

Внедрение модели ценозависимого управления спросом на электропотребление в промышленности*

Аннотация

Статья посвящена разработке и внедрению модели ценозависимого управления графиками электрических нагрузок на промышленных предприятиях. Методология исследования основана на использовании концепции Smart Grid и, в частности, Demand-side management. Авторами проведен анализ отечественных и зарубежных инструментов управления спросом на электропотребление и обоснована высокая актуальность внедрения инструментов управления спросом на промышленных предприятиях России. Представлена классификация факторов, тормозящих процесс внедрения модели управления электрическими нагрузками на промышленных предприятиях. Разработана модель ценозависимого управления электропотреблением на промышленном предприятии, учитывающая выявленные факторы, а также структурные взаимосвязи производственных служб предприятий. С целью повышения скорости внедрения и эффективности применения модели предложен алгоритм ее последовательной реализации. Алгоритм включает пять этапов в соответствии с принципами постепенного расширения охвата производственных объектов, последовательного усложнения модели управления, поэтапного повышения экономического эффекта. В статье приводится детальное описание каждого из этапов внедрения модели ценозависимого управления с разработкой параметров вводимых изменений по всем направлениям деятельности промышленного предприятия.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие новых технологий приводит к более частой смене технологических укладов, которые неизбежно касаются всех уровней социально-экономической деятельности человечества, к системной трансформации как технологической, так и управленческой структуры экономических систем. Масштаб и экономическая эффективность внедрения новых технологий существенно дифференцируются в отраслевом разрезе. Целесообразность изменений обусловлена следующими причинами:

во-первых, успешное внедрение технологий приводит к повышению инвестиционной привлекательности отраслей, вливанию средств в их дальнейшее развитие и адаптацию к высокодинамичным изменениям внешней среды;

во-вторых, эффективные отраслевые изменения играют важную роль в функционировании и развитии экономики, приводят к получению народнохозяйственных эффектов, которые транслируются как на смежные отрасли экономики, так и на конечных потребителей продукции отраслей.

В последние 20 лет в рамках глобального экономического пространства наблюдается интенсивный рост спроса на потребление энергетических ресурсов, что, в условиях постепенного истощения разведанных нефтегазовых запасов, приводит к повышению стоимости всех видов энергоресурсов на мировых энергетических рынках. Поэтому одним из базовых направлений развития технологий в энергетике и промышленности являются энергосбережение и повышение энергетической эффективности.

Значительный резерв роста энергетической эффективности экономики заключается в области совершенствования процессов управления. Базой совершенствования технологий в этой области являются информационные технологии, позволяющие интенсифицировать процессы сбора и передачи



▶ **БАЕВ Игорь Александрович**
Доктор экономических наук,
заведующий кафедрой финансов,
денежного обращения и кредита

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
454080, РФ, г. Челябинск,
пр. Ленина, 76
Тел.: +7 (351) 267-98-17
E-mail: baevia@susu.ru



▶ **СОЛОВЬЕВА Ирина Александровна**
Доктор экономических наук,
доцент кафедры финансов,
денежного обращения и кредита

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
454080, РФ, г. Челябинск,
пр. Ленина, 76
Тел.: +7 (351) 267-98-17
E-mail: solovevaia@susu.ru



▶ **ДЗЮБА Анатолий Петрович**
Кандидат экономических наук,
заместитель генерального директора

ООО «МСК Энерго»
454021, РФ, г. Челябинск,
ул. Салавата Юлаева, 15
E-mail: dzyuba-a@yandex.ru

JEL classification

M11, L94, L11

* Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (постановление от 16 марта 2013 г. № 211), соглашение № 02.A03.21.0011.

▶ **Igor A. BAEV**
*Dr. Sc. (Econ.), Head of Finance,
 Money Circulation and Credit Dept.*

**South Ural State University
 (National Research University)**
 76 Lenina Ave.,
 Chelyabinsk, 454080, Russia
 Phone: +7 (351) 267-98-17
 E-mail: baevia@susu.ru

▶ **Irina A. SOLOVYOVA**
*Dr. Sc. (Econ.), Associate Professor
 of Finance, Money Circulation and
 Credit Dept.*

**South Ural State University
 (National Research University)**
 76 Lenina Ave.,
 Chelyabinsk, 454080, Russia
 Phone: +7 (351) 267-98-17
 E-mail: solovevaia@susu.ru

▶ **Anatoly P. DZYUBA**
Cand. Sc. (Econ.), Deputy Director

000 MSK Energo
 15 Salavata Yulaeva St.,
 Chelyabinsk, 454021, Russia
 E-mail: dzyuba-a@yandex.ru

Ключевые слова

УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ
 ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ
 ЦЕНОЗАВИСИМОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ
 ГРАФИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
 ЭНЕРГЕТИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ
 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Keywords

DEMAND MANAGEMENT
 ELECTRICITY DEMAND
 PRICE-DEPENDENT DEMAND
 ELECTRICITY DEMAND SCHEDULE
 POWER SUPPLY IN INDUSTRY
 ENERGY EFFICIENCY

JEL classification

M11, L94, L11

Introducing a model for price-dependent management of industrial demand for energy resources

Abstract

The paper aims to develop and introduce a price-dependent management model of electricity demand schedules at industrial enterprises. The research methodology comprises Smart Grid Concept and Demand-side management, in particular. The authors analyse demand-side management tools applied in Russia and abroad and substantiate the urgency of introduction of demand management tools at Russian industrial enterprises. We also develop a classification of factors hindering the process of introducing an electricity demand management model at manufacturing plants. The authors propose a model for price-dependent management of industrial demand for energy resources which allows for identified factors and the structural interconnections between enterprises' production divisions. With a view to accelerating the introduction and increasing the efficiency of the model, the paper provides an algorithm for its consistent implementation. The algorithm consists of five stages following the principles of a gradual increase in the number of industrial units covered, growing complexity of the management model and a step-by-step increase in the economic effect. The article gives an in-depth description of the stages of implementation of the price-dependent management model with the development of the parameters of the introduced changes in all areas of an industrial enterprise's activity.

информации о параметрах потребления энергоресурсов, параметрах состояния объектов управления и передавать упреждающие управляющие воздействия на объекты управления. В действующих условиях становится очевидным, что сценарии развития технологий мировой энергетики имеют тесную взаимосвязь с достижениями в области информационных технологий.

В передовых странах мира внедрение современных информационных технологий уже активно интегрируются с энергетическим комплексом, что предопределяет неотъемлемость процессов системной и структурной трансформации. Такая интеграция будет приводить к институциональному и структурному изменению процессов обращения энергоресурсов, созданию новых функциональных свойств энергосистемы и формированию новых экономических и управленческих полей, способствующих постепенному снижению затрат на всех уровнях цепочки создания конечного продукта в отрасли.

