

треблении/генерации реактивной энергии, среднеквадратичная мощность, которые будут иметь место при совместной работе компенсирующих устройств мощностью $Q_{\text{ку}}^a$ с автоматическим регулятором, поддерживающим $\cos\varphi = 1$, и одновременном включении на всем интервале регулирования $Q_{\text{ку}}^n$. Значения $Q_{\text{ку}}^a$, $Q_{\text{ку}}^n$ и их соотношение зависят от суточного профиля реактивной мощности и ее характеристик как случайной величины (математического ожидания, стандартного отклонения).

Определение таких показателей предполагает наличие на промышленных объектах автоматизированных систем учета электроэнергии (АСУЭ), обеспечивающих сбор данных по электропотреблению в узлах нагрузки и возможность моделирования электропотребления на основе стохастических моделей. Наличие современных АСУЭ на сегодняшний день является нормой для промышленных предприятий, что позволяет выполнить необходимые расчеты по методике, приведенной в [3].

Таким образом, в целях оптимизации затрат на систему компенсации реактивной мощности предлагается осуществлять управление мощностью БСК в узле электрической нагрузки комбинированно с помощью автоматического регулятора или программируемого таймера или вручную дежурным персоналом. Установленная мощность БСК, регулируемых первым или вторым способом, может быть определена на основании стохастических моделей, вычисление параметров которых возможно на основании информации о суточном профиле электрической нагрузки, формируемой АСУЭ.

Литература

1. Компенсация реактивной мощности / Компания «Матик-электро», 2024. – URL: <https://matic.ru/reactive-power-compensation/>.
2. Ярошевич, А. В. Моделирование адаптивной системы компенсации реактивной мощности / А. В. Ярошевич // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та, Брест, 29–30 сент. 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. Р. Онысько [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 25–28.
3. Сычев, А. В. Стохастическое моделирование потребления реактивной мощности в узле нагрузки / А. В. Сычев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2003. – № 2. – С. 25–32.

УДК 621.311.21:519.2:332.142.6

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ В ЧАСТНОМ ЖИЛОМ СЕКТОРЕ

А. А. Капанский, Д. Г. Кроль, В. В. Павлов, Д. И. Веремеева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены характерные режимы электропотребления в частных жилых домах, необходимые для оценки пропускной способностью электрических сетей, а также расчет на примере деревни Ипполитовка Чечерского района, где анализируются временные ряды данных электропотребления. Статистическая обработка данных включает удаление нерепрезентативных домов, заполнение пропусков и исключение выбросов. На основе однофакторного дисперсионного анализа выявлены значимые различия между потребителями в том числе с однофазным и трехфазным подключением. Представлены типовые профили

потребления для однофазной нагрузки и выявленные особенности потребления для трехфазных потребителей.

Ключевые слова: электропотребление, частные дома, однофазная нагрузка, трехфазная нагрузка, тепловая карта, дисперсионный анализ, пропускная способность сети.

STATISTICAL ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMPTION GRAPHS TO IDENTIFY REGULARITIES OF FORMATION OF CONSUMPTION MODES IN THE PRIVATE RESIDENTIAL SECTOR

A. A. Kapanski, D. G. Krol, V. V. Palov, D. I. Veremeeva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

This study examines typical modes of electricity consumption in private homes, which are necessary for assessing the capacity of electrical networks. The example of the village of Ippolitovka in the Chechersk district is considered, where time series of electricity consumption data are analyzed. Statistical data processing includes the removal of unrepresentative houses, filling in gaps and eliminating outliers. Based on one-factor dispersion analysis, significant differences between consumers, including those with single-phase and three-phase connections, are revealed. Typical consumption profiles for single-phase loads and the identified consumption features for three-phase consumers are presented.

Keywords: electricity consumption, private houses, single-phase load, three-phase load, heat map, dispersion analysis, network capacity.

Исследование электропотребления в частных домах играет первостепенную роль в разработке методов оценки пропускной способности электрических сетей, особенно на фоне увеличения нагрузок в жилом секторе. Эти нагрузки возрастают с ростом строительства новых домов и увеличением потребления электроэнергии для обогрева и охлаждения помещений. Как показал первичный анализ, потребители, проживающие в одноэтажных домах и коттеджах, демонстрируют значительное разнообразие в характере электропотребления, что связано с различиями в размерах жилых площадей, количеством жильцов и поведенческими особенностями домовладельцев.

