

УДК 621.31

## АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ БЫТОВОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ЗАЯВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ

Карташова Е.Э., аспирант гр. ЭТа-242, II курс

Научный руководитель: Воронин В.А., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Внедрение систем накопления электроэнергии даёт возможность оптимизировать график нагрузки за счёт накопления энергии в периоды её низкого потребления и выдачи в часы пикового спроса. Экономическая эффективность систем накопления электрической энергии напрямую определяется особенностями графика нагрузки потребителя. Снижение пиков графика нагрузки с целью уменьшения платы за заявленную мощность или предотвращения аварийных режимов требует предварительного анализа длительности пиковой нагрузки. Актуальность поиска эффективных методов ограничения заявленной мощности, обусловлена ростом цен на электроэнергию и активным развитием энергорайона горнолыжного курорта Шерегеш, чьи данные легли в основу расчётов.

Построение и анализ суточных графиков нагрузки произведены по данным почасового потребления электроэнергии за 2025 год, систем прибора учета шести индивидуальных потребителей бытового сектора и соответствующей трансформаторной подстанции ТП - ТАШ пгт. Шерегеш. Для детального анализа на рисунке 1 построены суточные графики нагрузки потребителей частных домов, подключённых к одному фидеру и выделены зоны средних значений пиковых нагрузок [3].

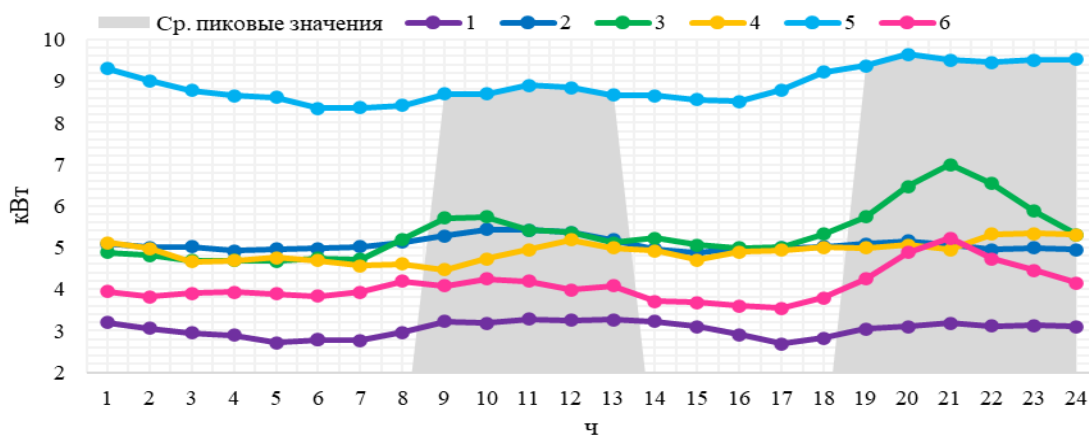


Рисунок 1 — Среднегодовой суточный график электрических нагрузок бытовых потребителей 1, 2, 3, 4, 5, 6

Суточный график нагрузки для группы из шести бытовых потребителей демонстрирует характерную для жилого сектора двухпиковую структуру, однако для потребителей № 1, 2, 4, 5 утренние и вечерние максимумы выражены слабо, по отношению к низким изменениям разницы ночных значений. На основе анализа формы графика выделены две характерные зоны усреднённых пиковых значений нагрузки, вечерний пик приходится с 19:00 до 24:00, утренний пик с 9:00 до 13:00 и смещен относительно стандартно принятым временным значениям пиков графиков нагрузки бытовых потребителей, ввиду преобладающего зимнего режима электропотребления (рисунок 2).

