

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТОВ ЦЕНОЗАВИСИМОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В РОССИИ

© 2019

А.П. Дзюба, кандидат экономических наук,
старший научный сотрудник кафедры «Финансы, денежное обращение и кредит»
Высшей школы экономики и управления
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет), Челябинск (Россия)

Ключевые слова: промышленные накопители электроэнергии; управление спросом на электропотребление; ценозависимое электропотребление; энергоэффективность; цены на закупку электроэнергии; управление затратами на закупку электроэнергии; промышленная энергетика.

Аннотация: Одним из современных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности, реализуемых в большинстве стран мира, является развитие концепции управления спросом на электропотребление, которое на уровне конечных потребителей электроэнергии реализуется посредством механизмов ценозависимого электропотребления. Целью работы является исследование возможностей применения систем промышленного хранения электроэнергии в качестве инструмента ценозависимого электропотребления в условиях закупки электроэнергии в рамках механизмов оптового и розничного рынков электроэнергии России. В статье проводится анализ особенностей формирования конфигураций графиков спроса на электропотребление промышленными предприятиями с выводами о технологической сложности выполнения ценозависимого управления электропотреблением посредством изменения конфигурации работы электропотребляющего оборудования. На основе анализа возможностей применения систем промышленного хранения электроэнергии сделаны выводы о применении систем в процессе ценозависимого управления электропотреблением без существенного изменения технологии внутренних процессов работы предприятия. На примере использования системы промышленного хранения электроэнергии в статье выполнен расчет экономической эффективности применения технологии по всем ключевым компонентам стоимости электроэнергии. Согласно результатам расчета, затраты на закупку электроэнергии для промышленного предприятия, по сравнению с уровнем базового варианта затрат, снизились на 43,2 %, что свидетельствует об эффективности применения систем промышленных накопителей в качестве инструментов ценозависимого электропотребления. Расчет параметров инвестиционных затрат, требуемых для закупки и установки системы промышленного хранения электроэнергии, показал, что простой срок окупаемости вложений составляет 1,93 года, что свидетельствует о целесообразности привлечения инвестиций для применения системы промышленного хранения электроэнергии в рамках повседневной операционной деятельности промышленных предприятий и крупных потребителей энергоресурсов России.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках активного развития политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, реализуемой во многих странах мира, большинство современных инновационных технологических решений применяются именно в отрасли энергетики. Одним из перспективных технологических трендов в области энергетики последних 5 лет является развитие технологий промышленного хранения электроэнергии. Системы промышленного хранения электроэнергии, которые также называют промышленными накопителями электроэнергии [1], по своим функциональным свойствам представляют собой устройства для аккумуляции электроэнергии для ее дальнейшего использования в требуемых интервалах времени и режимах потребления. Накопители электроэнергии могут быть созданы согласно механическому методу, который реализуется на гидроаккумулирующих электростанциях, а также согласно пневматическому методу (методу на основе сжатого воздуха), реализуемого посредством нагнетания давления воздуха в резервуарах с последующим использованием для выработки электроэнергии. Также существуют методы накопления электроэнергии Power-to-Gas (P2G), технологии на основе использования водорода, метана, биотоплива, бора, кремния, цинка и пр., которые из-за высокой стоимости мас-

сового производства накопителей на основе перечисленных технологий находятся на начальном этапе развития. Одним из основных методов накопления электроэнергии является электрохимический метод, который заключается в применении современных литий-ионных либо никель-цинковых аккумуляторных батарей, которые имеют более компактные массогабаритные показатели, что позволяет их производить в различных геометрических конфигурациях. На рис. 1 представлены данные о емкости электрохимических аккумуляторов, используемых в мире за период 1996–2016 гг. Эти данные свидетельствуют о динамичном развитии используемых технологий электрохимических систем хранения электроэнергии.

Развитие систем промышленного хранения электроэнергии занимает все более важное место в мировой электроэнергетике, что прежде всего связано с развитием технологий солнечной и ветрогенерации. Спецификой работы ветрогенерации является необходимость аккумуляции вырабатываемой электроэнергии с целью последующей выдачи в сеть в периоды спроса на потребление электрической мощности. По прогнозам международного агентства возобновляемой энергетики (International Renewable Energy Agency, IRENA) [2] к 2030 году доля рынка систем хранения электроэнергии может вырасти от 70 % до 227 %, по сравнению

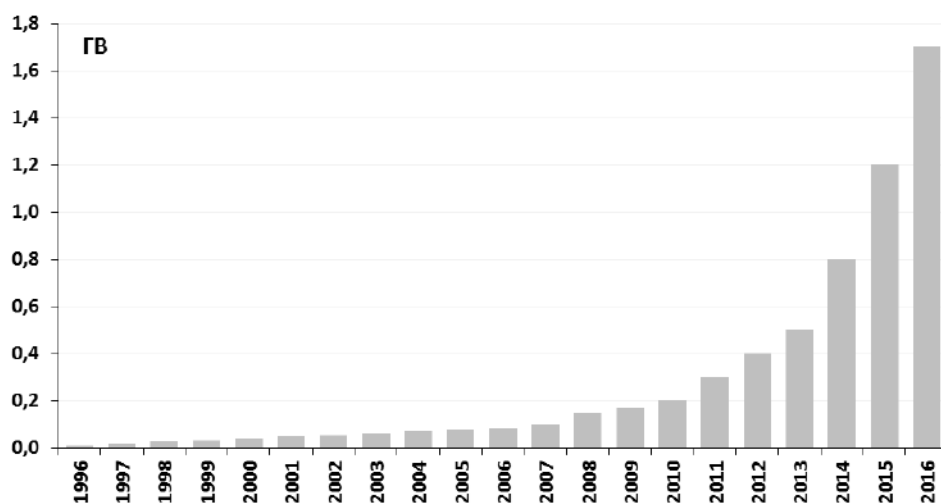


Рис. 1. Емкость электрохимических аккумуляторов, используемых в мире за период 1996–2016 гг. [2]

с 2017 годом, и будет составлять 25 млрд долл. Это зависит от интенсивности развития возобновляемых источников энергии. Государственная политика в области энергетики многих стран мира направлена на создание стимулов для развития рынков систем хранения электроэнергии, что позволяет сделать прогнозы о привлечении существенных инвестиций в развитие НИОКР и производств систем хранения электроэнергии. Это приведет к снижению себестоимости производства систем хранения и наибольшему их распространению в различных направлениях энергетической деятельности. В августе 2017 года Министерством энергетики России также была утверждена «Концепция рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации», что подтверждает активное участие энергетики России в развитии мировых технологических трендов, как подчеркивается в отечественных исследованиях [3].