Формирование новых экономических полей проявляется в образовании новых форм взаимоотношений между отраслями производителей и потребителей энергоресурсов в форме оптового и розничного рынков электрической энергии. На энергорынках закуп электрической энергии производится в режиме реального времени, при этом операторы рынка способны контролировать объемы производства и потребления электроэнергии одновременно у всех участников, с расчетом обязательств участников на основе параметров потребления.

Формирование новых управленческих полей проявляется в новых подходах к планированию и управлению процессом потребления энергоресурсов, которые связаны с изменением внешней и внутренней среды, с разработкой новых систем энергоснабжения и с расширением возможностей управления и контроля энергопотребления.

Целью настоящего исследования является разработка алгоритма и практических рекомендаций по внедрению инструментов управления спросом в повседневную практику функционирования отечественных промышленных

предприятий. Для достижения указанной цели были поставлены задачи: рассмотреть наиболее распространенные в мировой практике инструменты управления спросом; выделить и классифицировать факторы, сдерживающие эффективное внедрение подобных инструментов на предприятиях; разработать алгоритм поэтапного внедрения модели управления спросом на электропотребление в промышленности с конкретизацией происходящих изменений во всех сферах деятельности предприятий.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Концепция энергосистем, основанных на цифровой платформе, во всем мире имеет определение Smart Grid (пер. с англ. – умные сети электроснабжения) [3; 7]. Технология умных энергосистем базируется на концепции полностью интегрированной, саморегулирующейся и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, работающей в режиме реального времени, связанной с потребителями электроэнергии¹. В странах ЕС политика развития умных сетей реализуется на базе единой платформы Smart Grid European Technology Platform, в США на основе Закона об энергетической независимости и безопасности² [8]. В настоящий момент внедрение концепции Smart Grid производится постепенно, начиная с внедрения отдельных элементов, таких как Smart Metering (SM) [16], Demand-side management (DSM), Integrated Demand Side Management (IDSM)³, Demand-side response (DSR), Dynamic demand (DD) [10], Distributed Energy Resources (DER) [6] и т.п.

УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ (DEMAND-SIDE MANAGEMENT)

Одной из составляющих концепции Smart Grid является управление спросом на электропотребление (англ. Demand-side management). Управление спросом на электропотребление – это инициативная фор-

ма экономического взаимодействия субъектов электроэнергетики с конечными потребителями электрической энергии, обеспечивающая взаимовыгодное, экономически эффективное регулирование объемов и режимов электропотребления [1]. Термин DSM был введен после мировых нефтяных кризисов, произошедших в 1973 и 1979 гг.⁴

Управление спросом на электропотребление направлено на выравнивание суточных и сезонных графиков спроса на электропотребление в масштабах региональных и объединенных электроэнергетических систем (рис. 1, 2), что, в свою очередь, способствует снижению затрат на этапах производства, транспортировки и распределения электроэнергии и в конечном счете снижению тарифов на электроэнергию.

Из рис. 1 видно, что графики сезонного и суточного спроса на электропотребление характеризуются волатильностью, обусловленной влиянием целого ряда

⁴ OPEC Oil Embargo 1973–1974. U.S. Department of State, Office of the Historian. Retrieved August 30, 2012.

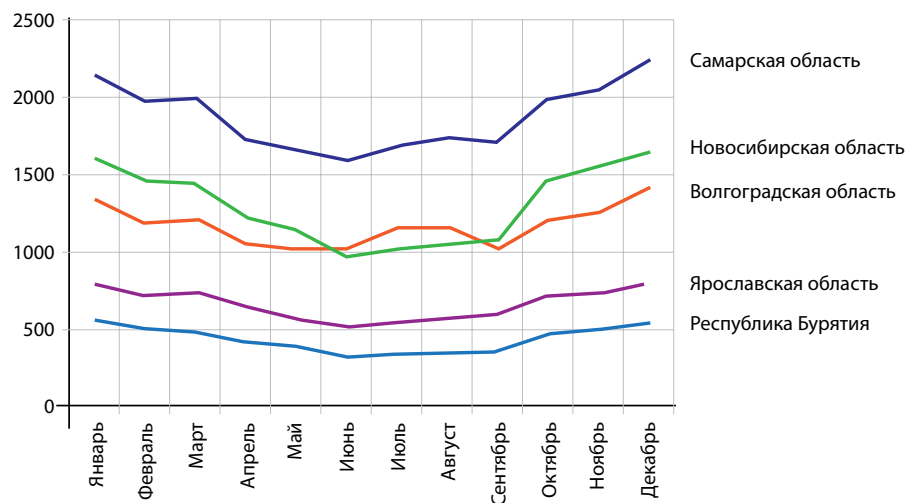


Рис. 1. Пример месячных графиков спроса на электропотребление некоторых регионов России за 2016 г., тыс. МВт/мес.

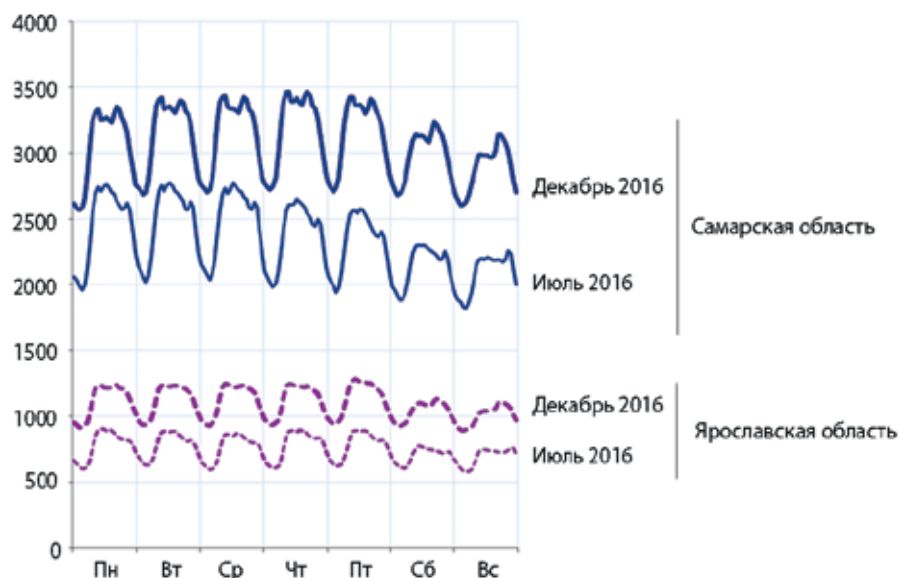


Рис. 2. Пример графиков почасового спроса на электропотребление некоторых регионов России за календарную неделю декабря и июля 2016 г., МВт

¹ Smart Power Grids – Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009. P. 38–42.

