

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗИМНИХ И ЛЕТНИХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ РАБОЧИХ И ВЫХОДНЫХ ДНЕЙ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ С ЭЛЕКТРОПЛИТАМИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

**А.С. Соловьева**, [DemidenkoAS@mpei.ru](mailto:DemidenkoAS@mpei.ru)

**Г.В. Шведов**, [ShvedovGV@mpei.ru](mailto:ShvedovGV@mpei.ru)

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия*

**Аннотация.** В статье обобщены типовые суточные графики нагрузки на вводе многоквартирных жилых домов с электрическими плитами из различных литературных источников. В качестве исходных данных для анализа использовались результаты измерений за 3 года каждые 30 минут автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии, установленной на вводах 7 многоэтажных многоквартирных жилых домов Московского региона, в квартирах которых установлены электрические плиты. В результате обработки массива данных представлены современные суточные графики нагрузки на вводе в дома с электрическими плитами для различных дней недели (рабочие дни, суббота и воскресенье) зимы и лета. Для актуализированных графиков определены коэффициенты неравномерности, заполнения (плотности) и формы. Выполнено сопоставление актуализированных графиков нагрузки как между собой для различных дней недели рассматриваемых сезонов года, так и с графиками из научно-технической литературы с различными интервалами осреднений. Получено, что конфигурация современных графиков нагрузки жилых зданий значительно отличается от приведенных в литературных источниках как по наличию и значению характерных минимумов и максимумов, так и по продолжительности характерных периодов в суточном разрезе нагрузки.

**Ключевые слова:** электропотребление, график нагрузки, расчетные электрические нагрузки, максимум нагрузки, жилой дом, система электроснабжения

**Для цитирования:** Соловьева А.С., Шведов Г.К. Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т. 23, № 1. С. 27–37. DOI: 10.14529/power230103

Original article  
DOI: 10.14529/power230103

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELECTRIC LOAD ON WEEKDAYS AND WEEKENDS OF MULTI-APARTMENT BUILDINGS WITH ELECTRIC STOVES IN THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF LARGE CITIES

**A.S. Solovyova**, [DemidenkoAS@mpei.ru](mailto:DemidenkoAS@mpei.ru)

**G.V. Shvedov**, [ShvedovGV@mpei.ru](mailto:ShvedovGV@mpei.ru)

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia*

**Abstract.** This article summarizes the typical daily loads of apartment buildings with electric stoves from various sources and the factors influencing power consumption. The initial data for the analysis were the results of automated measurements every 30 minutes for 3 years of commercial electricity metering installed in 7 apartment buildings using electric stoves in the Moscow region. The daily loads are presented for weekdays, Saturdays, and Sundays, and for winter and summer. The coefficients of unevenness, density, and shape are determined. The updated load graphs were compared with each other for different days of the week during different seasons, and with charts from the literature with different averaging intervals. It was found that the configuration of modern load curves for residential buildings differs significantly from those given in the literature in the minima and maxima, and in the duration of characteristic periods in the daily load.

**Keywords:** power consumption, load graph, calculated electric loads, maximum electric load, residential grid, power supply system

**For citation:** Solovyova A.S., Shvedov G.V. A comparative analysis of the electric load on weekdays and weekends of multi-apartment buildings with electric stoves in the power supply systems of large cities. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2023;23(1):27–37. (In Russ.) DOI: 10.14529/power230103

### Введение

Графики электрических нагрузок характеризуют режимы потребления электроэнергии как отдельных электроприемников и потребителей, так и системы электроснабжения и энергосистемы в целом.

В настоящее время отмечается низкая загрузка эксплуатируемых силовых трансформаторов распределительных электрических сетей 6–20 кВ [1]. Вследствие чего в структуре потерь электроэнергии начинают преобладать потери холостого хода, что отрицательно сказывается на показателях энергоэффективности распределительных сетевых компаний.

Проведенные предварительные исследования [2–8] показывают, что значения расчетных нагрузок элементов распределительных сетей, приведенные в нормативных документах (РД 34.20.185-94 и СП 256.1325800.2016), значительно завышены, так как большинство используемых электроприемников стали энергоэффективными. Следовательно, и конфигурация современных графиков нагрузки отличается от типовых, представленных в научно-технической литературе.

Поэтому для корректного выбора мощности трансформаторов 6–20 кВ, повышения загрузки существующих и вновь проектируемых электрических сетей необходимо скорректировать нормативы расчетных нагрузок элементов распределительных сетей и получить актуализированные суточные графики нагрузки. Это позволит повысить энергоэффективность распределительных электрических сетей и приведет к снижению относительных потерь электроэнергии, а также повысит экономическую эффективность электросетевых компаний. В дальнейшем актуализированные модели графиков нагрузки на жилые дома можно использовать для исследования и облегчения эксплуатации «умных домов» с нейтральным энергопотреблением или для снижения их потребления электроэнергии и/или счетов за электроэнергию за счет управления спросом и переключения нагрузки.

### Исходные данные и постановка задачи

В качестве исходных данных использованы результаты фактических измерений автоматизированной системы коммерческого учёта электро-

энергии (АСКУЭ). Измерения проведены в северо-восточной части Московского региона. Объектами исследования являются 7 типовых жилых зданий, в квартирах которых установлены электрические плиты. Для определения наличия общей конфигурации электрических графиков жилых зданий были рассмотрены здания различной этажности и количества квартир. В табл. 1 приведены данные по зданиям, в которых снимались показания электрических счетчиков на вводных распределительных устройствах (ВРУ) каждые 30 минут в период с 2017 по 2019 г. К ВРУ подключены все электроприемники жилого дома: электроприёмники квартиры (осветительные и бытовые приборы) и общедомовые электроприемники (лифтовые установки, санитарно-технические устройства, освещение общих помещений, вентиляция и др.).