Значительная часть современных исследований в области использования систем промышленного хранения электроэнергии связана с применением систем хранения в рамках технологии управления спросом на электропотребление. Управление спросом на электропотребление является инициативной формой экономического взаимодействия между электроэнергетической системой и потребителями электроэнергии в части искусственного выравнивания графиков электрической нагрузки на уровне энергосистемы с целью снижения предельных издержек на покрытие пиков неравномерности спроса и тарифов на поставку электроэнергии конечным потребителям энергосистемы [4]. На рис. 2 представлен пример графиков продолжительности электрических нагрузок по двум вариантам спроса. На графике «А» представлен график продолжительности электрических нагрузок со значительной долей пиковой и полупиковой нагрузки. Для покрытия графика «А» электроэнергетической системе потребуется использование пиковых и сезонных электростанций. Эти электростанции используются в течение короткого времени покрытия графика спроса, что существенно увеличивает стоимость конечной электроэнергии, отпускаемой всем потребителям электроэнергетической системы. Выравнивание пиковых параметров спроса электропо-

требления позволяет выровнять график продолжительности электрических нагрузок, как это показано на графике «Б». Это позволит минимизировать использование доли пиковых электростанций в энергосистеме и, следовательно, снизить затраты на поставку электроэнергии всем потребителям в рамках управляемой энергосистемы.

Исследования ученых из разных стран мира посвящены применению промышленных систем хранения электроэнергии (англ. Energy storage [5]) в качестве инструмента управления спросом на электропотребление [6–8]. Авторы предлагают наиболее оптимальные способы хранения электроэнергии, способствующие оптимизации спроса и максимальной эффективности работы систем возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Также проведены исследования в области применения систем хранения электроэнергии на уровне бытовых потребителей электроэнергии, что позволяет существенно расширять сферы применения систем хранения электроэнергии [9; 10]. Исследования в области интеграции ВИЭ, распределенных энергетических ресурсов и систем управления спросом представлены в [11; 12]. Подчеркнем, что в большинстве работ отмечают интеграцию систем ВИЭ и технологий Smart Grid, как, например, в [13], что, по мнению авторов, позволяет в значительной степени повысить эффективность применения ВИЭ, а также надежность и гибкость энергосистемы.

В России применение технологий управления спросом получает лишь первоначальную поддержку со стороны государства. Так, постановление от 20.03.2019 № 287 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности», направлено на стимулирование механизмов управления спросом на электрическую энергию в России. Это наряду с отечественными исследованиями подчеркивает актуальность и перспективность применения технологии управления спросом [14].

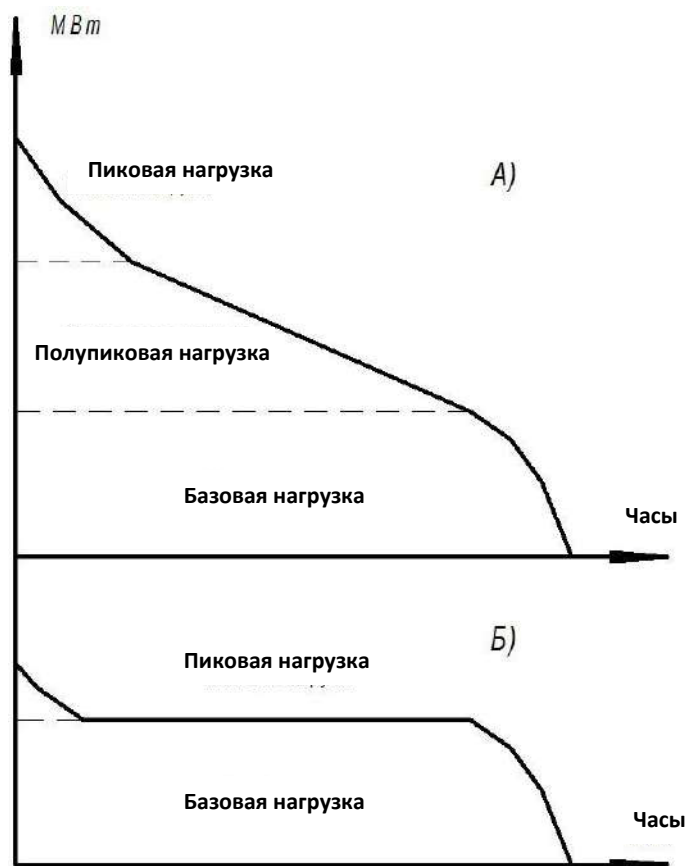


Рис. 2. Пример графиков продолжительности электрических нагрузок по двум вариантам спроса

Цель исследования – практическое оценивание возможностей применения систем промышленного хранения электроэнергии в качестве инструмента ценозависимого электропотребления в рамках действующих условий функционирования оптового и розничного рынков электроэнергии в России.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для создания механизмов, стимулирующих потребителей электроэнергии России к использованию систем промышленного хранения электроэнергии, потребуется время. При этом действующие механизмы закупки электроэнергии на оптовом и розничном рынках электроэнергии уже на современном этапе стимулируют потребителей электроэнергии к использованию промышленных систем хранения.

