

УДК 621.316

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРИПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ И ЗАТРАТАМИ НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ

Одним из инструментов снижения затрат на энергоресурсы является ценозависимое регулирование, которое реализуется путем изменения графика нагрузки потребителя на электрическую энергию (мощность). В статье предложен и описан оптимальный метод управления затратами в рамках розничного рынка электрической энергии, который можно адаптировать как под общий производственный процесс, так и под режим работы структурной единицы отдельно взятого цеха (участка), в зависимости от возможности регулирования внутрипроизводственной энергетической системы. Информационную базу для исследования составляют тарифные показатели покупки электроэнергии, фактические данные почасовой нагрузки и распределение пиковых часов максимального энергопотребления региона за период с 2020 по 2023 год. Разработанный метод управления имеет научную и практическую значимость, результаты которого выражаются в снижении затрат на оплату электрической энергии и мощности.

АВТОРЫ:

Рокина Е.Г.,
Шевырев Ю.В., д. т. н.,
НИТУ «МИСиС»

Введение

На сегодняшний день вектор направления многих предприятий сфокусирован на оптимальном управлении между производственным процессом и затратами по обеспечению ресурсами уже сложившегося технологического процесса, основную долю которых составляют энергоресурсы, а именно — электрическая энергия (мощность).

Внутрипроизводственную энергетическую систему наиболее полно характеризует почасовой график электропотребления, на основе которого можно строить оптимальную модель управления, перераспределяя нагрузку с зон наибольшего значения тарифа на электрическую энергию (мощность) на более экономически выгодные диапазоны суток. Помимо анализа распределения нагрузки

по часам, для прогнозирования затрат важно оценить совокупное распределение максимальной нагрузки региона в целом, а также долю участия собственного энергопотребления.

Исходные данные для анализа энергопотребления

Модель ценозависимого управления (ЦУ) энергетической системы представляет собой сложную структуру, которая включает в себя ряд параметров:

- нагрузка структурных единиц производственного цикла и суммарный график потребления электрической энергии (мощности) $W_t(P_t)$ за расчетный период;
- часы максимальной нагрузки структурных единиц производства $(t_{w1}, t_{w2}, t_{w3}, \dots, t_{wn})$, плановые часы пиковой нагрузки, часы пиковой нагрузки региона $T_{ГП}$, а также прогнозируемые часы пиковой нагрузки $t_{\text{прогноз пик}}$, в которые необходимо снизить энергопотребление;
- возможность перераспределения технологического процесса структурной единицы производства. Каждому участку присваивается индекс корректировки режима работы i_p , в зависимости от которого принимается решение о времени включения/выключения или изменения нагрузки ($i_p = 1$ — работа оборудования изменению не подлежит, $i_p \leq 0,9$ — возможно изменить начало и окончание рабочего процесса);
- значения тарифов на энергоресурсы в зависимости от тарифного уровня напряжения, параметров максимальной мощности, ценовой категории.

Учитывая вышеперечисленные параметры, а также действующие нормативно-правовые аспекты в области регулирования розничного рынка электрической энергии (мощности), разработана функция оптимального ценозависимого управления $F_{ЦУ}[1, 2]$:

$$F_{ЦУ} = f \left[\begin{matrix} (\max W_t \in T_{CO}) \& (i_p \leq 0,9) \\ t_{\max} \text{ передачи} \in T_{CO} \\ t_{\max} \text{ покупки} \in T_{CO} \in T_{ГП} \\ \lim_{W_t(P_t) \rightarrow \min} (t_{\text{прогноз пик}}) \\ \sum (W_t \cdot Ц_{РВС}^t) + \sum (\Delta W_t \cdot Ц_{БР}^t) \\ P_t \text{ покупки} \cdot Ц_{СВНЦМ} \\ P_t \text{ передачи} \cdot Ц_{СЕТ С} \end{matrix} \right], \quad (1)$$

где $Ц_{РВС}^t$ — ставка за электрическую энергию, определяемая по результатам конкретного отбора на сутки вперед;

$Ц_{БР}^t$ — нерегулируемая цена на электрическую энергию, определяемая по результатам конкретного отбора заявок для балансирования системы в отношении отклонения фактического потребления от планового;

$Ц_{СВНЦМ}$ — ставка за мощность, определяемая гарантирующим поставщиком;

$Ц_{СЕТ С}$ — ставка удельного расхода на содержание электрических сетей,

тарифа на услуги по передаче электрической энергии.