² European Smart Grid technology platform: Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future // European Commission. Brussels, 2006.

³ Integrated Demand Side Management (IDSM). Cost Effectiveness Framework White Paper. San Diego Gas and Electric on Behalf of the IDSM Task Force. May 12, 2011. URL: www.calmac.org/publications/IDSM_Final_White_Paper_12May2011.pdf.

факторов. Генерирующие станции подстраиваются к изменяющемуся спросу, вырабатывая дополнительную или меньшую величину электроэнергии. Однако в периоды пиковой нагрузки дополнительное генерирование обычно обеспечивается менее эффективными «пиковыми» источниками.

Также неравномерность спроса на электропотребление обуславливает необходимость создания резервов, которые используются лишь для покрытия кратковременных пиковых нагрузок со стороны спроса. Значительную же часть времени генерирующие мощности простаивают невостребованными. То же самое касается электросетевой инфраструктуры, проектирование и строительство которой производится с запасом на изменчивость режимов электропотребления.

Мгновенные издержки использования «пиковых» источников энергии отражаются в системе розничных цен конечных потребителей энергосистемы.

Пример ценообразования при различных объемах спроса в сегменте «рынка на сутки вперед» оптового рынка электроэнергии России представлен на рис. 3, который иллюстрирует факт взаимозависимости параметров спроса на электропотребление и рыночной цены закупочной электроэнергии для потребителя.

Графики спроса на электропотребление отдельных регионов или территориальных образований состоят из суммарных графиков спроса потребителей электроэнергии, таких как промышленность, население, транспорт, строительство и пр.

$$W_{\text{регион}}^t = \sum_m W_{\text{потр}}^t, \quad (1)$$

где $W_{\text{регион}}^t$ – объем часового спроса на электропотребление в регионе; $W_{\text{потр}}^t$ – объем часового спроса на электропотребление потребителями региона.

Управление спросом на электропотребление позволяет получить значительный экономический эффект за

счет снижения затрат на закупку электроэнергии сразу для всех потребителей, действующих в рамках энергетической системы.

РЕАКЦИЯ СО СТОРОНЫ СПРОСА (DEMAND RESPONSE)

Управление спросом на электропотребление проводится посредством стимулирования потребителей электроэнергии к синхронному изменению собственного графика нагрузки электропотребления. Регулирование спроса на электропотребление потребителями электроэнергии в рамках отдельных временных диапазонов, направленное на выравнивание спроса на электропотребление, носит название Demand response (реакция со стороны спроса).

Согласно отчетам Федеральной комиссии по регулированию энергетики США (Federal Energy Regulatory Commission), Demand response определяется как «изменения расхода электроэнергии конечным потребителям от своего обычного потребления в ответ на изменение повременных цен на электроэнергию, или стимулы и платежи, направленные на то, чтобы стимулировать более низкое потребление электроэнергии в периоды высоких оптовых рыночных цен или при угрозе надежности системы» [5]. Встречается и такая формулировка Demand response: широкий спектр действий, которые могут быть предприняты на стороне клиента электроэнергии в ответ на конкретные условия в системе электроснабжения (например, пиковый период перегрузки сети или условия высоких цен).

Реакция со стороны спроса – это деятельность потребителей электроэнергии, в процессе которой происходит корректировка графика собственной нагрузки электропотребления вследствие изменения процессов производства и смещения задач, требующих больших объемов электроэнергии, с периодов пиковых нагрузок энергосистемы. Некоторые потребители могут переключать часть

своего потребления электроэнергии на альтернативные источники энергоснабжения, например, на системы малой распределенной генерации.

Существует два направления стимулирования потребителей к корректировке спроса на электропотребление: экономическое и принудительное нормирование.

Экономическое нормирование электропотребления – система управления спросом на электропотребление, основанная на ценовых стимулах, предлагающих потребителям более низкую удельную стоимость электроэнергии в обмен на снижение ее выборки из энергосистемы в пиковые периоды, и наоборот, более высокие тарифы для потребителей, не уменьшающих

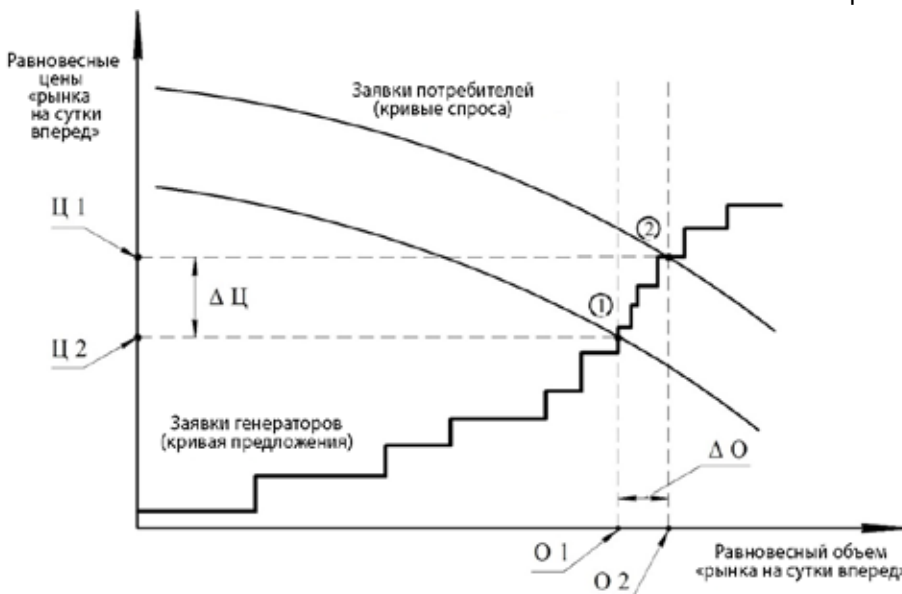


Рис. 3. Пример ценообразования при различных объемах спроса в сегменте «рынка на сутки вперед» оптового рынка электроэнергии России

Источник: [4].

собственное потребление в пиковые периоды энергосистемы.

Принудительное нормирование электропотребления – система управления спросом на электропотребление, основанная на его ограничениях в часы пиковых периодов энергосистемы с целью исключения роста нагрузки электропотребления.