Ценовые параметры поставки электроэнергии для потребителей электроэнергии, присоединенная мощность которых свыше 670 кВА, обязаны производить расчеты потребленной электроэнергии на основе почасового графика электрических нагрузок. Стоимость поставляемой электроэнергии на оптовом и розничном рынке электроэнергии складывается из трех основных компонентов: электрическая энергия, электрическая мощность и стоимость услуг по передаче электроэнергии [15].

Цены на поставку компонента электрической энергии для различных периодов суток формируются посредством конкурентного механизма ценообразования, с учетом соотношений спроса и предложения на по-

ставку электроэнергии на оптовом рынке. На рис. 3 представлена диаграмма почасовых цен на поставку электроэнергии для потребителей розничного рынка электроэнергии. Источник диаграммы – официальный сайт АО «Администратор торговой системы оптового рынка».

Цены в периоды ночного минимума нагрузки и цены в периоды часов суточного максимума энергосистемы могут отличаться более чем на 250 %, что свидетельствует о целесообразности пополнения запасов (аккумуляирования) электроэнергии в часы ночных минимумов цен и последующего потребления в часы максимальных цен поставки электроэнергии.

Компоненты стоимости электрической мощности и стоимости услуг по передаче электроэнергии определяются на основе индивидуального графика почасового спроса на электропотребление каждого потребителя электроэнергии [16]. Графики электропотребления промышленных предприятий и крупных потребителей электроэнергии характеризуются внутрисуточными изменениями, которые зависят от внутренних и внешних факторов, действующих на спрос электропотребления. На рис. 4 представлены примеры почасовых графиков электропотребления различных потребителей электроэнергии за типовые сутки.

В большинстве случаев графики электропотребления промышленных предприятий и крупных потребителей энергоресурсов характеризуются возрастанием в дневной период и последующим снижением в ночной период [17]. Таким образом, учитывая специфику

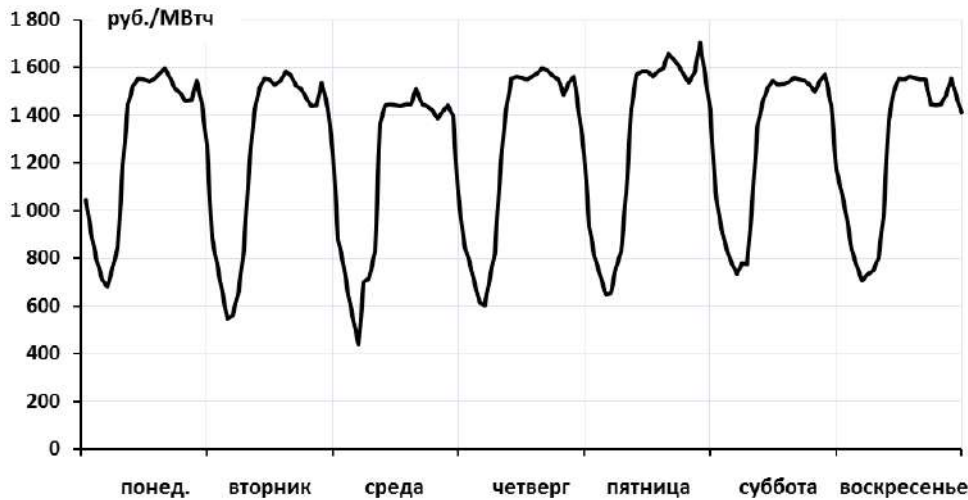


Рис. 3. Пример почасовых цен на электрическую энергию на оптовом рынке на территории Ленинградской области за период 17–23 июля 2018 года

потребления основной доли электрической нагрузки в периоды с максимальной стоимостью закупки электроэнергии, промышленные предприятия могут уменьшать затраты на закупку электроэнергии посредством переноса графиков электрических нагрузок на периоды с наименьшей стоимостью электроэнергии. Однако технологические процессы производств многих промышленных предприятий очень сложно поддаются управлению с целью изменения конфигурации графиков неравномерности спроса. Также изменение расписания графиков работы электропотребляющего оборудования обусловлено с формированием дополнительных затрат, связанных как с простоем производственного оборудования и персонала в период рабочего дня, так и с необходимостью оплаты сверхурочных за работу сотрудников в вечернее и ночное время суток.

На основании проведенного анализа одним из эффективных инструментов управления затратами на закупку электроэнергии для промышленных предприятий, график процессов производства которых не поддается гибкому управлению, является применение систем промышленного хранения электроэнергии. Применение систем промышленного хранения электроэнергии производится на базе модели ценозависимого управления электропотреблением, т. е. на основе изменения параметров выработки и зарядки систем хранения электроэнергии в зависимости от изменения цен на электроэнергию, поставляемой из энергосистемы [18].

Приведем пример расчета экономической эффективности применения системы хранения электроэнергии. В расчете использовались параметры электропотребления типового промышленного предприятия, расположенного в Свердловской области. Формулы расчета параметров, составляющих конечную стоимость электрической энергии, на основании которых будут рассчитываться показатели для исследуемого примера, представлены в таблице 1.

На рис. 5 представлены диаграммы почасовых графиков базового спроса на электропотребление потребителя, графиков почасового заряда и выдачи электроэнергии системой хранения электроэнергии, и график

спроса на электропотребление потребителя из электроэнергетической системы. Как видно из графика базового спроса на электропотребление потребителя, график характеризуется неравномерностью, что проявляется в завышении почасового спроса в период дневного максимума энергосистемы с 10:00 до 14:00 часов.

Промышленная система хранения электроэнергии производит заряд в периоды ночного максимума нагрузки энергосистемы и, следовательно, наиболее низких цен на закупку электроэнергии с 23:00 до 06:00 часов. Далее, после заряда системы хранения начинается режим ожидания с периода 06:00 до периода роста спроса потребителя в периоды роста цен на поставку электроэнергии, а именно до 10:00. Далее с 10:00 до 14:00 система хранения производит выдачу полного запаса электроэнергии во внутреннюю сеть предприятия. Как видно из графика спроса на электропотребление потребителя, результирующий график спроса на электропотребление снижается в период часа дневного максимума на величину выдачи электроэнергии во внутреннюю сеть потребителя. График общего спроса из внешней системы электроснабжения растет в период заряда системы хранения в ночные часы минимума нагрузки.