Необходимо оценить, оказывает ли влияние на конфигурацию графиков нагрузки этажность дома, количество квартир в нем, есть ли общие закономерности в электропотреблении, какие факторы влияют на электропотребление, и получить современные суточные графики на вводе в многоквартирный жилой дом.

Рассмотрены только показания за декабрь – январь (зима) и июнь – июль (лето), так как в эти месяцы зимы и лета наблюдается соответственно максимум и минимум нагрузки [9]. При этом продолжительность светового дня в декабре – январе примерно одинаковая, как в июне – июле. На основе первичного анализа графиков принято решение выделять графики рабочих дней, субботы и воскресенья, так как конфигурации графиков каждого из этих типов дней соответственно различаются друг от друга, но внутри одного типа дней графики в значительной степени совпадают.

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием MS Excel. Каждый дом рассматривался по отдельности. Для построения актуализированных графиков нагрузки исследовались зимние и летние рабочие и выходные дни. Для каждого рассматриваемого здания был получен суточный график зимних и летних дней. Затем для графиков отдельно зимних и летних дней вычислено среднее арифметическое значение мощностей семи рассматриваемых графиков со-

Таблица 1

Исходные данные по зданиям

Table 1

Baseline data for buildings

№ здания	Количество этажей	Количество квартир
1 здание	12	383
2 здание	12	191
3 здание	12	124
4 здание	12	263
5 здание	7	127
6 здание	25	497
7 здание	17	471

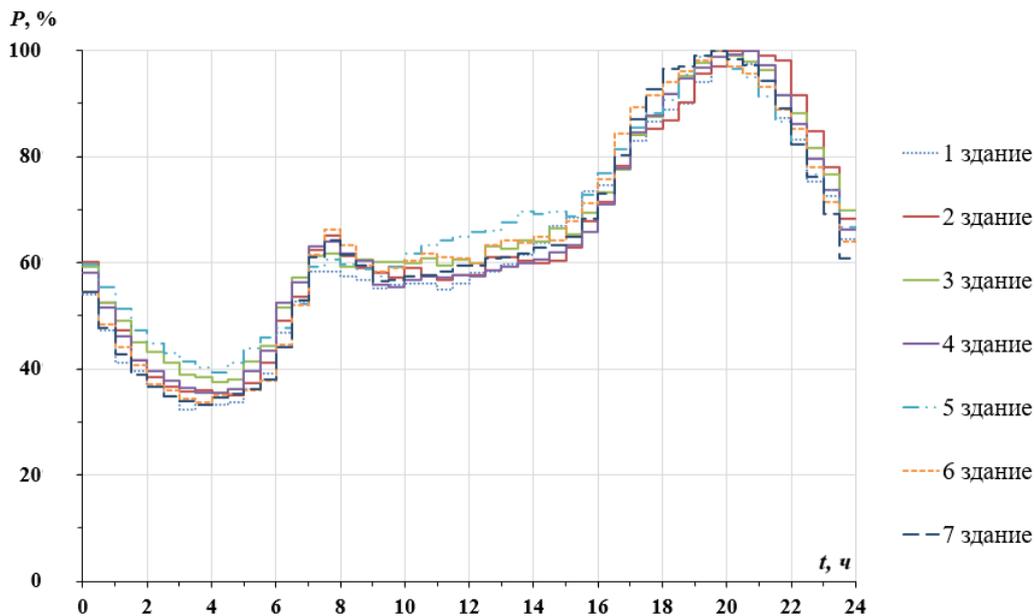


Рис. 1. Суточные графики нагрузки зимних рабочих дней для семи зданий  
Fig. 1. Daily load of winter weekdays for seven buildings

ответственно каждого из сорока восьми интервалов. За 100 % было принято максимальное значение нагрузки за сутки. Допускалось, что в каждом месяце исключались графики, которые плохо совпадали с остальными. В основном это были дни, приходящиеся на новогодние праздники.

Были построены суточные графики зимних и летних дней отдельно для рабочих дней, субботы и воскресенья для каждого здания. В качестве примера на рис. 1 представлены результаты зимних рабочих дней для рассматриваемых зданий.

Из рис. 1 видно, что конфигурация графика не изменяется от этажности и количества квартир здания.

#### Актуализированные суточные графики нагрузки

На рис. 2 представлены суточные графики нагрузки зимних дней жилого здания с получасовым осреднением.

Около полуночи значение нагрузки примерно одинаково для всех дней недели и составляет около 60 % от максимума. Минимум для рассматри-

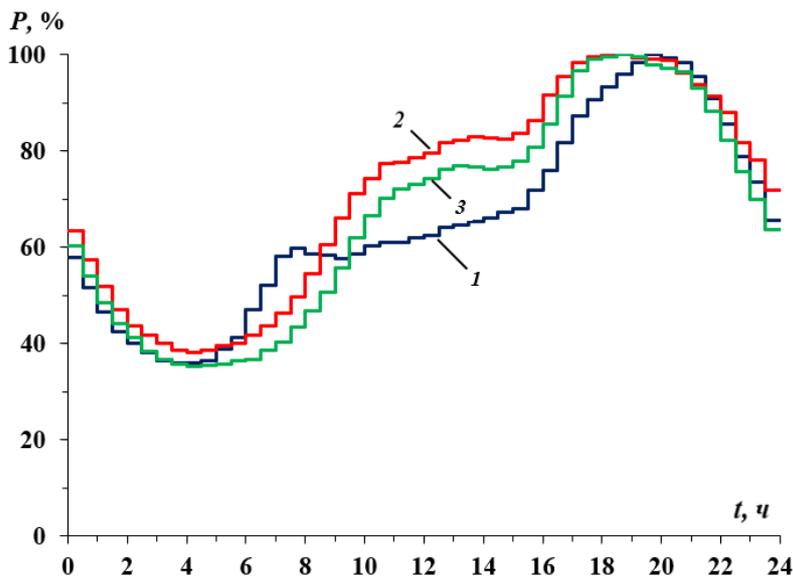


Рис. 2. Суточные графики нагрузки зимних дней жилого здания с электроплитами:  
1 – график рабочего дня; 2 – график субботы; 3 – график воскресенья  
Fig. 2. Daily load for winter days of a residential building with electric stoves:  
1 – weekdays; 2 – Saturday; 3 – Sunday

