

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.31 + 621.311.1

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РАЗМЕРА ОПЛАТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

C.B. Marinova

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Marinova C.B., 2025

Аннотация. В статье отмечено, что смещение части электропотребления промышленного предприятия с часов максимальной и пиковой нагрузки на другие временные диапазоны может давать экономическую выгоду за счет выравнивания графика нагрузки. Подчеркнуто, что перераспределение энергопотребления с целью выравнивания графика не только снижает расходы промышленных предприятий на производство, но и дает возможность субъектам электроэнергетики оптимизировать генерацию и транспортировку энергоресурсов.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, прогнозирование, моделирование потребления, потребление электроэнергии, график нагрузки.

DOI: [10.46573/2658-7459-2025-3-36-47](https://doi.org/10.46573/2658-7459-2025-3-36-47)

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений развития производства является внедрение технологий энергосбережения и повышения энергетической эффективности, к которым относится прогнозирование электропотребления. Прогнозирование – это основа планирования и контроля, а попытки рассчитать будущие тенденции необходимы для функционирования электроэнергетики. Растущие финансовые расходы промышленных предприятий на электроэнергию определяют высокую актуальность планирования режима электропотребления, изменения режимов работы электротехнических установок и разработки технологических методик, способствующих снижению расходов на электроэнергию.

Прогнозирование электропотребления промышленного предприятия является традиционным способом сокращения расходов на энергоносители. При этом производителям электроэнергии и сетевым компаниям, выступающим субъектами электроэнергетики, точный прогноз электропотребления дает ряд выгод: возможность оптимизировать производство энергоресурсов, транспортировку и резервирование электроэнергии, планировать профилактические и ремонтные работы, за счет чего в конечном итоге повышается безопасность работы всей энергосистемы. Современный рынок электроэнергии – это «рынок продавца», который посредством ценовой политики

диктует потребителям тенденцию на изменение режима работы для выравнивания графика нагрузки (ГН) всей системы «производитель – транспортировщик – потребитель».

СТРУКТУРА ЗАТРАТ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Тверская область – крупнейший субъект европейской части России, на территории которого передачу и распределение электрической энергии обеспечивает филиал ПАО «Россети Центр» – «Тверьэнерго» [1]. Около четверти потребителей сетевой инфраструктуры на территории Тверской области – это промышленные предприятия, присоединенные к сетям по среднему уровню напряжения 6, 10 кВ с оплатой электроэнергии по четвертой ценовой категории (4 ЦК).

Предельный уровень нерегулируемых цен для 4 ЦК гарантирующий поставщик (ГП) рассчитывает в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 442 от 4 мая 2012 года [2]. В структуру цены входят следующие составляющие:

1. Дифференцированная по часам расчетного периода нерегулируемая цена на электрическую энергию на оптовом рынке, определяемая по результатам конкурентных отборов на сутки вперед и для балансирования системы.
2. Средневзвешенная нерегулируемая цена на мощность на оптовом рынке.
3. Ставка для целей определения расходов на оплату нормативных технологических потерь электрической энергии в электрических сетях тарифа на услуги по передаче электрической энергии.
4. Ставка, отражающая удельную величину расходов на содержание электрических сетей, тарифа на услуги по передаче электрической энергии.
5. Сбытовая надбавка гарантирующего поставщика.
6. Плата за услуги по управлению изменением режима потребления электрической энергии.
7. Плата за иные услуги, оказание которых является неотъемлемой частью процесса поставки электрической энергии потребителям.

Упрощенно затраты на электропотребление по 4 ЦК зависят от трех составляющих, среди которых расходы на электроэнергию, генерацию (производство) мощности и передачу (транспортировку) мощности (рис. 1).

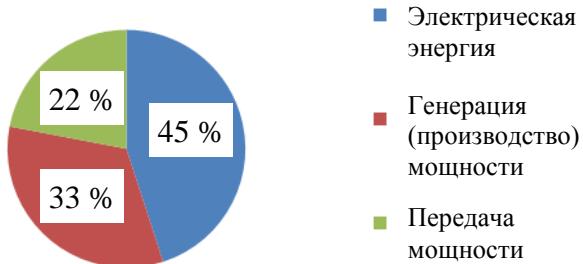


Рис. 1. Структура затрат на электропотребление для промышленных предприятий [3]

Зависимость выражим формулой

$$C = C_{\text{зз}} + P_{\text{max}} \cdot I_{\text{max}} + P_{\text{сети}} \cdot I_{\text{сети}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{зз}}$ – стоимость составляющей платы за электроэнергию, руб., включающая дифференцированные по часам расчетного периода нерегулируемые цены на