Исторически программы Demand-side response сосредотачивались на максимальном сокращении спроса, что в конечном итоге должно было приводить к минимизации затрат на создание генерирующих мощностей. Современная модель DSR направлена на гибкое изменение формы электрической нагрузки, учитывающее работу систем переменной возобновляемой энергии (Variable renewable energy – VRE).

Программы управления спросом действуют более чем в 30 странах мира, среди которых США [15], Канада [11], Великобритания [14], Европейский Союз, Германия [8], Франция [9], Австралия [12], Дания, Япония, Бразилия [13], Турция, Китай, Тайланд, Вьетнам, Индия, Иран. Одним из базовых сегментов для управления спросом являются бытовые потребители и коммерческий сектор. Это связано с тем, что структура потребления энергоресурсов в различных странах мира существенно дифференцируется (рис. 4).

В России доля промышленного сектора в общем электропотреблении значительно превышает среднемировые показатели. По состоянию на 2015 г. она составляла 65,2%, в то время как в Германии 42,7%, в Японии – 33,1%, а в США – 22,3%. Таким образом, в России основным сегментом для управления спросом на электропотребление является промышленность, что предопределяет необходимость учета данного обстоятельства в процессе разработки программ управления спросом на федеральном и региональном уровнях.

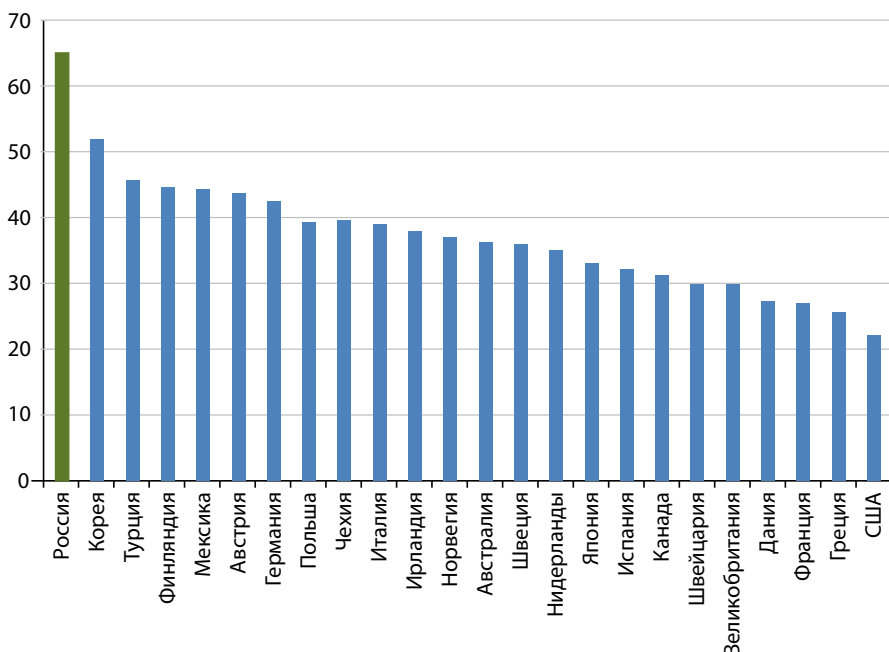


Рис. 4. Диаграмма долей электропотребления промышленности в общей структуре электропотребления некоторых стран мира в 2015 г., %

ЦЕНОЗАВИСИМОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Эффективным элементом управления спросом на электропотребление является система экономического нормирования, что связано с возможностью более гибкого управления спросом потребителей энергосистемы без издержек на контроль и ограничение в потреблении электроэнергии необходимых при реализации системы принудительного нормирования.

Управление спросом на электропотребление на базе системы экономического нормирования носит название «ценозависимое электропотребление». Ценозависимое потребление электроэнергии представляет собой модель управления затратами на электропотребление со стороны конечных потребителей на основе реакции на ценовые сигналы рынка электрической энергии с целью минимизации затрат на ее оплату.

В России, как и в большинстве стран мира, вся электрическая энергия продается и покупается в условиях рынков электроэнергии, особенностью которых является дискретное ценообразование на обращающуюся электроэнергию. Как правило, стоимость электроэнергии напрямую отражает параметры соотношения спроса и предложения, что позволяет потребителям гибко управлять затратами на закупку электроэнергии посредством изменения собственного электропотребления.

Особенностью ценозависимого управления электропотреблением промышленных предприятий является возможность снижения затрат на электропотребление без сокращения объемов производственной программы предприятия. Экономический эффект достигается за счет экономически целесообразного перераспределения графиков производственных процессов и связанных с ними электрических нагрузок. Нами проведен ряд разработок, посвященных моделям ценозависимого управления спросом на электропотребление со стороны потреби-

телей, действующих в рамках как оптового, так и розничного рынка электроэнергии России [2]. При этом задачи разработки моделей управления нагрузками электропотребления со стороны внутренней среды промышленных предприятий остаются недоисследованными.

МОДЕЛЬ ЦЕНОЗАВИСИМОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКАМИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Управление собственным графиком электрических нагрузок промышленных предприятий с целью ценозависимого управления затратами на закупку электроэнергии усложняется рядом факторов, авторская систематизация которых представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Факторы, усложняющие процесс внедрения модели управления электрическими нагрузками на промышленных предприятиях