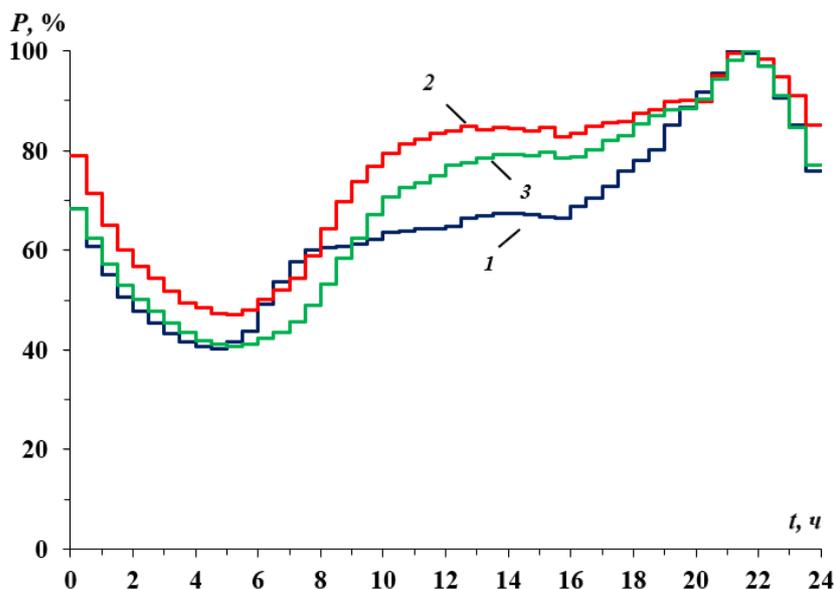


Рис. 3. Суточные графики нагрузки летних дней жилого здания с электроплитами:  
1 – график рабочего дня; 2 – график субботы; 3 – график воскресенья  
Fig. 3. Daily load for summer days of a residential building with electric stoves:  
1 – weekdays; 2 – Saturday; 3 – Sunday

ваемых графиков совпадает – составляет около 36 % и наблюдается с 4:00 до 4:30. Далее, с 4:30 наблюдается постепенный рост электрической нагрузки. С 6:00 электрическая нагрузка в рабочие дни резко увеличивается, достигает утреннего максимума в интервале с 7:30 до 8:00. В субботу и воскресенье отсутствует утренний максимум: после ночного провала нагрузка постепенно продолжает увеличиваться до дневного максимума, который в субботу наблюдается с 13:30 до 14:00, а в воскресенье – с 13:00 до 13:30. Дневной провал на графиках выходных дней незначительный и наблюдается с 14:30 до 15:00 в субботний день и с 14:00 до 14:30 – в воскресный. Стоит отметить, что на графике рабочего дня отсутствует дневной максимум.

Вечерний максимум по времени совпадает в выходные дни и наблюдается с 18:00 до 19:00, а в рабочие дни – с 19:30 до 20:00.

На рис. 3 изображены суточные графики летних дней. Около полуночи значение нагрузки в рабочие дни и воскресенье одинаково и составляет 68 %, а в субботу существенно больше – около 80 %.

Ночной минимум наблюдается в рабочие дни с 4:00 до 5:00 и составляет 40 %, в субботу – с 4:30 до 5:30 и составляет 47 %, в воскресенье – с 5:00 до 5:30 и составляет 40 %.

В летний период отсутствует утренний максимум нагрузки. В рабочие дни нагрузка после ночного провала резко растет до 8:00, а затем увеличивается незначительно. В выходные дни нагрузка плавно увеличивается.

Дневной максимум наблюдается в рабочие дни с 13:30 до 14:00 и составляет 67 %, в субботу –

в диапазоне с 12:30 до 15:30 и составляет около 85 %, в воскресенье – в диапазоне с 13:30 до 15:30 и составляет около 80 %. Дневной минимум на графиках выходных дней незначительный и наблюдается с 15:30 до 16:30, а в рабочие дни с 14:00 до 16:00 наблюдается незначительное снижение нагрузки на 1 %.

Максимум рабочих дней и субботы наблюдается с 21:00 до 22:00, а воскресенье – с 21:30 до 22:00. Затем нагрузка продолжает снижаться и к полуночи в рабочие дни и воскресенье достигает около 77 %, а в субботу – 85 %.

#### Сопоставление зимних и летних графиков нагрузки

Далее проведем сравнительный анализ конфигураций зимнего и летнего суточных графиков нагрузки.

В рамках исследования было определено, что разница между суточными максимумами нагрузки летних и зимних дней составляет 30 %.

На рис. 4 показаны суточные графики нагрузки рабочих дней жилого здания в зимний и летний период. За 100 % для каждого графика принята максимальная суточная нагрузка для каждого сезона соответственно.

Около полуночи нагрузка в летний период в относительных единицах превышает нагрузку в зимний практически в 1,2 раза. Ночной минимум зимнего графика более продолжительный и наблюдается раньше, чем у летнего: зимний минимум длится с 3:30 до 4:30, составляя 36 %, а летний минимум – с 4:30 до 5:00, составляя 41 %.