Проведем расчет экономии эффекта для промышленного предприятия, расположенного в Свердловской области. В таблице 2 приведены параметры графиков электропотребления предприятия из сети, графиков заряда и выработки электроэнергии системой хранения, а также графика потребления электроэнергии из внешней электрической сети. Расчет будет производиться по этим параметрам. Также в указанной таблице приведен график почасовых цен на закупку электроэнергии, на основании которых производились расчеты компонента стоимости закупки электрической энергии.

Заряд системы хранения электроэнергии производится в течение 7 часов с потребляемой мощностью 180 кВт в час. Общая потребляемая мощность предприятия в период максимума дневных часов достигает 580 кВт, что соответствует объемам потребления среднего производственного предприятия [19]. Как видно из таблицы 2,

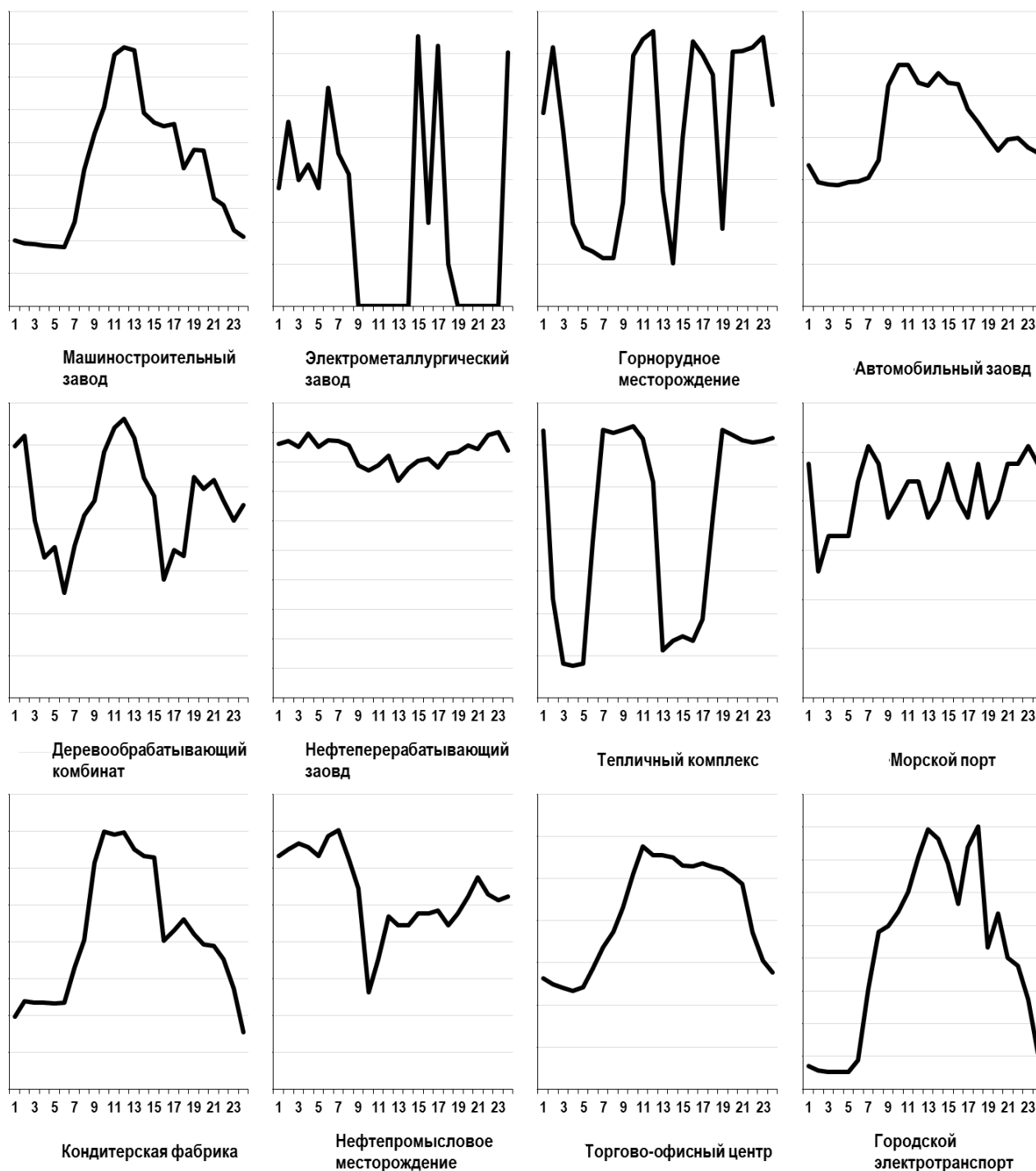


Рис. 4. Почасовые графики электропотребления различных потребителей электроэнергии за типовые сутки

в расчетах применяются данные выработки системы хранения электроэнергии установленной мощности 315 кВт, способной выдавать электроэнергию в сеть после полного заряда заданной мощностью в течение 4 часов.

В таблице 3 представлены результаты расчета экономических параметров закупок электроэнергии промышленным предприятием как в базовом варианте работы предприятия, т. е. без применения системы хранения электроэнергии, так и в варианте применения системы хранения электроэнергии. Расчет экономических параметров закупок также производился по каждому компоненту стоимости электроэнергии.

Стоимость закупки электроэнергии при применении системы хранения электроэнергии снизилась на 9 765 руб. в месяц, или на 3,9 % от общей первоначальной величины затрат на компонент. Стоимость закупок компонента электрической мощности существенно снижается на 54,3 % от стоимости компонента в базовом варианте, и составляет 242 870 руб. в месяц. Стоимость оплаты услуг по передаче электроэнергии также существенно сокращена на сумму 363 966 руб. в месяц, или на 54,3 % от стоимости компонента в базовом варианте. Итоговое снижение затрат на закупку электроэнергии составило 616 601 руб. в месяц, или 7 399 213 руб.