Оценка результатов эффективности внедрения рассчитывается по формуле [2]:

$$\Delta S = F_{ЦУ} - F, \quad (2)$$

где $F_{ЦУ}$ — затраты на энергоресурсы с учетом ценозависимого управления;

F — текущие затраты на электрическую энергию (мощность).

Моделирование ценозависимого управления

Для апробации разработанного алгоритма проведено исследование на базе одного из предприятий г. Нижний Новгород, в состав которого входит несколько цехов. В качестве

ПАРАМЕТРЫ НАГРУЗКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА

Таблица 1

Время	Прогнозируемые данные			Фактические данные		
	Параметр	Нагрузка, кВт	$F_{ЦУ}(W_t)$, %	Параметр	Нагрузка, кВт	Нагрузка по алгоритму ЦУ, кВт
1:00	-	1 200	1,1	-	1 126	1 226
2:00	-	1 200	1,1	-	1 144	1 244
3:00	-	1 200	1,1	-	1 122	1 222
4:00	-	1 200	1,1	-	1 192	1 212
5:00	-	1 300	1,1	-	1 302	1 282
6:00	-	1 350	1,1	-	1 318	1 278
7:00	-	1 350	1,1	-	1 272	1 272
8:00	T_{CO}	1 400	0,9	T_{CO}	1 333	1 253
9:00	T_{CO}	1 500	0,9	T_{CO}	1 425	1 265
10:00	T_{CO} , $t_{\text{прогноз п}}$	1 500	0,8	T_{CO} , $T_{ГП}$, t_{\max} покупки	1 401	1 251
11:00	T_{CO} , $t_{\text{прогноз п}}$	1 600	0,8	T_{CO}	1 537	1 337
12:00	T_{CO}	1 600	0,9	T_{CO}	1 515	1 315
13:00	T_{CO}	1 500	0,9	T_{CO}	1 414	1 314
14:00	T_{CO} , $t_{\text{прогноз п}}$	1 600	0,8	T_{CO}	1 466	1 326
15:00	T_{CO} , $t_{\text{прогноз п}}$	1 600	0,8	T_{CO}	1 548	1 378
16:00	T_{CO}	1 600	0,9	T_{CO}	1 558	1 458
17:00	T_{CO}	1 500	0,9	T_{CO} , t_{\max} передачи	1 513	1 483

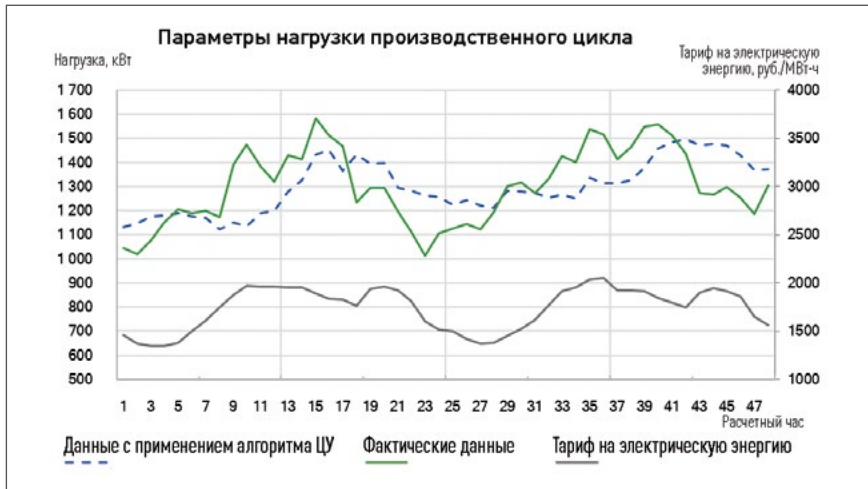
Ключевые слова:
#электрическая энергия; #розничный рынок электроэнергии; #управление; #график нагрузки; #тариф на электрическую энергию (мощность); #ценовая категория; #затраты на энергоресурсы; #экономический эффект.