Далее, с 7:30 до 8:00 нагрузка графиков разных сезонов совпадает, составляя 60 %, причем эта

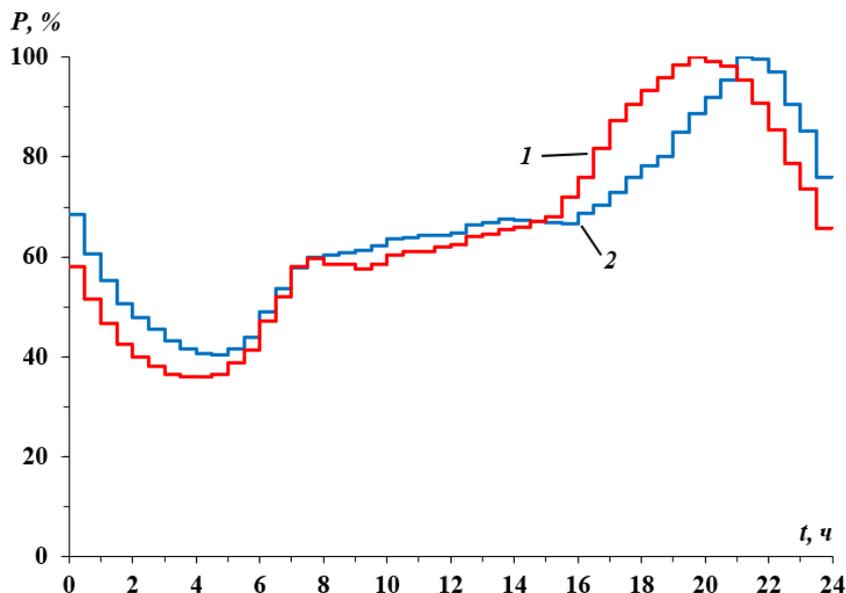


Рис. 4. Суточные графики нагрузки рабочих дней жилого здания с электроплитами:  
1 – график зимних дней; 2 – график летних дней  
Fig. 4. Weekday loads of a residential building with electric stoves:  
1 – winter days; 2 – summer days

нагрузка является утренним максимумом зимних дней. У летнего суточного графика нагрузки рабочих дней утренний максимум отсутствует.

В зимний период отсутствует дневной максимум электрической нагрузки, а в летний период он наблюдается с 13:30 до 14:00 и составляет 67%. В диапазоне времени с 15:00 до 16:00 нагрузка на графиках рис. 4 начинает резко увеличиваться, достигая к вечеру 100%. Вечерний максимум в зимние рабочие дни наблюдается раньше на полтора часа, поэтому максимум смещен влево относительно летнего дня. Это связано с продолжи-

тельность естественного освещения: зимой люди используют искусственное освещение раньше, чем летом. Дальнейший спад нагрузки на всех построенных графиках происходит на 25–35% относительно максимума.

На рис. 5 представлены суточные графики нагрузки субботы жилого здания в зимний и летний период.

Около полуночи значение нагрузки для зимних дней составляет 63%, а для летних – практически 80% от максимума. Минимум в зимние дни смещен левее, чем в летние.

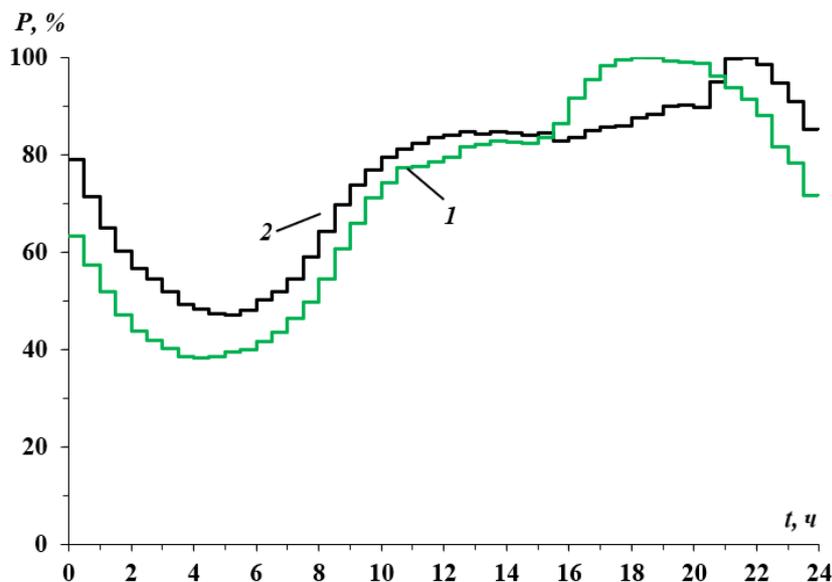


Рис. 5. Суточные графики нагрузки субботы жилого здания с электроплитами:  
1 – график зимних дней; 2 – график летних дней  
Fig. 5. Saturday loads of a residential building with electric stoves:  
1 – winter days; 2 – summer days

Далее, с 5:30, наблюдается постепенный рост электрической нагрузки. В субботные дни отсутствует утренний максимум: после ночного провала нагрузка постепенно продолжает увеличиваться до дневного максимума, который зимой наблюдается с 13:30 до 14:00, а летом колеблется в диапазоне с 12:30 до 15:30 и составляет около 85 %. На графике летних дней с полудня до 16:00 наблюдается равномерная нагрузка.

Дневной минимум в зимний период наблюдается с 14:30 до 15:00, а в летний период он незначительный и наблюдается с 15:30 до 16:30.