Таблица 1. Описание и параметры расчетов компонентов стоимости электроэнергии

№ п/п	Компонент	Описание	Формула расчета стоимости
1	Стоимость электрической энергии (SW)	Отражает удельные затраты энергосистемы на выработку электроэнергии в каждый час суток	$SW = \sum \text{мес} (W_{EЭС_t} \times Ц_{PCB_t}),$ где $W_{EЭС_t}$ – величина электрической энергии, потребляемой промышленным предприятием из ЕЭС в час t (кВт·ч); $Ц_{PCB_t}$ – цена рынка на сутки вперед (PCB) в час t (руб/кВт·ч)
2	Стоимость электрической мощности (SP)	Отражает оплату стоимости услуг по готовности к выработке электроэнергии в необходимом объеме в определенный период времени, которая производится поставщикам электроэнергии	$SP = VPm \times TPm,$ где TPm – цена мощности, купленной потребителем в месяце m (руб/МВт в мес.); VPm – величина обязательств по покупке мощности (МВт в мес.). $VPm = \sum_{p, \text{мес}} (Wt \in t_{max_per}) / n \text{ раб_мес},$ где t_{max_per} – час совмещенного максимума потребления региональной энергосистемы; $n \text{ раб_мес}$ – количество рабочих дней в месяце. $n \text{ раб_мес} \in T_{\text{пик_CO}},$ где $T_{\text{пик_CO}}$ – интервалы плановых часов пиковой нагрузки
3	Стоимость услуги по передаче (СП)	Отражает плату за оказание услуг энергосистемы по транспортировке электроэнергии, вырабатываемой электростанциями, до конечных потребителей электроэнергии	$СП = СП2\text{содерж} + СП\text{техн_расх},$ где $СП2\text{содерж}$ – стоимость услуги по содержанию электрических сетей (руб.); $СП\text{техн_расх}$ – стоимость услуги по оплате технологического расхода (потерь) в электрических сетях в месяце m , (руб.). $СП2\text{содерж} = T\text{содерж_мес} \times \text{ВП2},$ где $T\text{содерж_мес}$ – ставка тарифа за содержание электрических сетей (руб/кВт·ч); ВП2 – величина, принимаемая для расчета обязательств по оплате содержания электрических сетей, в месяце m (кВт·ч). $\text{ВП2} = \sum_{p, \text{мес}} (\max (W_{EЭС_пик_CO}) / n \text{ раб_мес},$ где $W_{EЭС_пик_CO}$ – максимальная величина потребления электроэнергии в период интервалов плановых часов пиковой нагрузки (кВт). $СП\text{техн_расх} = T\text{техн_расх} \times \sum \text{мес} W,$ где $T\text{техн_расх}$ – ставка тарифа на оплату технологического расхода (потерь) в электрических сетях (руб/кВт·ч); $\sum \text{мес} W$ – месячный объем потребления электроэнергии (кВт·ч)

в год. Это экономит 43,2 % от стоимости электроэнергии в базовом варианте. Полученный результат свидетельствует о высокой эффективности применения механизма ценозависимого электропотребления с помощью системы хранения электроэнергии. Однако в данном расчете не были учтены инвестиционные затраты предприятия на закупку и установку промышленной системы хранения электроэнергии. Проведем простой расчет экономической эффективности инвестиционных вложений.

По данным экспертно-аналитического доклада «Рынок систем накопления электроэнергии в России: по-

тенциал развития», представленного «Роснано», стоимость 1 кВт установленной мощности промышленной системы хранения электроэнергии на сегодняшний день составляет 700 долл. При требуемой величине установленной мощности системы хранения в 315 кВт, затраты на закупку устройства составляют 220 500 долл., что при курсе доллара по состоянию на 2-й квартал 2019 года в размере 65 руб. будет составлять 14 332 500 руб. Учитывая выявленный годовой экономический эффект в размере 7 399 213 рублей, простой срок окупаемости инвестиций будет составлять 1,93 года, что свидетельствует о целесообразности реализации проекта, а также