электрическую энергию на оптовом рынке, определяемые по результатам конкурентных отборов на сутки вперед и для балансирования системы; P_{max} – величина мощности, МВт, соответствующая покупке ГП у производителей электрической энергии (мощности) на розничном рынке; Π_{max} – средневзвешенная нерегулируемая цена за мощность на оптовом рынке, руб.; $P_{сети}$ – передаваемая мощность (транспортировка мощности) в расходах на содержание электрических сетей и услугах по передаче электрической энергии, МВт; $\Pi_{сети}$ – дифференцированная по уровням напряжения ставка тарифа на услуги по передаче электрической энергии за содержание электрических сетей, руб/МВт.

Стоимость составляющей платы за электроэнергию $C_{\text{з}}$ определяется по формуле

$$C_{\text{з}} = \sum_k^d \sum_j^{24} C_{cmkj} \cdot \Pi_{\text{час.}k}, \quad (2)$$

где C_{cmkj} – ставка предельного уровня нерегулируемых цен за электроэнергию, руб/МВт·ч, для каждого j -го часа k -х суток (для 4 ЦК потребителя, конкретного диапазона максимальной присоединенной мощности оборудования потребителя); $\Pi_{\text{час.}k}$ – потребление электроэнергии, МВт·ч (мощность, МВт), за конкретный час в сутках расчетного месяца; d – количество дней в расчетном месяце.

Величина мощности P_{max} , соответствующая покупке ГП у производителей электрической энергии (мощности) на розничном рынке, определяется как среднее арифметическое значение фактических почасовых объемов покупки электрической энергии ГП у таких производителей в указанные в п. 95 Постановления Правительства РФ [2] часы расчета величины на розничном рынке, которые публикуются коммерческим оператором оптового рынка (АО «АТС» [11]) в соответствии с правилами оптового рынка. Величина мощности устанавливается по формуле

$$P_{max} = \sum_{i=1}^n P_{ATC} / d_{\text{раб}}, \quad (3)$$

где i – рабочий день (будни) расчетного месяца; P_{ATC} – значение мощности в конкретный час максимальной нагрузки, определенный АО «АТС» для ГП, МВт; $d_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней (будней) в расчетном месяце.

Передаваемая мощность (транспорт мощности) в каждый рабочий день расчетного месяца определяется в часы пиковой нагрузки, утвержденные Системным оператором Единой энергетической системы (АО «СО ЕЭС») [3]. Для расчетов выбирается максимальная мощность, МВт, из диапазона установленных часов каждого рабочего дня расчетного месяца, суммируется, а полученное значение делится на количество рабочих дней:

$$P_{сети} = \sum_{i=1}^n P_{CO} / d_{\text{раб}}, \quad (4)$$

где $P_{сети}$ – оплачиваемое значение мощности, передаваемой сетями, МВт; i – рабочий день (будни) расчетного месяца; $d_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней в месяце.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ГРАФИКА НАГРУЗКИ

Построение расчетной модели ГН заключается в выявлении взаимосвязей между различными показателями: динамикой изменения цен розничного рынка, техническим, организационным процессом производства и работой соответствующего оборудования, влиянием внешних факторов (рабочие дни/выходные, сезонность, ремонт и т.д.).

Рассмотрим алгоритм анализа данных, в том числе цен рынка электроэнергии, для планирования электропотребления расположенного на территории Тверской области кирпичного завода, имеющего присоединенную мощность 2 500 кВА, в целях сокращения размера оплаты электропотребления за июнь 2025 года. Потребитель рассчитывается по 4 ЦК, ГН предприятия отмечается высокой суточной волатильностью (неравномерностью почасового потребления в течение суток).

Предлагается следующий алгоритм для прогнозирования ГН:

1. Анализ особенностей затрат на электропотребление и их составляющих с использованием данных такого же месяца, для которого проводится прогнозирование, за несколько прошлых лет (в данной работе – за 4 прошедших года), а также составляющих стоимости электропотребления.

1.1. Расходы на электроэнергию. Составляющая $C_{ээ}$.

При анализе дифференцированной по часам расчетного периода нерегулируемой цены на электрическую энергию на оптовом рынке, определяемой по результатам конкурентных отборов на сутки вперед и для балансирования системы и обозначенной как $C_{ээ}$, выявим диапазон часов с максимальными C_{max} и минимальными C_{min} ценами.