Вечерний максимум зимнего дня длится с 18:00 до 19:00, а летнего – с 21:00 до 22:00. Дальнейший спад нагрузки на всех построенных графиках происходит на 15–30 % относительно суточного максимума.

На рис. 6 представлены суточные графики нагрузки воскресенья жилого здания в зимний и летний период.

Около полуночи значение нагрузки для зимних дней составляет 60 %, а для летних – 68 % от максимума. Минимум на летнем графике наступает на полчаса позже, чем на зимнем.

В воскресенье отсутствует утренний максимум: после ночного провала нагрузка постепенно продолжает увеличиваться до дневного максимума, который в зимний период наблюдается с 13:00 до 13:30 и составляет 77 %, а в летний период колеблется в диапазоне с 13:30 до 15:30 и составляет около 80 %.

Дневной минимум на графиках воскресенья незначительный и наблюдается в зимний период с 14:00 до 14:30, а в летний – с 15:30 до 16:30. С 16:00 нагрузка увеличивается, причем в зимние дни это увеличение существенно больше,

что демонстрирует крутой наклон кривой графика нагрузки зимнего периода по сравнению с летним.

Вечерний максимум зимнего дня (с 18:00 до 19:00) смещен левее на 3 часа относительно летнего. Дальнейший спад нагрузки на построенных графиках происходит до 64–77 %.

В табл. 2 сведены показатели суточных зимних и летних графиков нагрузки рабочих дней, субботы и воскресенья жилых зданий с электроплитами: коэффициенты неравномерности ( $\alpha$  – отношение наименьшей нагрузки к наибольшей за анализируемый интервал времени), заполнения ( $\beta$  – отношение средней нагрузки к наибольшей) и формы ( $k_{\phi}$  – отношение среднеквадратичной нагрузки к средней).

Коэффициенты неравномерности и заполнения графика рабочих зимних дней ниже, чем для летних, следовательно, график летних дней более равномерный и заполненный. Коэффициент неравномерности графика рабочего дня летнего периода превышает зимний на 11 %, заполнения – на 1,5 %.

Для графиков субботнего и воскресного дня ситуация аналогичная: график в летний период более равномерный и заполненный, чем в зимний.

Коэффициент неравномерности графика субботы летнего периода превышает зимний на 23 %, заполнения – на 7 %. Коэффициент неравномерности графика воскресенья летнего периода превышает зимний на 17 %, заполнения – на 4,5 %.

Сравнивая вторичные показатели графиков зимнего периода, можно сделать вывод, что самый равномерный и заполненный график – субботнего дня.

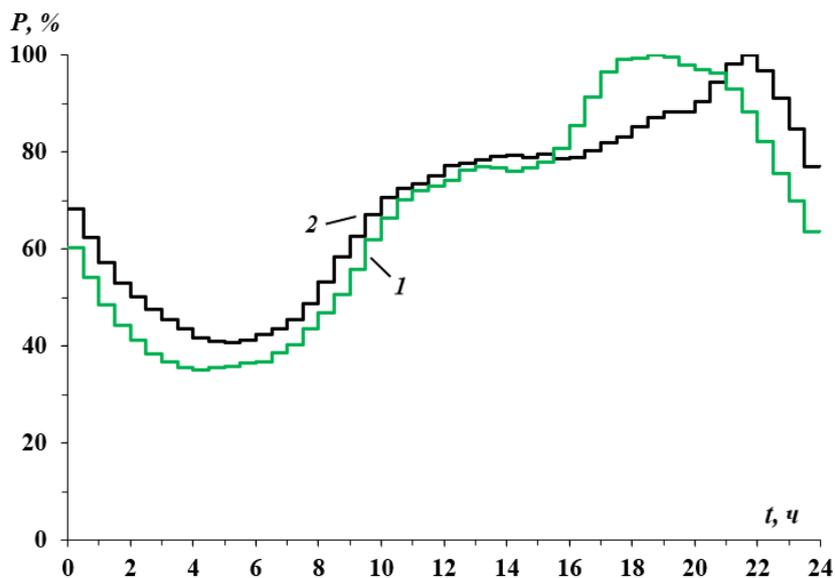


Рис. 6. Суточные графики нагрузки воскресенья жилого здания с электроплитами:  
1 – график зимних дней; 2 – график летних дней

Fig. 6. Sunday loads of a residential building with electric stoves:  
1 – winter days; 2 – summer days

Таблица 2

Показатели суточных зимних и летних графиков нагрузки рабочих дней, субботы, воскресенья жилых зданий с электроплитами

Table 2

Daily winter and summer loads for weekdays, Saturdays, and Sundays of residential buildings with electric stoves

Суточный график нагрузки		Коэффициенты		
		$\alpha$	$\beta$	$k_{\Phi}$
Рабочий день	Построенный зимний	0,36	0,65	1,04
	Построенный летний	0,40	0,66	1,03
	График из [10]	0,10	0,50	1,13
	График из [11]	0,10	0,51	1,13
	График из [12]	0,07	0,51	1,16
	График из [13]	0,10	0,51	1,15
Суббота	Построенный зимний	0,38	0,71	1,04
	Построенный летний	0,47	0,76	1,02
	График из [10]	0,16	0,55	1,14
	График из [11]	0,15	0,54	1,16
Воскресенье	Зимний воскресный день	0,35	0,67	1,05
	Летний воскресный день	0,41	0,70	1,03
	График из [10]	0,16	0,52	1,16
	График из [11]	0,15	0,54	1,16

### Сравнение актуализированных и существующих типовых графиков нагрузки

На рис. 7 приведены графики зимних рабочих дней.