Фактор	Описание
1. Необходимость управления графиками работы электропотребляющего оборудования, как отдельных производственных объектов, так и объектов, действующих в комплексе	Управление графиками работы электропотребляющего оборудования в заданных величинах и диапазонах на производственных объектах промышленных предприятий часто затруднено особенностями технологических процессов
2. Необходимость управления графиками работы неэлектропотребляющего оборудования, действующего в единой технологической цепочке	При изменении графиков работы электропотребляющего оборудования с целью управления спросом на электропотребление необходимо перестраивать и работу неэлектропотребляющего оборудования, действующего в единой технологической цепочке предприятия
3. Гибкое изменение графиков работы персонала	В случае изменения графиков работы оборудования необходимо изменять условия работы персонала, что связано с дополнительными затратами на оплату труда, например оплату работы в выходные дни
4. Изменение логистической цепочки поставок сырья и материальных ресурсов	Управление графиками процессов производства требует изменений не только на уровне технологических цепочек, но и на уровне снабжения и отгрузки продукции
5. Совершенствование системы планирования на предприятии	В случае введения системы управления спросом на электропотребление необходимо совершенствовать существующие системы планирования на предприятии и учитывать возможность оперативных изменений в графиках работы оборудования
6. Учет влияния изменения спроса на электропотребление на параметры потребления других энергоресурсов	Изменение графиков работы производственного оборудования предприятия с целью выравнивания графиков спроса на электропотребление может привести к возрастанию стоимости закупа других энергоресурсов, например природного газа
7. Повышение требований к системе контроля технологических режимов производства с целью достижения заданного качества продукции в условиях непрерывных изменений	Изменения графиков работы производственного оборудования могут снизить качество технологических режимов, что в свою очередь может привести к увеличению брака
8. Глубокая автоматизация и цифровизация, направленная на повышение качества контроля и управления процессами производства и управления спросом	Для достижения высоких показателей управления спросом, в особенности в масштабах отдельных промышленных предприятий, требуется высокий уровень оснащения средствами учета, контроля и управления
9. Оперативное моделирование как экономических, так и технологических параметров процессов производства для расчета экономических последствий вводимых изменений	Для достижения высокого качества управления спросом требуется высокая скорость принятия управленческих решений, которые базируются на получении своевременной, полной и достоверной информации об экономических и прочих последствиях нововведений
10. Необходимость вовлечения в решение задач управления спросом всех структурных подразделений предприятия	Учитывая комплексность необходимых изменений в масштабах предприятий в процессе управления спросом на электропотребление должны принимать участие все службы предприятия, начиная от служб снабжения и сбыта до технологов и руководителей производств
11. Синхронизация сигналов рынка электроэнергии и изменений режимов работы оборудования предприятия	Учитывая то, что базой технологии управления спросом является среда оптового и розничного рынка электроэнергии, персоналу предприятия необходимо обладать компетенциями в области анализа и прогнозирования параметров рынка
12. Повышение технологических, экономических, производственных рисков деятельности предприятия	Постоянные изменения в графиках работы производственных предприятий неизбежно приводят к росту операционных рисков

Учитывая факторы, перечисленные в табл. 1, в настоящее время модели управления спросом, действующие на промышленных предприятиях, способны влиять на электрическую нагрузку лишь в незначительных диапазонах, составляющих 3–5% от общей величины нагрузки.

На рис. 5 представлена авторская модель ценозависимого управления нагрузками электропотребления на промышленном предприятии, разработанная с учетом усложняющих факторов.

Центром управления является система, объединяющая функции производственного планирования на пред-

приятии, примером которой может быть служба главного диспетчера или служба главного технолога предприятия. Функция сбора информации о параметрах спроса на электропотребление, прогнозирование рыночных индикаторов и моделирование сценариев закупа электроэнергии при различном уровне спроса на электропотребление выполняются в отдельном центре компетенций по реализации ценозависимого управления спросом на электропотребление, тесно взаимодействующем со службами, отвечающими за производственное планирование на предприятии.

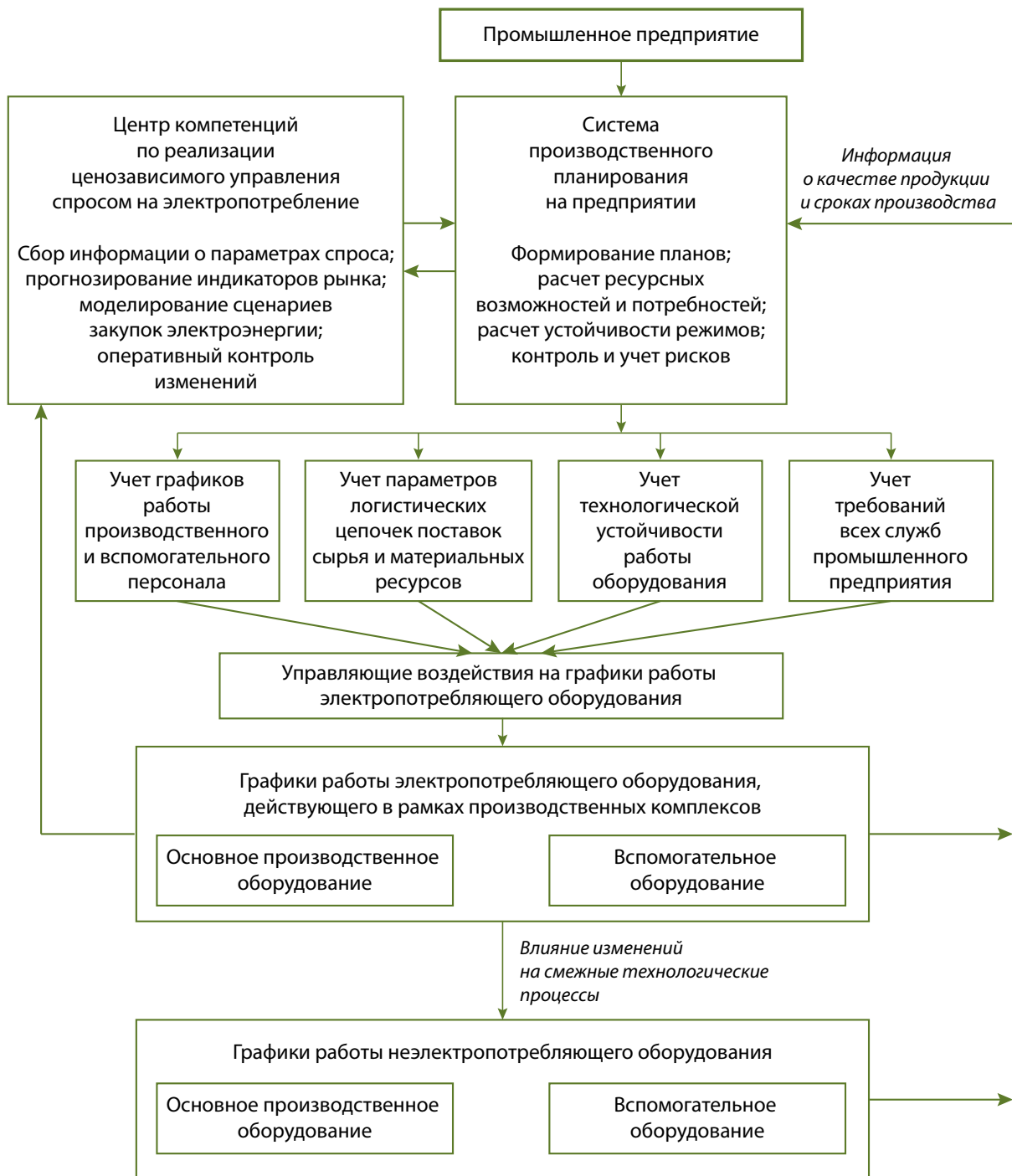


Рис. 5. Модель ценозависимого управления нагрузками электропотребления на промышленном предприятии

В рамках модели ценозависимого управления в процессе разработки сценариев управления графиками электрических нагрузок осуществляется учет режимов работы производственного и вспомогательного оборудования, учет параметров логистических цепочек поставки сырья и материалов, учет технологической устойчивости работы оборудования, а также учет требований работы всех служб промышленного предприятия. В рамках анализа возможных сценариев упреждающих управляющих воздействий проводится расчет альтернатив управления работой основного и вспомогательного электропотребляющего оборудования с учетом их влияния на график работы оборудования, не потребляющего электроэнергию, и на объемы и стоимость потребления прочих энер-

гетических ресурсов. Параметры изменения спроса на электропотребление должны подвергаться постоянному мониторингу и оперативным корректировкам, учитывающим изменения внутренней и внешней среды.