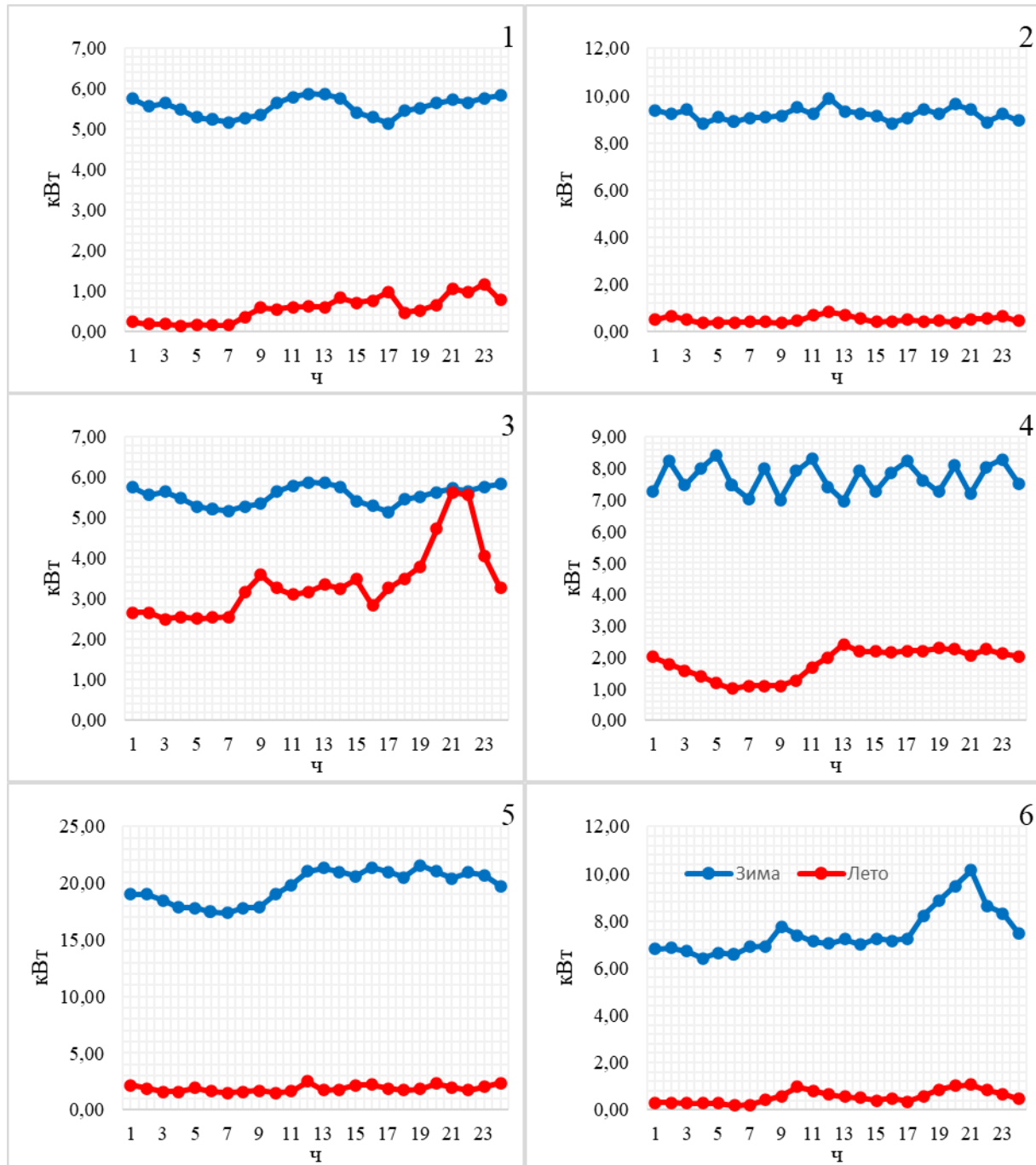


Рисунок 2 — Суточный график электрических нагрузок летних и зимних месяцев

Данные показатели позволяют количественно оценить степень неустойчивости нагрузок в зависимости от времени года. Соотношение объемов потребления в летние и зимние месяцы характеризуется значительным разрывом. Данная закономерность проявляется для всех потребителей, более детальный анализ неравномерности годового потребления электроэнергии представлен в таблице 1.

Таблица 1 — Разница суммарного месячного электропотребления между зимними и летними месяцами

| №     | 1     | 2      | 3     | 4      | 5      | 6      |
|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| кВт·ч | 98,31 | 208,83 | 52,22 | 141,30 | 427,93 | 167,16 |
| %     | 87,94 | 94,48  | 39,18 | 76,7   | 90,47  | 92,76  |

Высокая амплитуда сезонных колебаний обусловлена спецификой местных условий эксплуатации объектов и режимами использования домовладений. Поскольку рассматриваемая территория функционирует как зимний горнолыжный курорт и значительная часть жилого фонда оснащена электрическими системами отопления, что в зимний период формирует кратное повышения значения нагрузок.