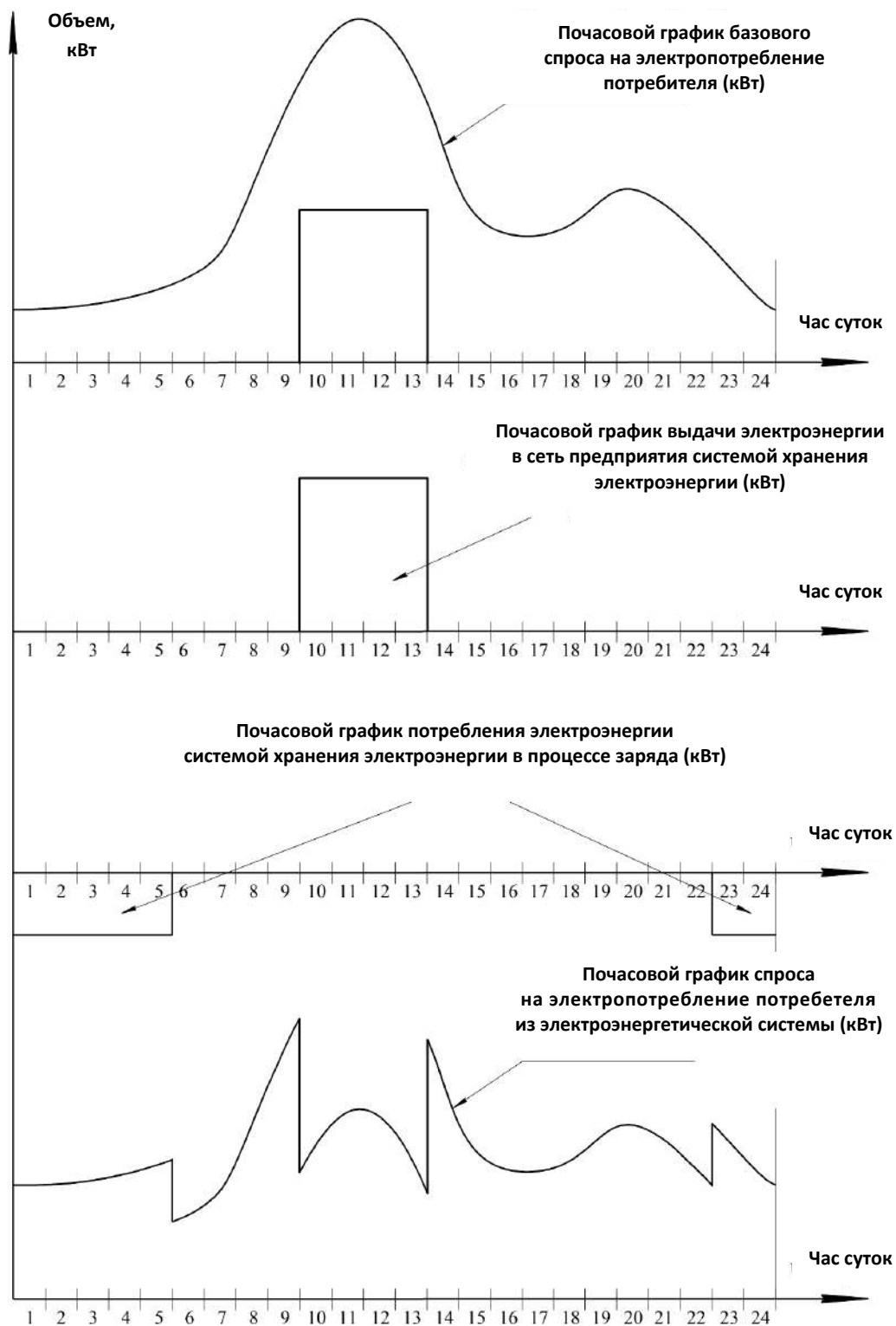


Рис. 5. Диаграммы почасовых графиков спроса на электропотребление потребителя, а также системы хранения электроэнергии

Таблица 2. Параметры графиков электропотребления в базовом варианте, а также в вариантах покрытия при помощи системы хранения электроэнергии

№ пп	Базовый график электропотребления	График заряда системы хранения	График выдачи электроэнергии в сеть системой хранения	График потребления электроэнергии из внешней сети	Цена на закупку компонента электрической энергии из сети
	кВт·ч	кВт·ч	кВт·ч	кВт·ч	руб/кВт·ч
1	100	180	0	280	0,976
2	113	180	0	293	0,959
3	125	180	0	305	0,955
4	138	180	0	318	0,958
5	150	180	0	330	0,997
6	163	0	0	163	1,139
7	200	0	0	200	1,174
8	250	0	0	250	1,227
9	340	0	0	340	1,247
10	450	0	315	135	1,267
11	550	0	315	235	1,240
12	580	0	315	265	1,243
13	540	0	315	225	1,235
14	400	0	0	400	1,224
15	250	0	0	250	1,224
16	240	0	0	240	1,233
17	240	0	0	240	1,238
18	260	0	0	260	1,233
19	320	0	0	320	1,250
20	330	0	0	330	1,246
21	300	0	0	300	1,219
22	260	0	0	260	1,197
23	180	180	0	360	1,081
24	100	180	0	280	1,044

Таблица 3. Экономические параметры применения системы хранения электроэнергии в качестве инструмента ценозависимого управления электропотреблением

№ пп	Параметр	Ед. изм.	Базовый вариант работы предприятия	Использование системы хранения электроэнергии	Полученный эффект
1	Суточный объем электропотребления из электрической сети [20]	кВт·ч в сутки	6 578	6 578	-
2	Количество календарных дней, применяемых в расчетном месяце	дн.	31	31	-
3	Месячный объем электропотребления из электрической сети	кВт·ч в месяц	203 918	203 918	-
4	Затраты на закупку электроэнергии	руб. в месяц	244 683	234 918	9 765
5	Величина оплачиваемой электрической мощности	кВт	580	265	315

№ пп	Параметр	Ед. изм.	Базовый вариант работы предприятия	Использование системы хранения электроэнергии	Полученный эффект
6	Цена на закупку электрической мощности	руб/кВт в месяц	771,02	771,02	-
7	Затраты на закупку электрической мощности	руб. в месяц	447 190	204 319	242 870
8	Величина оплаты составляющей содержания электрических сетей	кВт	580	265	315
9	Ставка оплаты составляющей содержания электрических сетей	руб. в месяц	1 155,45	1 155,45	-
10	Затраты на оплату составляющей содержания электрических сетей	руб. в месяц	670 159	306 193	363 966
11	Ставка оплаты технологического расхода (потерь)	руб/кВт·ч	0,308	0,308	-
12	Стоимость оплаты технологического расхода (потерь)	руб. в месяц	62 807	62 807	0
13	Месячная величина затрат на закупку электроэнергии	руб. в месяц	1 424 839	808 238	616 601
14	Среднемесячная величина тарифа на закупку электроэнергии	руб/кВт·ч	6,99	3,96	3,02

об экономической эффективности применения механизма ценозависимого управления электропотреблением на базе инструмента промышленного накопителя электроэнергии.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основании анализа условий поставки электроэнергии в рамках рынков электроэнергии было выявлено, что, несмотря на то, что в России технологии управления спросом получают лишь первоначальную поддержку со стороны государства, действующие условия поставки электроэнергии на оптовом и розничном рынках электроэнергии уже на современном этапе стимулируют потребителей электроэнергии к использованию промышленных систем хранения посредством применения ценозависимого электропотребления.