Около полуночи значение нагрузки актуализированного графика превышает значения типовых графиков практически в 3 раза. Минимум нагрузки на графике 1 (см. рис. 7) наблюдается с 4:00 до 4:30, а на графиках 2–5 в интервале с 2:30 до 4:30. Минимальное значение нагрузки построенного графика превышает значения типовых графиков практически в 3,5 раза. Значение

нагрузки достигает утреннего максимума в интервале с 7:30 до 8:00 по актуализированным данным и практически совпадает с нагрузкой графиков из [10, 11].

На построенном графике нагрузки отсутствует дневной максимум, который наблюдается на всех типовых графиках из [10–13].

Вечерний максимум по актуализированным данным наблюдается с 19:30 до 20:00, а по данным из научно-технической литературы [10–13] раньше – с 18:00 до 20:00. Актуализированный график более заполненный и равномерный, нежели графики из [10–13]. Коэффициент заполнения построенного

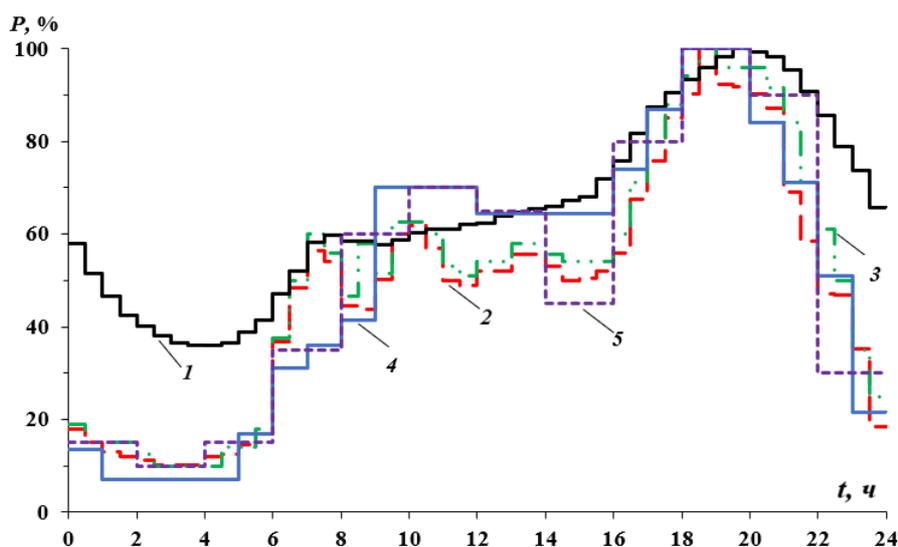


Рис. 7. Суточные графики нагрузки рабочих дней жилого здания: 1 – построенный график зимних дней; 2 – график из [10]; 3 – график из [11]; 4 – график из [12]; 5 – график из [13]

Fig. 7. Weekday loads of a residential building: 1 – constructed graph of winter days; 2 – graph from [10]; 3 – graph from [11]; 4 – graph from [12]; 5 – graph from [13]

графика зимнего периода превышает коэффициенты типовых на 30 % (см. табл. 2).

На рис. 8 приведены графики зимних дней субботы.

Около полуночи значение нагрузки актуализированного графика превышает значения типовых графиков более чем в 4 раза. Минимум нагрузки на актуализированном графике наблюдается с 4:00 до 4:30. Графики из [10] и [11] в начале, в полночь, имеют приблизительно одно значение – 15 %, которое останется неизменным на графике из [10] до 5:30 утра, а на графике из [11] до 6:30 утра. Минимальное значение нагрузки построенного графика превышает значения типовых графиков практически в 2,5 раза.

В субботу по актуализированным данным отсутствует утренний максимум: после ночного провала нагрузка постепенно продолжает увеличиваться до дневного максимума, который наблюдается с 13:30 до 14:00, а на графиках из [10] и [11] утренний максимум наблюдается с 10:00 до 10:30, причем на графике из [11] наблюдается максимальная мощность, принятая за 100 %. На графике из [10] также в этот период очень высокая нагрузка, не характерная для типового суточного графика рабочих дней.

Дневной минимум на актуализированном графике незначительный, в отличие от минимума на графиках из [10–11], и наблюдается с 14:30 до 15:00, а на типовых – значительные провалы нагрузки после утренних и дневных максимумов.

Вечерний максимум на актуализированном графике и графике из [10] наступают практически одновременно, но максимум актуализированного

продолжительнее. Правее этих максимумов расположен вечерний пик графика из [11].

Актуализированный график более заполненный и равномерный, нежели графики из [10, 11], так как коэффициент неравномерности построенного графика зимнего периода превышает коэффициенты типовых более чем на 150 %, а заполненность – на 32 %.

На рис. 9 приведены графики зимних дней воскресенья.

Около полуночи значение нагрузки актуализированного графика превышает значения типовых графиков в 4 раза. Минимум нагрузки на актуализированном графике и графиках из [10] и [11] идентичны для субботних дней и описаны выше. Минимальное значение нагрузки построенного графика превышает значения типовых графиков практически в 2 раза.

В воскресенье по актуализированным данным отсутствует утренний максимум: после ночного провала нагрузка постепенно продолжает увеличиваться до дневного максимума, который наблюдается с 13:30 до 14:00, а на графиках из [10] и [11] утренний максимум наблюдается с 10:00 до 10:30, причем на графике из [11] наблюдается максимальная мощность, принятая за 100 %. На графике из [10] также в этот период очень высокая нагрузка, не характерная для типового суточного графика рабочих дней.

Дневной минимум на актуализированном графике незначительный, в отличие от минимума на графиках из [10, 11], и наблюдается с 14:30 до 15:00, а на типовых – значительные провалы нагрузки после утренних и дневных максимумов.