Вероятные минимальные цены почасового потребления прогнозируемого месяца приходятся на диапазон с 4-го по 5-й часы в сутках; вероятные максимальные цены составляющей $C_{ээ}$ для рассматриваемого месяца – с 9-го по 23-й часы включительно в сутках с наибольшей частотой, выпадающей на интервал с 15 до 17 часов.

1.2. Генерация (производство) мощности. Составляющая P_{max} .

В затратах на мощность, покупаемую на оптовом рынке, учитываются средневзвешенная нерегулируемая цена на мощность на оптовом рынке $Ц_{max}$ и величина покупаемой мощности P_{max} . Величина мощности P_{max} участвует в расчетах в определенные часы максимума нагрузки, которые не известны заранее, а публикуются администратором торговой системы (АО «АТС») для ГП только по прошествии расчетного периода. При учете данной составляющей в прогнозной модели предлагается использовать вероятность выпадения того или иного часа для дальнейшего расчета максимальной нагрузки (таблица) по результатам обработки статистики такого же месяца, как и прогнозируемый, но за прошлые годы.

Вероятность выпадения часов максимальной нагрузки
для гарантированного поставщика на прогнозируемый месяц

Час в сутках	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Вероятность, %	37,6	32,1	21,5	0	0	2,4	3,9	0	0	0	0	2,5

Данные таблицы показывают, что период максимума мощности P_{max} для прогнозируемого месяца, очевидно, будет выпадать на 10, 11, 12-й часы в сутках, следовательно, при планировании потребления предприятия необходимо минимизировать работу электрооборудования в этом периоде. Кроме того, из таблицы видно, что период максимальной нагрузки для прогнозируемого месяца никогда не выпадает на 13, 14, 17, 18, 19, 20-й часы, поэтому такой период можно рассматривать в качестве потенциала для увеличения нагрузки электрооборудования.

1.3. Передача (транспортировка) мощности. Составляющая $P_{сети}$.

Составляющая стоимости услуг по передаче электроэнергии отражает операционные и инвестиционные затраты электросетевой инфраструктуры на обеспечение бесперебойного и надежного энергоснабжения потребителя.

Затраты сетевой инфраструктуры на транспортировку мощности предусматривают плату за содержание электрических сетей, тариф на услуги по передаче электрической энергии $\mathcal{L}_{сети}$, учет максимальной мощности $P_{сети}$ по рабочим дням месяца. При этом данные о периодах плановых часов пиковой нагрузки АО «СО ЕЭС» известны заранее, перед началом календарного года, что является преимуществом и используется в прогнозной модели.

Так, для прогнозируемого месяца (июнь 2025 года) у территорий, к которым относится Тверская область (исходя из пятидневной рабочей недели), плановые часы пиковой нагрузки определены АО «СО ЕЭС» в диапазонах с 8-го по 16-й часы и с 20-го по 21-й часы.

Плановые часы пиковой нагрузки, утвержденные на прогнозируемый месяц АО «СО ЕЭС», включают часы рабочего времени производства, которые отсутствуют в установленных АО «АТС» часах максимальной нагрузки и не учитываются в расчетах по оплате передачи (транспортировки) мощности.

Таким образом, работа электрооборудования в оставшиеся диапазоны – ночной (с 22 до 7 часов) и дневной (с 17 до 19 часов) – не будет способствовать увеличению составляющей затрат $P_{сети}$ в электропотреблении.

Совместим на графике рабочих суток прогнозируемого месяца (рис. 2) следующие диапазоны, рассмотренные в п. 1.1–1.3:

вероятные часы максимальных почасовых цен за электроэнергию C_{max} (синий цвет);

часы вероятного максимума нагрузки P_{max} АО «АТС» (красный);

часы пиковой нагрузки, утвержденные АО «СО ЕЭС» (зеленый).

