interruptible Load) – программа, позволяющая в соответствии с контрактными соглашениями прервать нагрузку потребителей в периоды сезонного пика потребления путем непосредственного управления либо по требованию оператора системы. Этот вид контроля, как правило, применим к коммерческим и промышленным потребителям и позволяет отключать или сдвигать потребление на несколько часов.

6. Защита потребителей от отключений (Black Out Protection) – программа снижения

нагрузки, которая освобождает заказчиков от ротации отключений в обмен на частичное сокращение нагрузки всей цепи в течение всех периодов отключений.

7. Снижение потребления по событию (Event Driven Demand Reduction) – меры по сокращению спроса мощности в пиковые периоды нагрузки или смещение ее во внепиковый период.

8. Предопределенное снижение мощности (Predetermined Demand Reduction). Добровольные программы финансового стимулирования, когда потребителям предлагается сократить спрос заранее в периоды пикового спроса.

9. Добровольное снижение нагрузки (Voluntary Curtailment). Программы для клиентов, которые добровольно согласны сократить свое потребление, или "снизить мощность".

10. Программы аварийного снижения мощности (Emergency Demand Response Programs) – задействуются в моменты снижения оперативных резервов энергосистемы до уровня, при котором снижение нагрузки потребителей необходимо для поддержания краткосрочной надежности системы.

Распространенность программ, предлагаемых различными компаниями можно оценить по данным исследования [9], приведенным в таблице 1.

Исследование включало сбор данных по 29-и энергокомпаниям и двум действующим государственным программам США, предоставляющим различные сервисы DSM, и охватывало 14 штатов и две канадские провинции. Можно сделать вывод о популярности программ, основанных на динамической тарификации (в рамках обзора ее предлагало 93% компаний), в основном, это методы, использующие дифференцированные тарифы. Затем следуют программы по обратной покупке/предложению цены (76% предложений), программы добровольного снижения нагрузки (52% предложений) и программы по прерыванию нагрузки (45% предложений).

Методы управления потреблением могут быть задействованы на протяжении всего периода управления энергосистемой (рис. 3). Так, программы, основанные на предупреждении потребителей "за день" до реагирования, должны сопоставляться с рынком следующего дня или соответствующей системой планирования генерации.

Для осуществления проектов по управлению потреблением необходима разработка регули-

Таблица 1

Программа	Охвачено штатов/провинций	Количество энергокомпаний
Тарификация в режиме реального времени (Real-Time Pricing)	7	7
Дифференцированная тарификация по времени использования (Time-Of-Use Pricing)	13	26
Обратная покупка (Demand Buyback)	8	19
Предложение цены (Demand Bidding)	1	3
Непосредственное управление нагрузкой (Direct Load Control)	1	1
Диспетчеризация аварийной генерации (Dispatchable Standby Generation)	1	1
Прерывание нагрузки (Interruptible Load)	8	13
Защита потребителей от отключений (Black Out Protection)	2	6
Снижение потребления по событию (Event Driven Demand Reduction)	1	1
Предопределенное снижение мощности (Predetermined Demand Reduction)	3	3
Добровольное снижение нагрузки (Voluntary Curtailment)	8	15

рующих стимулов, дающих толчок к их внедрению и развитию. Достаточно распространенной практикой в штатах является включение затрат DSM-программ в тариф на электроэнергию (до 16-17%) и не включение инвестиционной составляющей затрат энергокомпаний, пока строящаяся новая станция не введена в эксплуатацию (существенное увеличение риска инвестиций в новые электростанции приводит к боль-



Рис. 3. Участие программ по управлению спросом в оптимизации работы энергосистемы

шему развитию альтернативных программ управления потреблением). Для решения конфликта, вызванного снижением продаж ввиду уменьшения потребления электроэнергии, производится индексация потерь доходов. В частности, допускается получение с потребителей чистого дохода (который имели бы компании без уменьшения продаж энергии). Метод разделения доходов гарантирует энергокомпаниям доходы независимо от объема продаж. Энергокомпании составляют балансовые счета отклонения доходов и эту разницу включают в расчет цены на энергию для потребителей на следующий год. Этот механизм разрывает связь между объемом продаж и прибылью, создавая предпосылки для внедрения программ управления электропотреблением. В некоторых штатах для стимулирования энергокомпаний, вкладывающих средства в подобные программы, используют разные финансовые способы: повышение нормы прибыли, премирование и разделение экономии [10].

Возможности программ по управлению спросом напрямую зависят от заинтересованности в них энергокомпаний, их вложений в эту сферу и, в конечном счете, количества сервисов, предлагаемых потребителям. Так, недостаточная активность энергокомпаний США в 2004 году привела к снижению на 32% возможности уменьшения пикового потребления и составила 20 500 МВт или 3% от общего потребления электроэнергии [7]. Этому способствовало снижение количества энергокомпаний, предоставляющих сервисы по управлению потреблением с 407-и до 273-х, а также снижение общих затрат на эти программы на 10% (рис. 4).