2. На основе анализа особенностей структуры конфигурации графиков спроса на электропотребление для различных типов потребителей выявлено, что для ряда потребителей электроэнергии изменение конфигурации графиков работы электропотребляющего оборудования для целей ценозависимого управления электропотреблением сопряжено с существенными сложностями и связано с завышением операционных затрат.

3. На основе результатов расчета применения системы промышленного накопителя электроэнергии для промышленного предприятия, расположенного в Свердловской области, были определены параметры экономического эффекта от применения системы промышленного накопителя. Показано, что снижение затрат на закупку электроэнергии по всем компонентам стоимости электроэнергии составило 7 399 213 руб. в год, или 43,2 % от величины базовых затрат на закупку электроэнергии. Полученный результат свидетельствует о вы-

сокой эффективности применения механизма ценозависимого электропотребления посредством применения системы хранения электроэнергии.

4. Выполненный расчет параметров инвестиционных затрат предприятия на закупку и установку промышленной системы хранения электроэнергии показал, что при необходимых инвестициях на закупку и монтаж промышленной системы хранения электроэнергии в размере 14 332 500 руб., простой срок окупаемости вложений составляет 1,93 года, что в целом свидетельствует о целесообразности реализации инвестиционного проекта закупки системы промышленного хранения электроэнергии для применения в качестве инструментов ценозависимого управления электропотреблением в действующих экономических условиях.

ВЫВОДЫ

Применение технологии промышленного хранения электроэнергии в качестве инструмента ценозависимого управления электропотреблением позволяет управлять конфигурацией графиков спроса на электропотребление без изменения графиков работы электропотребляющего оборудования потребителей электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Накопители в электроэнергетике // Энергетический бюллетень. 2018. № 60.
URL: ac.gov.ru/files/publication/a/16882.pdf.
2. Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2017. 132 p.
3. Курочкин С.В., Кулешов В.Н., Мельников Г.С. Использование водородного цикла накопления энергии для сглаживания пиков и провалов электрической

- нагрузки // Энергосбережение – теория и практика: сборник трудов Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. М.: МЭИ, 2018. С. 452–454.
4. Гительман Л.Д., Ратников Б.Е., Кожевников М.В., Шевелев Ю.П. Управление спросом на энергию. Уникальная инновация для российской электроэнергетики. Екатеринбург: Экономика, 2013. 120 с.
 5. Tong Y., Liang J., Liu H.K., Dou S.X. Energy storage in Oceania // *Energy Storage Materials*. 2019. P. 127–136. Article in print.
 6. Son J., Hara R., Kita H., Tanaka E. Energy management considering demand response resource in commercial building with chiller system and energy storage systems // *ICPERE 2014: 2nd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy*. 2014. Article number 7067239. P. 96–101.
 7. Litjens G., Van Sark W., Worrell E. On the influence of electricity demand patterns, battery storage and PV system design on PV self-consumption and grid interaction // *IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference*. 2017. P. 2021–2024.
 8. Narimani M.R., Asghari B., Sharma R. Energy storage control methods for demand charge reduction and PV utilization improvement // *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. 2017. Vol. 2017. P. 1–5.
 9. Chai W., Cai X., Li Z. A multi-objective optimal control scheme of the hybrid energy storage system for accurate response in the demand side // *ICSAI 2017: 4th International Conference on Systems and Informatics*. 2017. Vol. 2018. P. 300–305.
 10. Changliang L., Yanqun W., Kang B., Weiliang L., Chen C. Energy management strategy research for residential microgrid considering virtual energy storage system at demand side // *ICEMI 2017 - Proceedings of IEEE 13th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*. 2017. Vol. 2018. P. 273–280.
 11. Khalid M., Savkin A.V., Agelidis V.G. Optimization of a power system consisting of wind and solar power plants and battery energy storage for optimal matching of supply and demand // *CCA 2015: IEEE Conference on Control and Applications*. 2015. Article number 7320705. P. 739–743.
 12. Litjens G., Van Sark E., Worrell E. On the influence of electricity demand patterns, battery storage and PV system design on PV self-consumption and grid interaction // *PVSC 2017: IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference*. 2017. P. 1–4.
 13. Pazouki S., Haghifam M.-R. Comparison between demand response programs in multiple carrier energy infrastructures in presence of wind and energy storage technologies // *SGC 2014: Smart Grid Conference*. 2014. P. 267–272.
 14. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Особенности управления спросом на энергоресурсы в России // *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*. 2018. № 11. С. 58–66.
 15. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Модель комплексного ценозависимого управления спросом промышленных предприятий на электроэнергию и газ // *Известия Уральского государственного экономического университета*. 2018. № 1. С. 79–93.
 16. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Управление спросом на электропотребление в России // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2018. № 1. С. 72–79.
 17. Solovieva I.A., Dzyuba A.P. Model of price-dependent management of an industrial enterprise energy consumption // *ICIE-2017: SHS Web of Conferences: 3rd International Conference on Industrial Engineering*. 2017. P. 126–132.
 18. Roy P.K.S., Karayaka H.B., Yan Y., Alqudah Y. Investigations into best cost battery-supercapacitor hybrid energy storage system for a utility scale PV array // *Journal of Energy Storage*. 2019. Vol. 22. P. 50–59.
 19. Калимуллин Л.В., Левченко Д.К., Смирнова Ю.Б., Тузикова Е.С. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2019. № 1. С. 42–54.
 20. Воропай Н.И., Стычински З.А., Козлова Е.В., Степанов В.С., Суслов К.В. Оптимизация суточных графиков нагрузки активных потребителей // *Известия Российской Академии Наук. Энергетика*. 2014. № 1. С. 84–90.