Реализация модели управления нагрузками электропотребления в рамках отдельного промышленного предприятия связана с внедрением комплексных организационных изменений, направленных на гибкое управление графиками процессов производства, а также с обеспечением более гибкой системы управления всеми подразделениями предприятия, в том числе системы планирования. Кроме того, ключевым фактором внедрения модели управления графиками процессов производства является информационная платформа, на базе которой произ-

Таблица 2 – Этапы внедрения модели управления собственным графиком электрических нагрузок промышленных предприятий

Параметр	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
1. Диапазон управления графиком нагрузки на электропотребление в масштабах предприятия	2–4%	4–10%	10–25%	25–50%	50–70%
2. Оборудование, участвующее в управлении спросом	Один электропотребляющий объект	Комплекс электропотребляющих объектов, объединенных схожестью технологических процессов	Комплекс электропотребляющих и неэлектропотребляющих объектов, объединенных рамками отдельных производственных подразделений	Все крупные потребители электроэнергии и неэлектропотребляющие производственные объекты предприятия	Все потребители электроэнергии на предприятии
3. Уровень охвата систем управления предприятия	Производственный персонал объекта	Производственный и вспомогательный персонал объектов, на которых производится управление	Производственные подразделения предприятия, действующие в рамках объектов, на которых производится управление	Все производственные подразделения предприятия, в том числе снабжение и сбыт	Все подразделения предприятия
4. Глубина вводимых организационных изменений	На уровне отдельного производственного объекта (стан, печь)	На уровне комплекса производственных объектов (однотипное оборудование участка, цеха)	На уровне производственных объектов объединенных цехами, участками, корпусами	Все крупные производственные объекты	Все предприятие
5. Уровень изменения системы экономического планирования	Уровень производственного подразделения	Уровень производственного подразделения	Уровень производственного подразделения и уровень предприятия	Уровень производственных подразделений и уровень предприятия	Уровень производственных подразделений и уровень предприятия
6. Степень вовлеченности персонала	Отдел энергетика, плановый отдел	Отдел энергетика, плановый отдел, начальники участков	Отдел энергетика, плановый отдел, начальники цехов	Генеральный директор, главный инженер, отдел энергетика, плановый отдел, снабжение и сбыт	Весь персонал предприятия
7. Необходимость в модернизации производственного оборудования	Отсутствует	Отсутствует	На уровне систем автоматизации объектов регулирования	На уровне систем автоматизации объектов регулирования и смежных производственных объектов	На уровне систем автоматизации объектов регулирования и прочих энергоемких производственных и вспомогательных объектов
8. Уровень учета электроэнергии	Предприятие и производственный объект	Предприятие и комплекс производственных объектов	Предприятие, цеха в которых производится управление, участки, производственные объекты	Предприятие, все цеха в которых производится управление, участки, производственные объекты	Предприятие, все цеха, участки, производственные и вспомогательные объекты
9. Уровень автоматизации и цифровизации процессов производства	Отсутствует	Автоматизированный сбор результатов измерений почасовых параметров электропотребления	Автоматизированный сбор, автоматизация расчетов экономических параметров	Автоматизированный сбор, автоматизация расчетов экономических параметров, выдача планов производства	Интеграция задачи управления спросом на электропотребление с системой ERP
10. Требования к скорости принятия решений о введении изменений	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
11. Горизонт планирования загрузки оборудования	1 месяц	1,5 месяца	3 месяца	6 месяцев	1 год
12. Уровень системности и взаимосвязанности вводимых изменений	Низкий	Низкий	Средний	Высокий	Высокий
13. Степень повышения технологических рисков	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
14. Степень повышения производственных рисков	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
15. Степень повышения экономических рисков	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая

водится сбор исходных данных и их анализ для принятия управленческих решений с последующим контролем.

Учитывая сложность практической реализации модели управления собственным графиком электрических нагрузок, нами предложен алгоритм последовательного внедрения модели управления спросом на предприятии, включающий пять этапов. От этапа к этапу происходит последовательное расширение количества производственных объектов, участвующих в управлении спросом, изменяется глубина вводимых организационных изменений, степень вовлечения персонала и производственных подразделений и пр. Характеристики этапов внедрения модели по различным параметрам сведены в табл. 2.

На *первом этапе* осуществляется управление графиком процессов производства на одном отдельном производственном объекте. В качестве такого объекта может выступать стан, печь, машина и т.п. Организационные изменения ограничиваются данным производственным объектом, особые требования к автоматизации и цифровизации отсутствуют, потенциальный уровень роста рисков минимальный. Этап является наиболее простым для реализации и позволяет персоналу промышленного предприятия понять цели, методы и принципы управления спросом для перехода к дальнейшим этапам внедрения модели. Учитывая незначительное количество объектов управления диапазон регулирования спроса будет ограничен значениями 2–4% от общего объема.

На *втором этапе* расширяется количество производственных объектов, которые характеризуются схожестью выполняемых технологических процессов. Примерами таких объектов могут быть участок нагревательных печей, участок станков, выполняющих либо однотипную, либо последовательную технологическую операцию. Учитывая количество объектов управления целесообразно организовать автоматизированный сбор данных о почасовых параметрах электропотребления. Степень возрастания операционных рисков незначительна. Данный этап, с одной стороны, сохраняет уровень «простоты» первого этапа, с другой стороны, в условиях возрастания информационных потоков позволяет положить начало разработке более сложных алгоритмов управления и повысить эффект от управления спросом. Диапазон регулирования спроса возрастает до 4–10% от общего объема.

На *третьем этапе* расширяется круг объектов управления, ограниченных отдельным производственным подразделением, таким как цех, корпус и т.п. Это позволяет внедрить управление спросом на различ-

ных типах производственных объектов, объединенных общим технологическим процессом. В рамки цехов, корпусов уже входит оборудование, не потребляющее электроэнергию, изменение графиков работы которого необходимо учитывать для управления спросом. В качестве примера можно привести кузнечно-прессовые, механические цеха. На данном этапе организационные изменения ограничиваются территорией производственных площадок цехов и корпусов. Учитывая существенное увеличение количества объектов управления и расширение их номенклатуры, для управления графиками работы целесообразно автоматизировать сбор информации и расчет экономических параметров изменений. Потенциальный уровень возрастания рисков оценивается как средний. Диапазон регулирования спроса возрастает до 10–25% от общего объема.