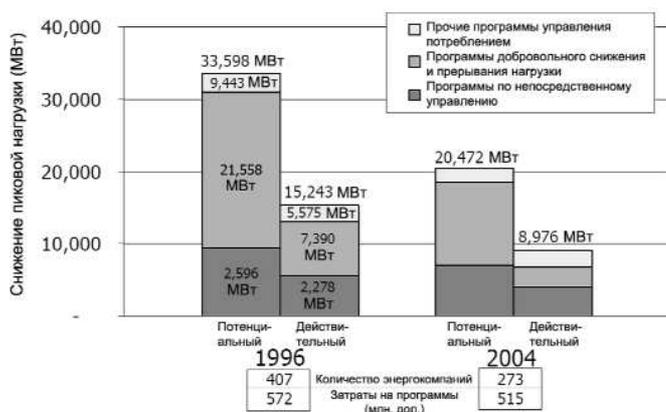


Рис. 4. Потенциал снижения спроса в часы "пик" в США 1996 и 2004 гг.

Опыт США показывает, что роль программ управления потреблением возрастает вслед-

ствие усилий энергетических комиссий штатов и заметного вклада программ в улучшение экологической ситуации, а также ввиду сложностей, связанных с размещением и сооружением новых электростанций и электрических сетей. Актуальность программ по управлению потреблением значительно не уменьшится даже при увеличении генерирующих возможностей и достаточном развитии сетей, так как они всегда будут рассматриваться в качестве дополнительного, эффективного, недорогого "экологического" резерва мощности.

Использование рассмотренных подходов в условиях Украины позволило бы ускорить нормализационные процессы в энергетической отрасли, создало бы благоприятные условия для более эффективной работы потребителей. Но для успешной реализации программ по управлению спросом на электроэнергию необходимо создание экономических стимулов, заинтересовывающих потребителей, проработка методологических, технических и нормативно-правовых аспектов, дающих возможность участвовать в регулировании и регламентирующих принципы и правила работы [11].

Решение таких задач позволит использовать подходы, которые оказались эффективными в США и других странах мира. К ним можно отнести создание прогрессивной системы тарифов вплоть до почасовой тарификации и ценообразования в режиме реального времени (Real-Time Pricing) для крупных потребителей; введения критических пиковых цен (Critical Peak Pricing) – для малых; массового задействования добровольных программ непосредственного управления мощностью потребителей, таких как: прямое управление (Direct Load Control) установками потребителей (в системах накопления тепловой энергии обогрева/кондиционирования); прерывистая нагрузка (Interruptible/Curtailment Load) для крупных предприятий потребителей-регуляторов; программы экстренного снижения мощности (Emergency Demand Response) и программы по созданию резерва отключаемой мощности (Capacity-Market Programs); разработка систем обратной покупки электроэнергии (Demand Bidding/Buyback).

Таким образом, расширение программ по динамической тарификации и методам непосредственного управления мощностью потребителей может сделать достаточно весомый вклад в управление графиком потребления, обеспечив

возможность как более рационального использования, так и освобождения средств от пользования существующего генерирующего оборудования, так и освобождения средств от постройки необходимых пиковых мощностей.

1. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року // Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.06 № 145-р.*
2. *Retrospective Examination of Demand-Side Energy Efficiency Policies. Kenneth Gillingham, Richard Newell, Karen Palmer. Washington. – 2004.*
3. *Implementing Agreement on Demand-Side Management Technologies and Programmes 2006. International Energy Agency. (Annual Report – Stockholm, January 2007).*
4. *Assessment of Demand Response and Advanced Metering. U.S. Department of Energy. The Federal Energy Regulatory Commission (Staff Report – August 2006).*
5. *UNIPED Electricity Outlook, UNIPED/EURELECTRIC. – 1994.*
6. *Demand Response in the United States. An Overview. Wedgemere Group, Inc. – 2004.*
7. *Benefits of Demand Response and Recommendations. U.S. Department of Energy (Report to the U.S. Congress – February 2006).*
8. *Demand Response and Electricity Market Efficiency. Kathleen Spees, Lester Lave. Carnegie Mellon Electricity Industry Center (Working Paper – June 2007).*
9. *Demand Response Survey. Sharon Irwin, Eric Waeckerlin. Committee on Regional Electric Power Cooperation – 2002.*
10. *Сюсюкин А.И. Реформа электроэнергетики и ее возможные последствия для экономики России // Электрика. – 2007. – № 3. – С. 5-14.*
11. *Праховник А.В., Находов В.Ф. Проблемы, методы и способы управления использованием электрической энергии / Научові вісті НТУУ "КПІ". – 1997. – С. 41-48.*