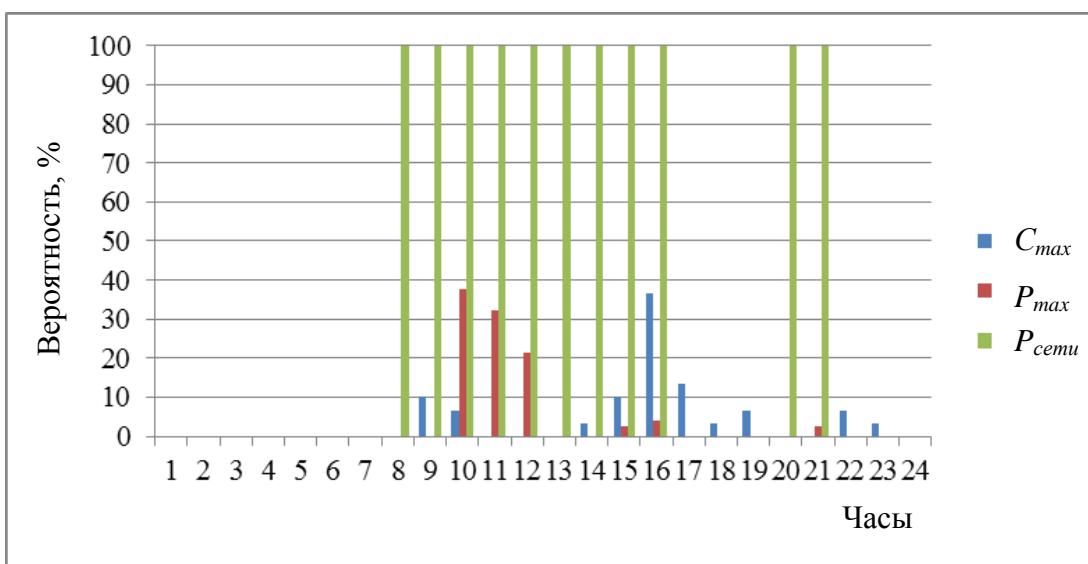


Рис. 2. Сутки в прогнозируемом месяце с наложением плановых часов пиковой нагрузки, вероятных часов максимальной цены за электроэнергию и вероятных часов максимальной нагрузки

2. Построение типового графика электрической нагрузки предприятия с выделением статистических групп (СГ).

2.1. Построение типового ГН.

Для планирования почасового электропотребления необходимо построить типовой суточный график нагрузки (СГН) предприятия с использованием фактических данных автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) за прошедшие периоды. На этом этапе выявляются периодические колебания электропотребления в зависимости от суточных (работа, отключение оборудования), недельных (рабочий день, выходной), сезонных изменений, климатических и других факторов.

Спрос на электропотребление рассматриваемого предприятия-потребителя характеризуется высокой внутрисуточной волатильностью, поэтому СГН должен быть разделен на несколько зон.

В типовом СГН предприятия, отражающем суточные стадии производства, выделяем три зоны [5]:

минимальной нагрузки (ночные часы, или ночной провал) с мощностью не больше значения $P_{ноч}$;

средней, или полупиковой, нагрузки с мощностью $P_{пп}$,

максимальной, или пиковой, нагрузки $P_{пик}$.

Потребление в каждый час дня СГН прогнозируется как среднее арифметическое за аналогичные выбранные дни в тот же час фактического ГН предприятия по данным АИИС КУЭ:

$$P_{xt} = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n P_{td}, \quad (5)$$

где P_{xt} – значение типового электропотребления (мощности) в час t ; P_{td} – потребление электроэнергии (мощность) в час t в день d ; t – порядковый номер часа в день d по данным АИИС КУЭ.

Типовые ГН предприятия можно получать другими методами, описанными, например, в источнике [5].

2.2. Выделение СГ.

В ГН предприятия необходимо выделить СГ, используя следующую систему аналитических характеристик [5]:

1) коэффициент неравномерности (волатильности):

$$\alpha = P_{ноч} / P_{пик}. \quad (6)$$

Коэффициент неравномерности (волатильности) может принимать значения от 0 до 1. Приближение значения этого показателя к 0 свидетельствует о высокой волатильности ГН потребителя (и наоборот) [6];

2) коэффициент заполнения:

$$\beta = P_{cp} / P_{пик}. \quad (7)$$

Коэффициент может меняться в диапазоне от 0 до 1. Чем выше показатель приближается к значению 1, тем меньше волатильность спроса потребителя в рамках суточного интервала.

Данные показатели у рассматриваемого потребителя: $\alpha = 0,3$; $\beta = 0,6$;

3) полупиковый диапазон регулирования нагрузки:

$$\Delta P_{пп} = P_{пп} - P_{ноч}; \quad (8)$$

4) пиковый диапазон регулирования нагрузки:

$$\Delta P_n = P_{пик} - P_{ноч}. \quad (9)$$

Если выходные дни или сутки с нехарактерной нагрузкой будут иметь рассмотренные выше аналитические характеристики СГ, сильно отличающиеся от таких же показателей рабочих дней, то необходимо выделить СГ для выходных дней и нехарактерных суток.