На *четвертом этапе* круг объектов управления увеличивается и включает все энергоемкие объекты промышленного предприятия, а также неэлектропотребляющие производственные объекты. Примерами таких объектов могут выступать основное производство предприятий, а именно крупные станы, печи, крупные электроприводы механизмов, а также вспомогательные объекты, такие как электротранспорт, используемый в производстве, системы вентиляции, отопления и т.п. Как правило, объем потребления энергии такими установками составляет основную долю общего электропотребления предприятия и может достигать 90% спроса. На данном этапе организационные изменения существенно расширяются и касаются всех производственных подразделений предприятия, в том числе службы снабжения и службы сбыта. Учитывая масшта-

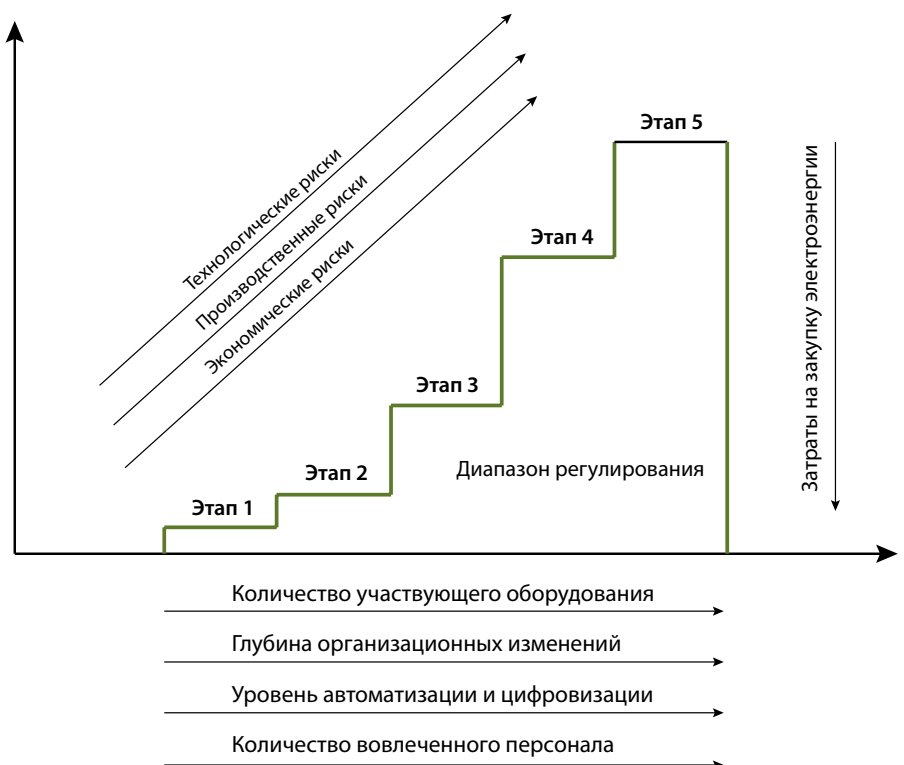


Рис. 6. Схема реализации этапов внедрения модели управления спросом на электропотребление на промышленном предприятии

бы организационных изменений требуется вовлечение в процесс управления спросом значительного количества персонала и при необходимости гибкое изменение сменности работы. Автоматизация целесообразна при сборе информации, расчете экономических параметров и последствий изменений, генерации гибких планов для всех производственных подразделений. Уровень операционных рисков на данном этапе оценивается как высокий. Диапазон регулирования спроса возрастает до 25–50% от общего объема.

На *пятом этапе* управление спросом распространяется абсолютно на все электропотребляющие объекты. При этом изменение графика и электропотребления производится только на тех объектах, где это технологически возможно и экономически целесообразно. Организационные изменения максимально расширяются и касаются всех без исключения подразделений предприятия. Автоматизация необходима на этапе сбора информации, расчетов экономических параметров, генерации гибких планов работы подразделений, а также для интеграции задачи управления спросом на электропотребление с системой ERP предприятия. Особое требование на данном этапе предъявляется к системе коммерческого и технического учета потребления электроэнергии, глубина учета – на уровне единичных потребителей электроэнергии. Уровень операционных рисков высокий. Диапазон регулирования спроса возрастает до 50–70% от общего объема.

Предложенное поэтапное внедрение модели управления спросом на электропотребление на промышленных предприятиях соответствует принципам постепенности расширения охвата производственных объектов, последовательного усложнения модели управления, пошагового повышения экономического эффекта.

На рис. 6 представлена схема реализации этапов внедрения модели управления спросом на электропотребление на промышленном предприятии.

Специфика производственных процессов конкретного промышленного предприятия, структура по-

требления электроэнергии, масштаб производства обуславливают существенную дифференциацию потенциальной продолжительности каждого этапа внедрения модели ценозависимого управления спросом на электропотребление. Например, для машиностроительного предприятия средняя продолжительность первого этапа будет составлять 2 месяца, второго этапа – 4 месяца, третьего – 6 месяцев, четвертого – 1 год, пятого – от 1 до 2 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно подчеркнуть, что разработанная модель ценозависимого управления нагрузками электропотребления имеет высокую практическую значимость для деятельности современных промышленных предприятий, а ее внедрение позволяет в значительной степени сократить затраты на закуп электроэнергии. Учет факторов, усложняющих процесс внедрения модели управления электрическими нагрузками на промышленных предприятиях, будет способствовать сокращению сроков ее внедрения за счет упреждения проблемных ситуаций, повышению гибкости управления и, следовательно, росту эффективности принимаемых управленческих решений.

Разработанный алгоритм внедрения модели ценозависимого управления электропотреблением позволяет последовательно расширять круг управления, сократить количество ошибок, сохранить устойчивость производственной системы предприятия в процессе управления графиками процессов производства, а также учесть сопутствующие технологические, производственные и экономические риски с целью повышения энергетической эффективности функционирования промышленного предприятия в целом.

Разработанная модель может быть адаптирована для всех типов промышленных предприятий вне зависимости от специфики выпускаемой продукции, технологического процесса производства и объемов потребляемых энергетических ресурсов. ■

Библиографическая ссылка: Баев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Внедрение модели ценозависимого управления спросом на электропотребление в промышленности // *Управленец*. 2018. Т. 9. №6. С. 111–121. DOI: 10.29141/2218-5003-2018-9-6-11.