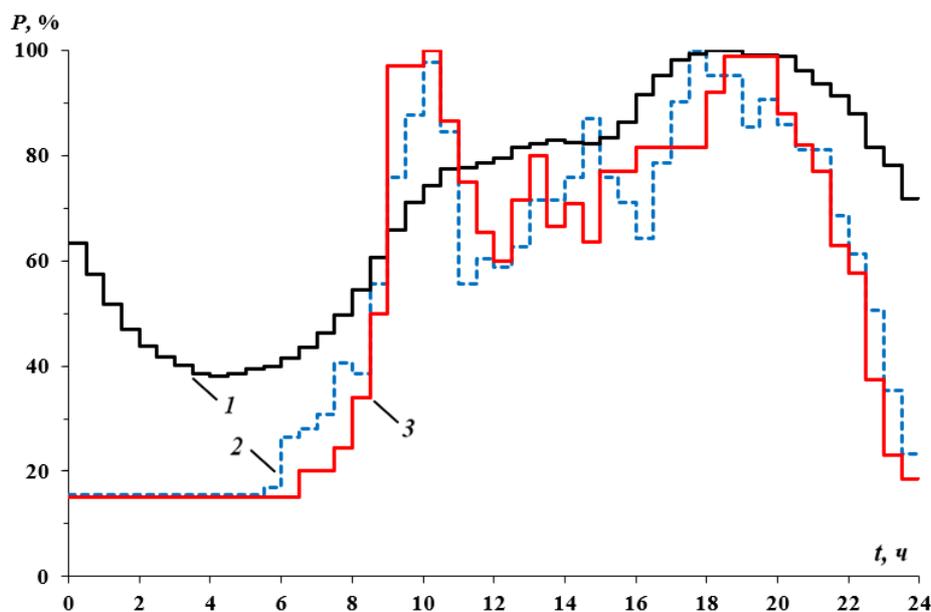


Рис. 8. Суточные графики нагрузки жилого здания: 1 – построенный график зимних дней субботы; 2 – график субботы из [10]; 3 – график выходных дней из [11]

Fig. 8. Weekday loads of a residential building: 1 – constructed graph of winter days; 2 – graph from [10]; 3 – graph from [11]

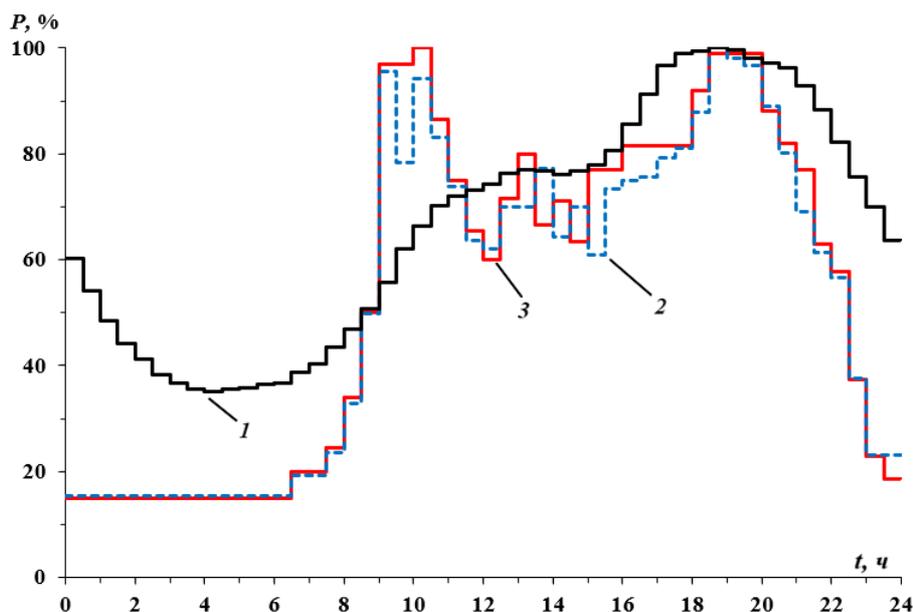


Рис. 9. Суточные графики нагрузки жилого здания: 1 – построенный график зимних дней воскресенья; 2 – график воскресенья из [10]; 3 – график выходных дней из [11]  
 Fig. 9. Daily loads of a residential building: 1 – constructed graph of winter Sundays; 2 – Sunday graph from [10]; 3 – weekend graph from [11]

Вечерний максимум на построенном графике зимнего дня и на графиках из [10] и [11] практически совпадает по времени наступления. Вечерний максимум стал более плавным, как и у субботнего дня. Вечерний пик на графике летних дней воскресенья, как и субботы, смещен левее относительно сравниваемых.

Актуализированный график более заполненный и равномерный, нежели графики из [10, 11]. Коэффициент неравномерности построенного графика зимнего периода превышает коэффициенты типовых более чем на 130 %, а заполнения – на 28 %.

### Заключение

По результатам проведенного исследования были получены следующие основные результаты и выводы.

1. В рабочие дни зимнего периода присутствует утренний максимум нагрузки, а дневной максимум нагрузки наблюдается всегда, кроме рабочих дней зимнего периода.

2. В зимний период вечерний максимум по времени совпадает в выходные дни и наблюдается с 18:00 до 19:00, а в рабочие дни – с 19:30 до 20:00.

3. В летний период вечерний максимум рабочих дней и субботы наблюдается с 21:00 до 22:00, а воскресенья – с 21:30 до 22:00.

4. Коэффициенты неравномерности и заполнения графиков рабочих зимних дней ниже, чем для летних, поэтому график рабочего дня в летний период более равномерный и заполненный, чем в зимний.

5. Коэффициент неравномерности графика рабочего дня летнего периода превышает зимний на 11 %, заполнения – на 1,5 %. Коэффициент неравномерности графика субботы летнего периода превышает зимний на 23 %, заполнения – на 7 %. Коэффициент неравномерности графика воскресенья летнего периода превышает зимний на 17 %, заполнения – на 4,5 %.