Аналитические характеристики ГН выходных дней у рассматриваемого завода аналогичны показателям будней, дни простоев (ремонта) не планируются, поэтому достаточно трех сформированных СГ.

Типовой график электрической нагрузки предприятия с выделением СГ для рассматриваемого кирпичного производства с односменным графиком работы состоит из следующих СГ: пиковой статистической группы СГп, полуpikeвой статистической группы СГпп, ночной (базовой) СГноч. Типовой ГН с указанием СГп (верхняя часть), полуpikeвой статистической группы СГпп (средняя часть), ночной (базовой) СГноч (нижняя часть) представлен на рис. 3.

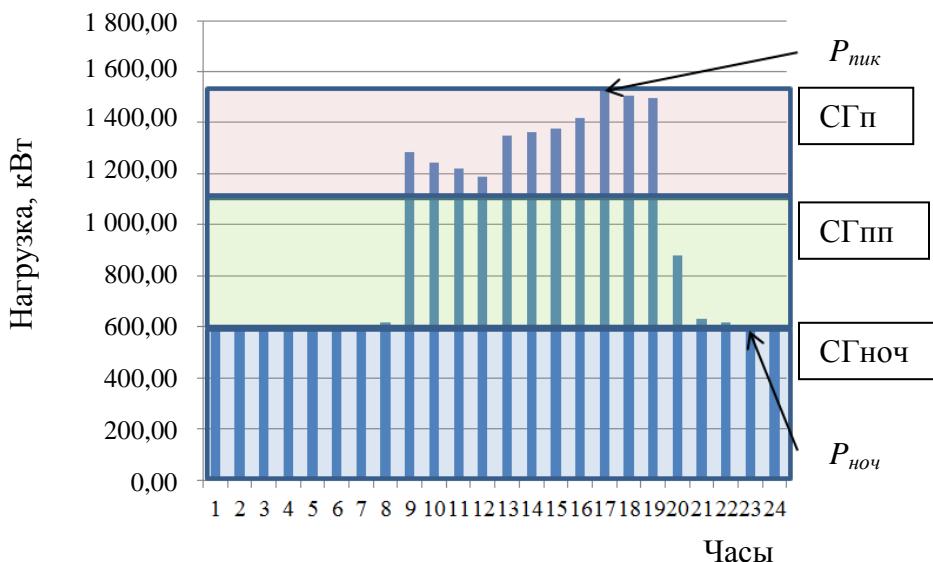


Рис. 3. Типовой график электрической нагрузки предприятия с выделением СГ для кирпичного производства с односменным графиком работы

Следует отметить, что получение типового графика электрической нагрузки может проводиться другими методами построения графика базовой нагрузки, описанными в источнике [6], а группировка по зонам – с применением, например, кластерного анализа [8].

3. Выделение в структуре электропотребления предприятия нагрузки основного производства, вспомогательного оборудования. Рассмотрение возможности переноса работы вспомогательного оборудования либо его части (отдельных агрегатов) за счет уменьшения нагрузки, приходящейся на следующие диапазоны в сутках, в которых:

- утверждены плановые часы пиковой нагрузки АО «СО ЕЭС»;
- отмечается вероятность назначения АО «АТС» часов максимума нагрузки для ГП;
- возможны максимальные почасовые цены электроэнергии;

нет учета составляющей производства или передачи мощности (см. п. 1.2, 1.3) для использования в расчетах либо отсутствует такая вероятность учета составляющей мощности.

Смещение нагрузки электропотребления или ее части хотя бы из одного диапазона, обозначенного цветом на рис. 2, принесет выгоду в отношении затрат на электропотребление. Наибольший экономический эффект следует ожидать от комплексного смещения ГН из периодов, отмеченных двумя и (особенно) всеми тремя составляющими. При этом происходит перераспределение объемов электропотребления на то время, когда это экономически выгодно. К таким периодам относятся 10, 15, 16-й часы (см. рис. 2). Предприятие должно быть готово к подобному основательному пересмотру своего технологического режима.

ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ

В качестве примера покажем ГН рассматриваемого потребителя без смещения нагрузки и со смещением нагрузки вспомогательного оборудования в размере 10 % с диапазона, включающего 10, 11, 12-й часы, на диапазон, включающий 17, 18, 19-й часы, без изменения общего электропотребления и без вреда технологическим процессам. Диапазон с 17 до 19 часов имеет несколько потенциальных для экономической выгоды качеств: во-первых, это дневное время, поэтому не требуется смещать работу персонала на ночь; во-вторых, в этом периоде отсутствует учет транспортируемой сетями мощности (составляющая $P_{сети}$); в-третьих, нет вероятности попадания часов максимальной нагрузки, назначаемой АО «АТС» по прошествии расчетного месяца.