Также анализ разницы между зимними и летними режимами нагрузки выявляет неоднородность структуры потребителей. Часть домовладений сохраняет функцию круглогодичного проживания, активно эксплуатируясь также и в летний период (дом № 3). В таких условиях эксплуатации, сезонная разница между зимним и летним потреблением ожидаемо оказывается менее выраженной, а график нагрузки демонстрирует большую неравномерность в годовом разрезе. Анализ данных разниц суммарного электропотребления между зимними и летними месяцами подтверждает, что среднегодовые графики электрических нагрузок получаются сглаженными преимущественно для тех домов, где летняя нагрузка изначально является низкой, а ее уровень наиболее существенно дифференцируется от зимнего пика.

Суточный график нагрузки для ТП - ТАШ, зафиксированный для группы из шести бытовых потребителей, имеет более выраженную, характерную для жилого сектора структуру с двумя отчетливыми пиковыми периодами, приведен на рисунке 3. Критическая зона повышения нагрузки соответствует вечернему пику 19:00–24:00.

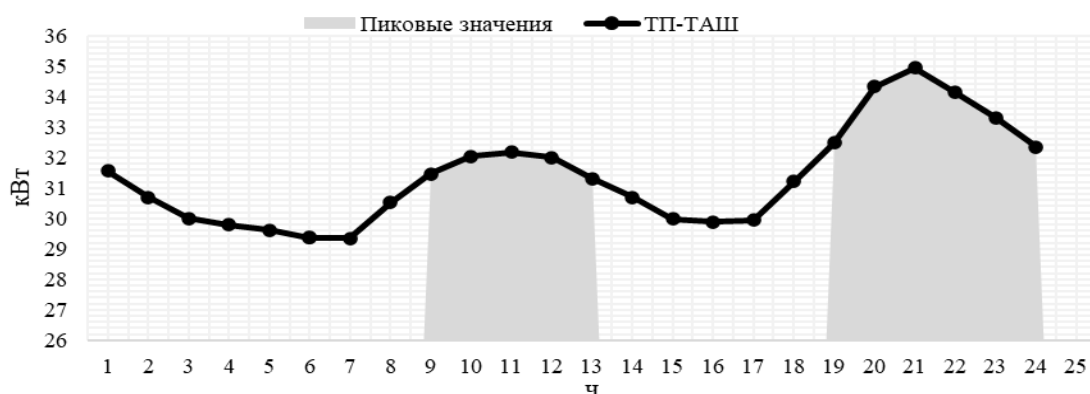


Рисунок 3 — Средний суточный график электрических нагрузок ТП-ТАШ

Для оценки требуемой энергоёмкости накопителей, с целью снижения пиковой мощности, применены коэффициенты заполнения графиков, неравномерности, регулируемости и формы [5].

Коэффициент неравномерности отражает глубину провалов графика нагрузки относительно его максимального значения. Значение, близкое к 1, свидетельствует о высокой стабильности нагрузки: колебания между пиковыми и минимальными уровнями незначительны. Рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{неравномерности}} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}},$$

где  $P_{\max}$  – максимальная мощность на интервале,  $P_{\min}$  – минимальная мощность на интервале.

Плотность графика нагрузки и эффективность использования её максимума отражает специальный показатель — коэффициент заполнения. Для большинства коммунально-бытовых и промышленных потребителей значение находится в диапазоне 0,75–0,80 [4]. Определяет, насколько близко среднее потребление энергии за период к зафиксированному пику и рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{заполнения}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}},$$

где  $P_{\text{ср}}$  – средняя мощность на интервале,  $P_{\max}$  – максимальная мощность на интервале.

Коэффициент регулируемости – на суточном интервале времени показывает долю нагрузки, которую необходимо покрывать за счёт маневровых свойств систем накопления электроэнергии или генерирующего оборудования. Чем выше значение, тем больше потенциал для регулирования, критерий обратный коэффициенту неравномерности:

$$k_{\text{регулируемости}} = 1 - \frac{P_{\min}}{P_{\max}},$$

где,  $P_{\min}$  – минимальная мощность на интервале,  $P_{\max}$  – максимальная мощность на интервале.