Фото: janno028 на Freepik

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА И ЗНАЧЕНИЕ ТАРИФОВ

Рис. 1



ветствии с данными тарифов за март 2023 г. представлены в таблице 2 [3].

Таким образом, экономический эффект от применения разработанной модели управления внутрипроизводственной энергетической системой в совокупности с оценкой затрат на электропотребление составляет 9%, что в денежном выражении составляет более 450 тыс. руб. (без НДС) за расчетный период.

Заключение

В результате исследования разработанный алгоритм позволяет комплексно оценить затраты на энергоресурсы и выбрать оптимальную модель управления внутрипроизводственной энергетической системой с учетом индекса корректировки режима работы. Главным преимуществом является интеллектуальная составляющая алгоритма, позволяющая в автоматическом режиме интегрироваться в рабочий процесс без дополнительных трудозатрат. Кроме того, в зависимости от нагрузочных данных и тарифных показателей, методика может быть адаптирована под особенности производственного процесса всего предприятия или отдельного его участка.

ЗАТРАТЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ (МОЩНОСТЬ)

Таблица 2

№ п/п	Параметр	Значение параметра	
		Обычный режим работы	Алгоритм ЦУ
1	Электрическая энергия, руб.	1 923 099,33	1 866 214,32
2	Тариф на электрическую энергию, руб./кВт·ч	2,129673	2,116516
3	Мощность покупки, кВт	1 284	1 042
4	Мощность передачи, кВт	1 345	1 218
5	Стоимость услуг, руб.	5 297 403,05	4 806 144,24
6	Эффективность внедрения алгоритма ΔS , руб.		491 258,81

примера приведен расчет участка литья пластмассовых изделий за 2 марта 2023 г. с $i_p = 0,8$ и интервалом времени с 01:00 до 17:00 ч. В таблице 1 приведены данные планового энергопотребления и данные, рассчитанные с применением алгоритма.

На основании данных за предшествующие периоды (анализ был проведен с 2020 по 2022 г.) выделен диапазон прогнозируемых часов пиковой нагрузки гарантирующего поставщика $t_{\text{прогноз пик}} = 10-11, 14-15$ ч. Помимо этого, основная нагрузка энергопотребления участка литья пластмассовых изделий перераспределена с плановых часов пиковой нагрузки региона в сторону зоны с меньшим тарифом на электрическую энергию. На рис. 1 представлен график участка,

сформированного до и после применения разработанного алгоритма.

Как видно из графика, максимальная нагрузка участка распределяется в часы рабочего времени с незначительным снижением в обеденное время. Ввиду того, что данный участок является одним из основных, режим работы был скорректирован в незначительном диапазоне, однако при переносе максимальной нагрузки снижение мощности покупки и передачи составило 11% и 5% соответственно.

Указанное смещение максимальной нагрузки энергопотребления отдельного участка производственного процесса позволяет существенно сократить затраты на электрическую энергию (мощность). Результаты расчета в соот-

ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 в ред. от 22.06.2019 № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».
2. Постановление Правительства РФ от 29.12.2011 № 1178 «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике».
3. Свободные (нерегулируемые) цены на электрическую энергию // АО «Волгаэнергообсбт». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.volgaenergo.ru/qa/7149.html> (дата обращения: 10.09.2023).

Для цитирования: Рокина Е.Г., Шевырев Ю.В. Построение оптимальной модели управления внутрипроизводственной энергетической системой и затратами на электропотребление // Энергия единой сети. 2023. № 5–6 (71). С.60–62.