Часть переносимой нагрузки обозначим другим цветом (рис. 4).

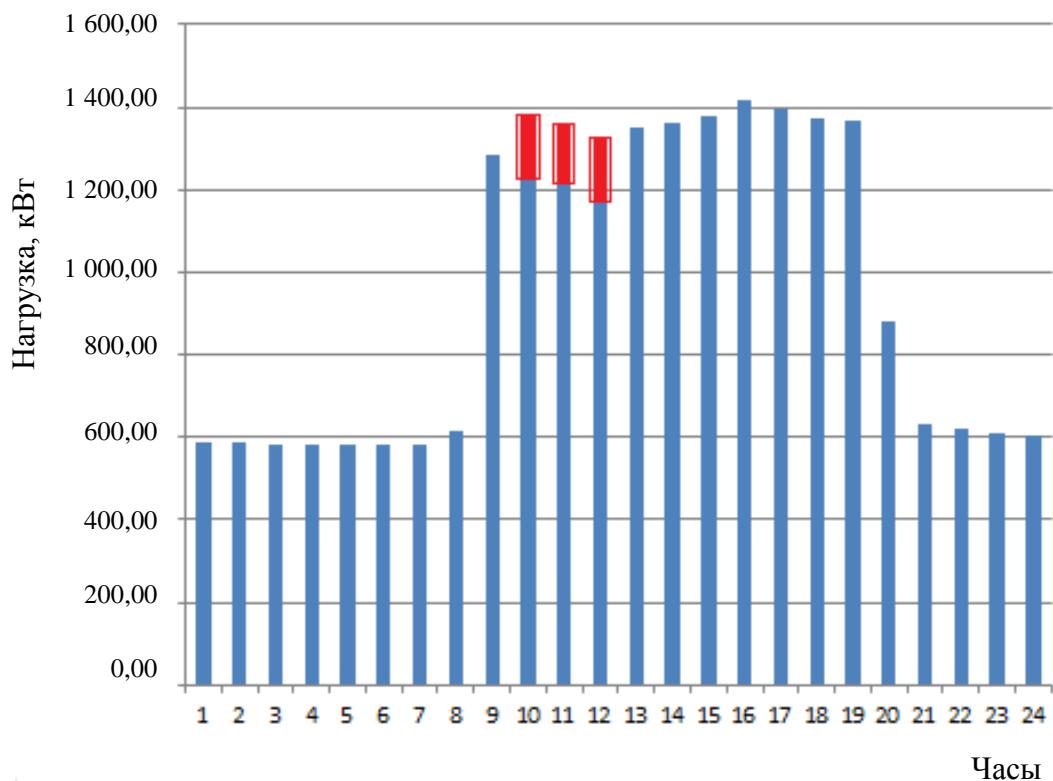


Рис. 4. Типовой ГН предприятия

После смещения части нагрузки на указанный диапазон получили новый график (рис. 5). Для определения полученной выгоды провели расчет стоимости затрат на электропотребление с новым ГН за месяц и сравнили стоимость затрат за тот же расчетный период с первоначальным графиком, т.е. без смещения части нагрузки. Предлагаемый перенос осуществлен в пределах работы всей рабочей смены, которая остается в диапазоне с 9 до 20 часов, рабочий график персонала существенно не сдвинулся, при этом пересмотрен технологический график включения вспомогательного оборудования. Так, для кирпичного производства, например, можно перераспределить работу части технологического оборудования (дробилок, мельниц, установок транспортировки, упаковочного оборудования).