Коэффициент формы графика нагрузки – показатель, характеризующий степень неравномерности графика потребления электроэнергии. Чем больше отклонений пиков и провалов, тем выше значение коэффициента. Рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{формы}} = \frac{P_{\text{ско}}}{P_{\text{ср}}},$$

где  $P_{\text{ско}}$  – среднеквадратичное отклонение мощности на интервале,  $P_{\text{ср}}$  – средняя мощность на интервале.

Использование данной системы коэффициентов позволяет перейти от качественного описания графика нагрузки к количественной оценке требуемых параметров накопителя. Для снижения пиковой мощности первостепенное значение имеют коэффициенты регулируемости и заполнения, коэффициент формы формирует требования к максимальной мощности инверторов и скорости реакции системы накопления [2]. Комплексный учет этих показателей обеспечивает технически обоснованный выбор энергоёмкости накопителя,

исключая как избыточное резервирование, так и недостаток маневренных свойств.

Данные расчетов для потребителей и ТП-ТАШ приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Расчетные данные показателей графиков нагрузки

|                        | ТП ТАШ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|
| $P_{\max}$ , кВт       | 34,93  | 3,28 | 5,44 | 7,00 | 5,33 | 9,64 | 5,22 |
| $P_{\min}$ , кВт       | 29,36  | 2,69 | 4,88 | 4,68 | 4,47 | 8,34 | 3,54 |
| $P_{\text{ср}}$ , кВт  | 31,38  | 3,04 | 5,08 | 5,35 | 4,91 | 8,92 | 4,09 |
| $P_{\text{ско}}$ , кВт | 1,61   | 0,19 | 0,16 | 0,63 | 0,24 | 0,42 | 0,41 |
| Коэф. неравномерности  | 0,84   | 0,82 | 0,90 | 0,67 | 0,84 | 0,87 | 0,68 |
| Коэф. заполнения       | 0,90   | 0,93 | 0,93 | 0,76 | 0,92 | 0,92 | 0,78 |
| Коэф. регулируемости   | 0,16   | 0,18 | 0,10 | 0,33 | 0,16 | 0,13 | 0,32 |
| Коэф. формы            | 0,05   | 0,06 | 0,03 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |

Детальный анализ коэффициентов, представленных в таблице 2, обеспечивает не только оценку характера группового графика нагрузки на шинах ТП-ТАШ, но и дифференцирование отдельных потребителей по степени целесообразности оснащения индивидуальными системами накопления электроэнергии [6].

В ходе расчетов выявлены значения коэффициентов для объектов № 1, 2, 4, 5 и ТП-ТАШ, значения коэффициента заполнения 0,90–0,93 и коэффициента неравномерности 0,82–0,90 стремятся к 1 и превышают типовые показатели для жилого фонда. Наблюдаемые высокие показатели могут свидетельствовать о наличии значительной постоянной нагрузки, что дополнительно обосновывает применение СНЭЭ (систем накопления электроэнергии). Однако установка накопителя на данных объектах будет сопряжена с низкой экономической эффективностью вследствие незначительной глубины пиков и малой разницей между минимумом и максимумом потребления.

Иная картина наблюдается для потребителей № 3 и № 6. Значения коэффициентов для данных домовладений обосновывают необходимость применения систем накопления электроэнергии на индивидуальном уровне. Низкий коэффициент заполнения для потребителя № 3 составляет 0,76, для потребителя № 6 — 0,78, что указывает на ярко выраженную пиковую структуру графика, при которой средняя мощность существенно уступает максимальной, создавая предпосылки для эффективного сглаживания пиков за счет накопителя. Данные коэффициента неравномерности свидетельствуют о глубоких провалах нагрузки относительно максимума. Высокая амплитуда колебаний формирует потенциал для зарядки накопителя в периоды низкого потребления и последующей выдачи энергии в часы пиковых нагрузок.