Выявление общих свойств электропотребления жилых домов и их описание в виде типовых графиков электрических нагрузок становится важным шагом для планирования электроснабжения и предотвращения перегрузок в электрических сетях. Однако для получения типовых характеристик потребления требуется предварительная обработка большого объема статистической информации, включающая заполнение пустот, исключение выбросов, агрегирование и фильтрация данных. Цель данного исследования – на примере деревни Ипполитовка Чечерского района продемонстрировать способы обработки статистики для выявления закономерностей в формировании режимов электропотребления в жилых домах.

Данные для анализа электропотребления были собраны с автоматизированной системы учета электроэнергии, охвативший период с 14 августа 2023 г. по 6 мая 2024 г. и включающей более 12769 записей о 42 жилых домах. Регистрация электропотребления осуществлялась каждые полчаса, что обеспечило высокую детализацию временных рядов для изучения суточных электрических нагрузок. Предварительный анализ включал метод визуализации данных в виде тепловой карты [1], который дал возможность быстрого понимания общей картины потребления. Дома с отсутствующим потреблением или значительным количеством пропусков в данных прини-

мались как нерепрезентативные и исключались из дальнейшего анализа, избегая искажения результатов [2, 3].

После исключения домов с отсутствующим электропотреблением важной задачей стало заполнение пропусков в оставшихся данных. Для этого был использован метод подстановки, при котором отсутствующие значения заменялись данными из аналогичных временных периодов [4]. Это предположение основано на стабильности потребления в схожие часы. После заполнения пропусков проводилась оценка выбросов с помощью правила трех сигм [5, 6], что позволяло исключить значения, существенно отклоняющиеся от среднего, и минимизировать искажения в последующем анализе (рис. 1).

Для оценки различий в потреблении электроэнергии между домами использовался однофакторный дисперсионный анализ, который показал значимые различия, особенно между однофазным и трехфазным подключением [4]. Для однофазных потребителей были выделены две группы: с электропотреблением ниже и выше медианного значения. Электропотребление жилых домов выше медианного использовалось для анализа и формирования типового профиля мощности, так как эти потребители вносили наибольший вклад в формирование нагрузки и определяли более тяжелые условия для электросетей. На рис. 1 приведена диаграмма размаха, отражающая различия электропотребления между исследуемыми жилыми домами.