For citation: Baev I.A., Solovyova I.A., Dzyuba A.P. Introducing a model for price-dependent management of industrial demand for energy resources. *Upravlenets – The Manager*, 2018, vol. 9, no. 6, pp. 111–121. DOI: 10.29141/2218-5003-2018-9-6-11.

Источники

1. Гительман Л.Д., Ратников Б.Е., Кожевников М.В. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России // Эффективное антикризисное управление. 2013. №1(76). С. 84–89.
2. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Модель комплексного ценозависимого управления спросом промышленных предприятий на электроэнергию и газ // Известия Уральского государственного экономического университета. 2018. Т. 19. № 1. С. 79–93.
3. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SMART GRID. М.: ИАЦ «Энергия», 2010.
4. Соловьева И.А., Дзюба А.П. Управление спросом на электроэнергию в России: состояние и перспективы // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2017. №3(149). С. 53–62.
5. Albadi M., El-Saadany E.F. Demand Response in Electricity Markets: An Overview // 2007 Power Engineering Society General Meeting (IEEE, 24–28 June, 2007). URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4275494/authors>.
6. Blake S., O'Sullivan D. Optimization of Distributed Energy Resources in an Industrial Microgrid // Procedia CIRP. 2018. Vol. 67. P. 104–109.
7. Carmoab C., Detlefsenb N., Nielsena M. Smart Grid Enabled Heat Pumps: An Empirical Platform for Investigating how Residential Heat Pumps can Support Large-scale Integration of Intermittent Renewables // Energy Procedia. 2014. Vol. 61. P. 1695–1698.
8. Emec S., Kuschke M., Chemnitz M. Potential for demand side management in automotive manufacturing // Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe). 2013. 4th IEEE PES. 6–9 Oct. 2013.
9. Jacquot P., Beau de O., Gaubert S. Demand side management in the smart grid: An efficiency and fairness trade off // Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe). 2017 IEEE PES. 26–29 Sept. 2017.
10. Levi A., Sabuco J., Sanjuán M. Supply based on demand dynamical model // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2018. Vol. 57 (April). P. 402–414.
11. López K., Gagné C., Gardner M.-A. Demand-Side Management using Deep Learning for Smart Charging of Electric Vehicles // IEEE Transactions on Smart Grid. 2018. PP(99):1-1.
12. Marwan M., Ledwich G., Ghosh A. Integrating electrical vehicles to demand side response scheme in Queensland Australia // Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT Europe). 2011 IEEE PES. 13–16 Nov. 2011.
13. Moraes M.J. de, Filho D.O., Vieira G., Scarcelli R. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2011. Vol. 15(9). P. 875–882.
14. Realising transition pathways for a more electric, low-carbon energy system in the United Kingdom: Challenges, insights and opportunities / J. Chilvers, T. Foxon, S. Galloway et al. // Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part A: Journal of Power and Energy. SEP 2017. Vol. 231(6). P. 440–477.
15. Shariatzad F., Mandalb P., Srivastavac A. Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 45(May). P. 343–350.
16. Wen L., Zhou K., Yang S., Li L. Compression of smart meter big data: A survey // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 91(August). P. 59–69.

References

1. Gitel'man L.D., Ratnikov B.Ye., Kozhevnikov M.V. Upravlenie sprosom na elektroenergiyu: adaptatsiya zarubezhnogo opyta v Rossii [Demand-side management: adaptation of foreign experience in Russia]. *Effektivnoe antikrizisnoe upravlenie – Effective Crisis Management*, 2013, no. 1(76), pp. 84–89.
2. Dzyuba A.P., Solov'eva I.A. Model' kompleksnogo tsenozavisimogo upravleniya sprosom promyshlennykh predpriyatiy na elektroenergiyu i gaz [A Model for Comprehensive Price-Dependent Management of Industrial Enterprises' Demand for Electricity and Gas]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta – Journal of the Ural State University of Economics*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. 79–93.
3. Kobets B.B., Volkova I.O. *Innovatsionnoe razvitiye elektroenergetiki na baze kontseptsii SMART GRID* [Innovative development of electric power industry based on the concept of SMART GRID]. Moscow: Energiya, 2010.
4. Solov'eva I.A., Dzyuba A.P. Upravlenie sprosom na elektroenergiyu v Rossii: sostoyanie i perspektivy [Demand-side management in Russia: state and prospects]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta – Vestnik of Samara State University of Economics*, 2017, no. 3(149), pp. 53–62.
5. Albadi M., El-Saadany E.F. Demand Response in Electricity Markets: An Overview. In: *2007 Power Engineering Society General Meeting (IEEE, June 24–28, 2007)*. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4275494/authors>.
6. Blake S., O'Sullivan D. Optimization of Distributed Energy Resources in an Industrial Microgrid. *Procedia CIRP*, 2018, vol. 67, pp. 104–109.
7. Carmoab C., Detlefsenb N., Nielsena M. Smart Grid Enabled Heat Pumps: An Empirical Platform for Investigating how Residential Heat Pumps can Support Large-scale Integration of Intermittent Renewables. *Energy Procedia*, 2014, vol. 61, pp. 1695–1698.
8. Emec S., Kuschke M., Chemnitz M. Potential for demand side management in automotive manufacturing. In: *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*. 2013. 4th IEEE PES. 6–9 Oct. 2013.
9. Jacquot P., Beau de O., Gaubert S. Demand side management in the smart grid: An efficiency and fairness trade off. In: *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*. 2017 IEEE PES. 26–29 Sept. 2017.
10. Levi A., Sabuco J., Sanjuán M. Supply based on demand dynamical model. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2018, vol. 57 (April), pp. 402–414.
11. López K., Gagné C., Gardner M.-A. Demand-Side Management using Deep Learning for Smart Charging of Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2018. PP(99):1-1.
12. Marwan M., Ledwich G., Ghosh A. Integrating electrical vehicles to demand side response scheme in Queensland Australia. In: *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT Europe)*. 2011 IEEE PES. 13–16 Nov. 2011.
13. Moraes M.J. de, Filho D.O., Vieira G., Scarcelli R. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2011, vol. 15(9), pp. 875–882.
14. Chilvers J., Foxon T., Galloway S. et al. Realising transition pathways for a more electric, low-carbon energy system in the United Kingdom: Challenges, insights and opportunities. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. SEP 2017, vol. 231(6), pp. 440–477.
15. Shariatzad F., Mandalb P., Srivastavac A. Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 45(May), pp. 343–350.
16. Wen L., Zhou K., Yang S., Li L. Compression of smart meter big data: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 91(August), pp. 59–69.