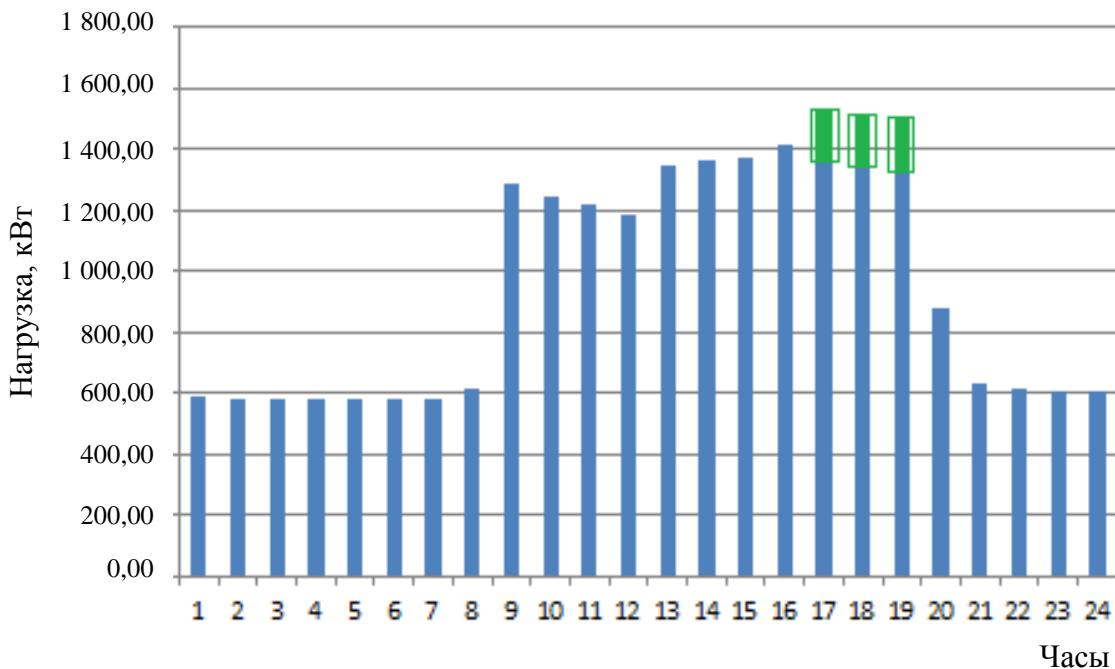


Рис. 5. Типовой ГН предприятия
с переносом части работы производственных мощностей

В ходе сравнения затрат установлено, что предлагаемый перенос части нагрузки за рассмотренный месяц дает 2 % экономии при оплате электропотребления промышленного предприятия. В пересчете на год это позволит получить выгоду в сумме порядка 700 000 рублей. Очевидно, что при планировании графиков электропотребления промышленного потребителя, осуществляющего расчеты по 4 ЦК, в другие месяцы выгода может быть то больше, то меньше в зависимости, например, от разброса стоимости часового потребления C_{cmk} в каждом месяце, от необходимости формирования дополнительных СГ и от множества других причин.

В целях сокращения размера платы за электропотребление алгоритм моделирования плановой нагрузки должен комплексно решать задачи:

анализа стоимости составляющих затрат на электропотребление;

вероятности и распределения временных диапазонов максимальных и минимальных дифференцированных по часам расчетного периода нерегулируемых цен на электрическую энергию на оптовом рынке, определяемых по результатам конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед;

оценки вероятности попадания часов максимума нагрузки, определяемой АО «АТС» для конкретного ГП предприятия-потребителя, на основе математической статистики;

учета интервалов пиковой нагрузки, устанавливаемых АО «СО ЕЭС»;

составления технологических карт работы оборудования на каждый месяц для отдельных производственных участков.

Перенос фактических максимумов нагрузки потребителя из временной зоны, где учитывается мощность, в любом случае является эффективным в связи с дороговизной стоимости генерации и транспортировки мощности в этих временных диапазонах по сравнению со стоимостью электроэнергии.

Избегание вероятных часов с высокой ставкой за электроэнергию, вероятных часов максимума нагрузки в рабочие дни, использование интервала в периоды, неываемые в плановой пиковой нагрузке АО «СО ЕЭС», – это характерная особенность предлагаемой модели, способной снижать затраты одновременно по трем составляющим.

Из анализа составляющих затрат на электроэнергию, а также из рис. 2 следует, что наибольшую выгоду мог бы дать перенос нагрузки на 4, 5-й часы в сутках, как это предложено в статье [8]. В данном периоде стоимость почасовой ставки электроэнергии наименьшая, а ночью в расчетах не учитывается как P_{max} со стороны производителей электроэнергии, так и $P_{сети}$ со стороны сетевых организаций. Эта рекомендация дана автором статьи [8], но таким потенциалом обладают далеко не все предприятия, в том числе и рассматриваемый в данной работе потребитель. Вочные часы работают предприятия-потребители, и так имеющие возможность применения подобного графика. Среди них хлебопекарные комбинаты, производящие продукцию ночью, чтобы утром поставить ее в торговую сеть, а также строительные карьеры, где добыча щебня и песка ведется энергоемкими земснарядами исключительно в ночное время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм моделирования ГН имеет ряд достоинств:

простоту, которая позволяет потребителю самостоятельно определить степень ожидаемого эффекта при перераспределении заданной части электропотребления;

возможность моделирования ГН в доступной среде электронных таблиц на основе имеющихся данных совместно с АИИС КУЭ предприятия, что облегчает внедрение такой модели на практике;

возможность экономии средств предприятием-потребителем при оплате электропотребления, причем без изменения общего электропотребления и без вреда технологическим процессам и бизнесу;

способность адаптации к другим промышленным предприятиям;

возможность использования в программах управления спросом на электропотребление (Demand Response), т.е. в инициативной форме экономического взаимодействия субъектов электроэнергетики с конечными потребителями электрической

энергии, обеспечивающей взаимовыгодное, экономически эффективное регулирование объемов и режимов электропотребления [8].

Алгоритм моделирования ГН активизирует внутренние резервы для повышения эффективности электропотребления не только на уровне потребителя, но и на уровне энергосистемы в целом за счет снижения выработки электростанциями энергии, имеющей наиболее высокую себестоимость [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиал ПАО «Россети Центр» – «Тверьэнерго». URL: <https://www.mrsk-1.ru/about/branches/tverenergo/about/> (дата обращения: 01.07.2025).
2. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии (вместе с «Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии», «Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии»): постановление Правительства РФ от 04.05.2012 № 442 (ред. от 01.11.2024) // Собрание законодательства РФ. 2012. № 23. Ст. 3008.
3. АО «СО ЕЭС». URL: <https://www.so-ups.ru/> (дата обращения: 01.07.2025).
4. Соловьева И.А., Дзюба А.П. Управление затратами на электропотребление промышленных предприятий на базе модели оптимизации графиков электрических нагрузок // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2017. № 1-1. С. 165–174.
5. Гуртовцев А.Л., Забелло Е.П. Электрическая нагрузка энергосистемы. Выравнивание графика // Новости электротехники. 2008. № 5 (53). С. 108–114.
6. Поддубный А.А., Акимов Д.А., Юдина К.В., Николаев А.В. Анализ основных методов построения базовой нагрузки при управлении спросом // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 1 (64). С. 64–69.
7. Соловьева И.А., Дзюба А.П. Управление спросом на электропотребление на мезоуровне по показателям волатильности // Вестник ИГЭУ. 2017. Вып. 1. С. 76–86.
8. Малыш М.Е., Матюнина Ю.В. Оценка эффективности переноса нагрузки предприятия на ночные часы с использованием кластерного анализа // Промышленная энергетика. 2023. № 3. С. 38–44.
9. 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.
10. Петров М.Б., Кожов К.Б. Модель выравнивания суточного графика нагрузки потребителями электроэнергии // Вестник гуманитарного университета. 2023. № 4 (43). С. 124–134.
11. АО «АТС». URL: <atsenergo.ru> (дата обращения: 01.07.2025).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МАРИНОВА Светлана Васильевна – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Маринова С.В. Алгоритм анализа данных для моделирования графика нагрузки электропотребления промышленного предприятия с целью снижения размера оплаты электроэнергии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 3 (27). С. 36–47.

**DATA ANALYSIS ALGORITHM FOR GRAPH MODELING
ELECTRICITY CONSUMPTION OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE
WITH THE AIM OF REDUCING ELECTRICITY COSTS**

*S.V. Marinova
Tver State Technical University (Tver)*

Abstract. The article notes that shifting some of the industrial enterprise's electricity consumption from hours of maximum and peak load to other time ranges can provide economic benefits by leveling the load schedule. It emphasizes that redistributing energy consumption to level the schedule not only reduces the costs of industrial enterprises for production, but also allows electricity providers to optimize the generation and transportation of energy resources.

Keywords: energy efficiency, forecasting, modeling of consumption, energy consumption, electrical load graph.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

MARINOVA Svetlana Vasilevna – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Marinova S.V. Data analysis algorithm for graph modeling electricity consumption of an industrial enterprise with the aim of reducing electricity costs // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 36–47.

УДК 531.652

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АККУМУЛЯТОР

*В.Д. Павлов
Владимирский электромеханический завод (г. Владимир)*

© Павлов В.Д., 2025

Аннотация. В статье отмечено, что кратковременные пиковые нагрузки машин и механизмов создают необходимость в аккумулировании механической энергии для ее последующего импульсного использования. Это вполне актуально, например, для