REFERENCES

1. Drives in the power industry. *Energeticheskiy byulleten*, 2018, no. 60.
URL: ac.gov.ru/files/publication/a/16882.pdf.
2. *Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030*. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency Publ., 2017. 132 p.
3. Kurochkin S.V., Kuleshov V.N., Melnikov G.S. The application of hydrogen cycle of energy storage for leveling of peaks and failures of electric load. *Energoberezhenie – teoriya i praktika: sbornik trudov Devyatoy Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov*. Moscow, MEI Publ., 2018, pp. 452–454.
4. Gitelman L.D., Ratnikov B.E., Kozhevnikov M.V., Shevelev Yu.P. *Upravlenie sprosom na energiyu. Unikalnaya innovatsiya dlya rossiyskoy elektroenergetiki* [Energy demand management. A unique innovation for the Russian power industry]. Ekaterinburg, Ekonomika Publ., 2013. 120 p.
5. Tong Y., Liang J., Liu H.K., Dou S.X. Energy storage in Oceania. *Energy Storage Materials*, 2019, pp. 127–136. Article in print.
6. Son J., Hara R., Kita H., Tanaka E. Energy management considering demand response resource in commercial building with chiller system and energy storage systems. *ICPERE 2014: 2nd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy*, 2014, article number 7067239, pp. 96–101.
7. Litjens G., Van Sark W., Worrell E. On the influence of electricity demand patterns, battery storage and PV system design on PV self-consumption and grid interaction. *IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference*, 2017, pp. 2021–2024.
8. Narimani M.R., Asghari B., Sharma R. Energy storage control methods for demand charge reduction and PV utilization improvement. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2017, vol. 2017, pp. 1–5.

9. Chai W., Cai X., Li Z. A multi-objective optimal control scheme of the hybrid energy storage system for accurate response in the demand side. *ICSAI 2017: 4th International Conference on Systems and Informatics*, 2017, vol. 2018, pp. 300–305.
10. Changliang L., Yanqun W., Kang B., Weiliang L., Chen C. Energy management strategy research for residential microgrid considering virtual energy storage system at demand side. *ICEMI 2017 – Proceedings of IEEE 13th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, 2017, vol. 2018, pp. 273–280.
11. Khalid M., Savkin A.V., Agelidis V.G. Optimization of a power system consisting of wind and solar power plants and battery energy storage for optimal matching of supply and demand. *CCA 2015: IEEE Conference on Control and Applications*, 2015, article number 7320705, pp. 739–743.
12. Litjens G., Van Sark E., Worrell E. On the influence of electricity demand patterns, battery storage and PV system design on PV self-consumption and grid interaction. *PVSC 2017: IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference*, 2017, pp. 1–4.
13. Pazouki S., Haghifam M.-R. Comparison between demand response programs in multiple carrier energy infrastructures in presence of wind and energy storage technologies. *SGC 2014: Smart Grid Conference*, 2014, pp. 267–272.
14. Dzyuba A.P., Soloveva I.A. Some specific features of demand management for energy resources in Russia. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom*, 2018, no. 11, pp. 58–66.
15. Dzyuba A.P., Soloveva I.A. A model for comprehensive price-dependent management of industrial enterprises' demand for electricity and gas. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2018, no. 1, pp. 79–93.
16. Dzyuba A.P., Soloveva I.A. Electrical energy demand management in Russia. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*, 2018, no. 1, pp. 72–79.
17. Solovieva I.A., Dzyuba A.P. Model of price-dependent management of an industrial enterprise energy consumption. *ICIE-2017: SHS Web of Conferences: 3rd International Conference on Industrial Engineering*, 2017, pp. 126–132.
18. Roy P.K.S., Karayaka H.B., Yan Y., Alqudah Y. Investigations into best cost battery-supercapacitor hybrid energy storage system for a utility scale PV array. *Journal of Energy Storage*, 2019, vol. 22, pp. 50–59.
19. Kalimullin L.V., Levchenko D.K., Smirnova Yu.B., Tuzikova E.S. Priority areas, key technologies and scenarios of energy storage system's development. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2019, no. 1, pp. 42–54.
20. Voropay N.I., Stychinski Z.A., Kozlova E.V., Stepanov V.S., Suslov K.V. Daily load curve optimization for active consumers. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Energetika*, 2014, no. 1, pp. 84–90.

THE APPLICATION OF TECHNOLOGIES OF ELECTRIC ENERGY INDUSTRIAL STORAGE AS THE INSTRUMENTS OF PRICE-DEPENDENT ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION IN RUSSIA

© 2019

A.P. Dzyuba, PhD (Economics),

senior researcher of Chair “Finance, Money Circulation and Credit” of Higher School of Economics and Management
South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk (Russia)

Keywords: industrial electricity storage; electric power demand management; price-dependent electric energy consumption; energy efficiency; prices for purchase of electricity; cost management for purchase of electricity; industrial energy.

Abstract: One of the modern areas of energy saving and energy efficiency improvement implemented in most countries of the world is the development of the concept of management of the demand for electricity consumption, which is implemented through the price-dependent power consumption mechanisms at the level of final consumers of electricity. The purpose of this paper is to study the possibilities of using industrial energy storage systems as a tool for price-dependent electricity consumption in the context of electricity purchase within the mechanisms of the wholesale and retail electricity markets of Russia. The paper analyzes special aspects of the formation of configurations of demand schedules for electricity consumption by the industrial enterprises with the conclusions about the technological complexity of performing price-dependent power consumption management by changing the configuration of work of the power-consuming equipment. Based on the analysis of possibilities of using industrial electricity storage systems, the author made the conclusions about the application of systems in the process of price-dependent power consumption management without a significant change in the technology of the company's internal processes. Based on the example of the application of the industrial electricity storage system, the paper calculated the economic efficiency of the technology application for all key components of the electricity cost. According to the calculation results, the cost of purchasing electricity for an industrial enterprise decreased by 43.2 % from the basic cost option, which shows the efficiency of using industrial storage systems as the tools for price-dependent power consumption. The calculation of the parameters of investment costs required for the purchase and installation of an industrial energy storage system showed that the simple payback period is 1.93 years, which emphasizes the expediency of attracting investments to use the industrial energy storage system as a part of the day-to-day operating activities of industrial enterprises and large energy resources consumers in Russia.