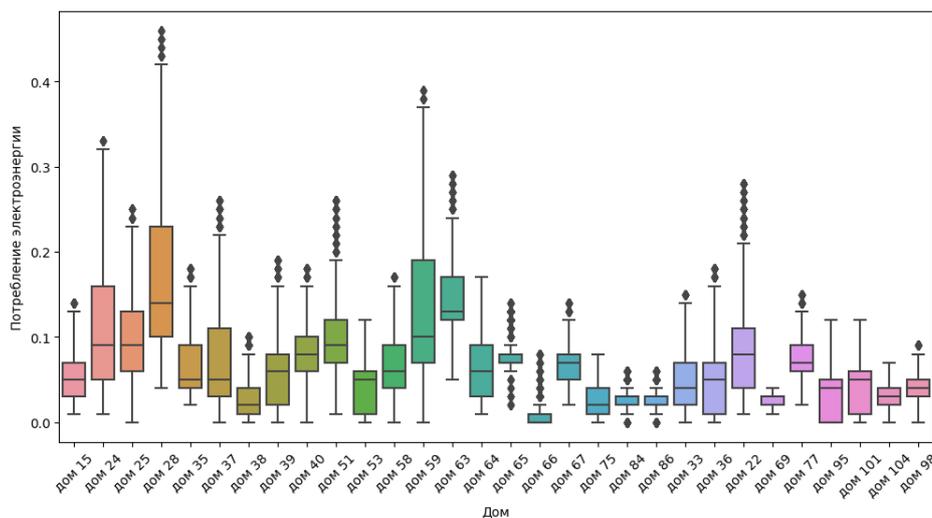


Рис. 1. Диаграмма размаха для электропотребления различных домов

Далее дома группировались по схожести профилей потребления на основе методов корреляционного анализа. Для однофазных потребителей результаты показали, что в ночное время (00:00–06:00) наблюдался самый низкий уровень получасовой активной мощности – порядка 0,10–0,15 кВт. Утренний пик начинался с 06:00, достигая 0,2 кВт к 09:00, что связано с началом активности жилого сектора. Днем (09:00–17:00) потребление стабилизировалось на уровне 0,2–0,22 кВт, а вечером (17:00–22:00) наблюдался наибольший пик, достигающий 0,3 кВт к 20:00–21:00. В конце дня нагрузка снижалась до 0,2 кВт. Важно отметить, что данные показатели являются усредненными годовыми значениями, которые существенно изменялись в зависимости от времени года, сохраняя форму получасового электропотребления (рис. 2).

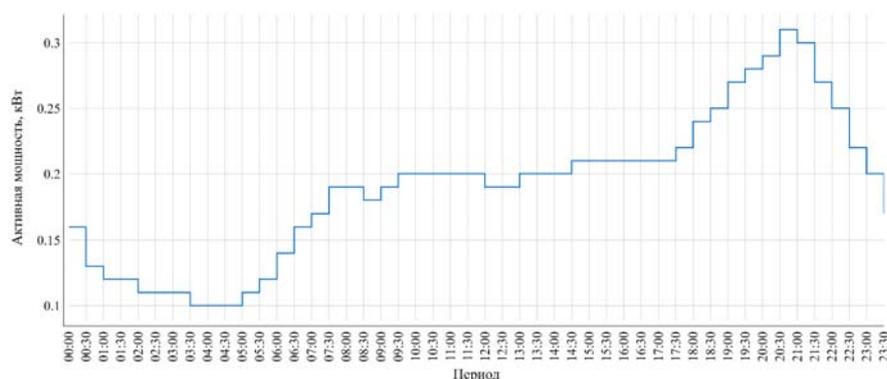


Рис. 2. Типовой усредненный профиль мощности однофазной нагрузки

Для трехфазной нагрузки результаты показали, что ночные и утренние часы характеризуются повышенными значениями мощности, что, видимо, связано с активной работой электродомов для поддержания температуры в помещениях. В зимние месяцы усредненная получасовая мощность достигала максимальных значений, превышая 4 кВт. В весенний период потребление постепенно снижалось до 2,7–3,0 кВт.

Литература

1. Gehlenborg, N. Heat maps / N. Gehlenborg, B.Wong // Nature Methods. – 2012. – Vol. 9. – N 3. – P. 213.
2. Cohen, A. C. Truncated and censored samples: theory and applications / A. C. Cohen // CRC press. – 2016. – 313 p.
3. Ивановский, Р. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad / Р. И. Ивановский. – БХВ-Петербург, 2008. – 528 с.
4. Груздев, А. Изучаем pandas. Высокопроизводительная обработка и анализ данных в Python / Груздев, А., &Хейдт, М., 2022. – URL: <https://www.litves.ru/beok/a-v-gruzdev/zuchaem-pandas-vysokoprouzvoditelnaya-obvabotka-i-analiz-dann-44336423/>.
5. Концевая, Н. В. Анализ методов заполнения пропусков во временных рядах показателей финансовых рынков / Н. В. Концевая // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8, № 8. – С. 18–20.
6. Злоба, Е. Статистические методы восстановления пропущенных данных / Е. Злоба, И. Яцкив // ComputerModelling&NewTechnologies. – 2002. – Т. 6, № 1. – С. 51–61.

УДК 696.46:697.27

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМУ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В. В. Киселевич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлена схема системы индивидуального теплоснабжения с электрическим котлом, в контуры отопления и горячего водоснабжения которой включены теплоаккумулирующие аппараты, заполненные парафином. Предлагаемое схемное решение обеспечивает повышение энергетической эффективности работы системы индивидуального теплоснабжения. Указанный эффект достигается благодаря снижению общего потребления электрической энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения за счет использования запасенного в аккумуляторах тепла.