Дополнительным аргументом в пользу установки СНЭЭ на данных объектах выступают результаты анализа сезонной неравномерности — таблица 1. Потребитель № 3, имеет наименьшую разницу между зимним и летним потреблением, относится к категории круглогодичного проживания. Его пиковые нагрузки носят не сезонный, а регулярный характер, что обеспечивает

равномерную загрузку накопителя в течение всего года и повышает интегральный экономический эффект. Для потребителя № 6, несмотря на выраженную сезонную составляющую, критическим фактором является сглаживание внутри суточных пиков, возникающих в периоды максимального спроса.

Показатели на шинах ТП-ТАШ подтверждают, что установка СНЭЭ позволяет снизить требуемую нагрузку по сравнению с суммой мощностей всех домов за счет выравнивания группового графика нагрузки и уменьшения расчетного максимума. График нагрузки ТП-ТАШ имеет менее острые пики, чем у отдельных потребителей. Это означает, что установка одного большого накопителя на ТП будет менее эффективна для снижения пиков, чем адресная установка нескольких маленьких накопителей непосредственно у потребителей с низким коэффициентом заполнения [1].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о дифференцированном подходе к размещению систем накопления электроэнергии. На уровне трансформаторной подстанции ТП-ТАШ установка СНЭЭ направлена на оптимизацию группового графика и снижение заявленной мощности всего энергорайона, для потребителей № 3 и № 6 целесообразно рассмотреть возможность оснащения индивидуальными накопителями. Данное решение позволит снизить пиковую нагрузку на фидер, повысить качество электроснабжения и обеспечить дополнительный эффект за счет снижения платы за заявленную мощность для конечных потребителей с наиболее нестабильным режимом электропотребления.

Дальнейшие исследования предполагают проведение имитационного моделирования работы систем накопления электроэнергии для каждого из рассматриваемых объектов с целью обоснованного выбора требуемой мощности и энергоёмкости накопителей. Моделирование позволит оценить реальный эффект от снижения заявленной мощности с учётом суточной и сезонной неравномерности нагрузки, ограничений по скорости цикла заряда и разряда, а также технико-экономических показателей. Полученные результаты послужат основой для разработки рекомендаций по параметрам внедрения СНЭЭ в распределительные сети с учетом различных факторов.

### Список литературы:

1. Добрынин, Е.В. Оценка эффективности использования накопителей энергии [Электронный ресурс] / Е.В. Добрынин, А.Н. Крылов, А.М. Батищев // Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – № 6. – С. 110–113. – Режим доступа: [https://digital.runeft.ru/6\\_2020/batishchev](https://digital.runeft.ru/6_2020/batishchev) (дата обращения: 02.03.2026). – DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10109.
2. Забелло Е. П., Сульжиц А. М. Выбор критериев оценки степени ровности графика нагрузки энергосистемы на суточном временном интервале для разработки тарифных планов при электропотреблении // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2006. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-kriteriev-otsenki>

stepeni-rovnosti-grafika-nagruzki-energосистемы-na-sutochnom-vremennom-intervale-dlya-razrabotki-tarifnyh (дата обращения: 29.03.2026).

3. Карташова, Е.Э. Выявление ведущих групп методов актуального прогнозирования энергопотребления [Электронный ресурс] / Е.Э. Карташова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4. – Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_69139419\\_37874734.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_69139419_37874734.pdf) (дата обращения: 12.03.2026).

4. Мустафаев, Р.И. Суточные графики нагрузки и режимных параметров [Электронный ресурс] / Р.И. Мустафаев, Р.Г. Миронов. – Режим доступа: [https://masters.donntu.ru/2007/fema/artemenko/library/suto4nie\\_grafiki.htm](https://masters.donntu.ru/2007/fema/artemenko/library/suto4nie_grafiki.htm) (дата обращения: 21.03.2026).

5. Суточные графики нагрузки жилых зданий [Электронный ресурс] // Electricalschool.info: сайт. – Режим доступа: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/1190-sutochnye-grafiki-nagruzki-zhilykh.html> (дата обращения: 21.03.2026).

6. Шклярский Ярослав Элиевич, Васильков Олег Сергеевич РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritma-opredeleniya-mest-podklyucheniya-sistem-nakopleniya-elektroenergii> (дата обращения: 28.03.2026).