6. Для зимнего и летнего периода самый равномерный и заполненный график – субботнего дня.

7. Наименьшая мощность актуализированных графиков зимних и летних рабочих дней, субботы и воскресенья находится в диапазоне от 35 до 47 %, средняя мощность – от 65 до 76 %, коэффициент формы – от 1,02 до 1,05.

Полученные графики можно рассматривать и сравнивать с типовыми графиками крупных городов. Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что актуализированные графики заметно отличаются от типовых графиков и их показателей, полученных в 1970–1990-е годы.

### Список литературы

1. Разработка методики точной оценки фактической загрузки трансформаторов 6(10)–0,4 кВ с помощью данных от интеллектуальных систем учета электрической энергии / Т.А. Мусаев, М.Н. Хабибуллин, С.Р. Шагеев, О.В. Федоров // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2022. № 4 (73). С. 22–27.
2. Солюянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солюянов В.И. Энерго-ресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2021. Т. 23, № 1. С. 156–166. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-1-156–166
3. Солюянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солюянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2021. Т. 23, № 3. С. 47–57. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57
4. Demidenko A.S., Kudelina S.A., Shvedov G.V. Analysis of the electric loads of residential and public buildings in urban power supply systems // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1683. P. 052016. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/5/052016
5. Proedrou E. A Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 12114–12133. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3050074
6. A review of identification and monitoring methods for electric loads in commercial and residential buildings / Y. Du, L. Du, B. Lu et al. // *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*. 2010. P. 4527–4533. DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618423
7. Analysis of power usage at household and proper energy management / J. Kim, J. Han, N. Kim et al. // *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. 2018. P. 706–708. DOI: 10.1109/ICTC.2018.8539459
8. Murata H., Onoda T. Estimation of power consumption for household electric appliances // *Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing*, 2002. ICONIP '02. 2002. Vol. 5. P. 2299–2303. DOI: 10.1109/ICONIP.2002.1201903
9. Analysis of the maximum electrical load of multi-apartment residential buildings in the power supply systems of cities / G.V. Shvedov, I.A. Morsin, A.S. Demidenko et al. // *2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*. 2022. P. 1–5. DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731476
10. Тульчин И.К., Нудлер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. М.: Энергоатомиздат, 1990. 480 с.
11. Козлов В.А., Билик Н.И., Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электроснабжения городов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1986. 254 с.
12. Козлов В.А. Городские распределительные электрические сети. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоиздат. Ленинград. отд-ние, 1982. 224 с.
13. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети: учеб. пособие. М.: Издат. дом МЭИ, 2012. 268 с.

### References

1. Musaev T.A., Khabibullin M.N., Shageev S.R., Fedorov O.V. [Development of a method for accurate assessment of the actual load of 6(10)–0.4 kV transformers using data from intelligent electric energy metering systems]. *Electric power. Transmission and distribution*. 2022;4(73):22–27. (In Russ.)
2. Soluyanov Yu. I., Akhmetshin A.R., Soluyanov V.I. Energy-resource-saving effect in the electric supply systems of residential complexes from updating the electric load regulations. *Proceedings of higher educational institutions. Energy sector problems*. 2021;23(1):156–166. (In Russ.) DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-1-156-166
3. Soluyanov Yu. I., Akhmetshin A.R., Soluyanov V.I. Update of specific electric loads of public premises located in residential buildings. *Proceedings of higher educational institutions. Energy sector problems*. 2021;23(3):47–57. (In Russ.) DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57
4. Demidenko A.S., Kudelina S.A., Shvedov G.V. Analysis of the electric loads of residential and public buildings in urban power supply systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1683:052016. DOI: 10.1088/1742-6596/1683/5/052016
5. Proedrou E. A Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models. *IEEE Access*. 2021;9:12114–12133. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3050074
6. Du Y., Du L., Lu B., Harley R., Habetler T. A review of identification and monitoring methods for electric loads in commercial and residential buildings. In: *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*; 2010. P. 4527–4533. DOI: 10.1109/ECCE.2010.5618423
7. Kim J., Han J., Kim N., Kim M., Choi J. Analysis of power usage at household and proper energy management. In: *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*; 2018. P. 706–708. DOI: 10.1109/ICTC.2018.8539459

8. Murata H., Onoda T. Estimation of power consumption for household electric appliances. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing, 2002. ICONIP '02*. 2002. Vol. 5. P. 2299–2303. DOI: 10.1109/ICONIP.2002.1201903

9. Shvedov G.V., Morsin I.A., Demidenko A.S., Kudelina S.A., Parfenov G.A. Analysis of the maximum electrical load of multi-apartment residential buildings in the power supply systems of cities. In: *2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*. 2022. P. 1–5. DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731476

10. Tul'chin I.K., Nudler G.I. *Elektricheskie seti i elektrooborudovanie zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Electric grids and electrical equipment of residential and public buildings]. Moscow: Energoatomizdat; 1990. 480 p. (In Russ.)

11. Kozlov V.A., Bilik N.I., Faybisovich D.L. *Spravochnik po proektirovaniyu elektrosnabzheniya gorodov* [Handbook for the design of power supply of cities]. 2nd ed. Leningrad: Energoatomizdat; 1986. 254 p. (In Russ.)

12. Kozlov V.A. *Gorodskie raspredelitel'nye elektricheskie seti* [City distribution networks]. 2nd ed. Leningrad: Energoizdat; 1982. 224 p. (In Russ.)

13. Shvedov G.V. *Elektrosnabzhenie gorodov: elektropotreblenie, raschetnye nagruzki, raspredelitel'nye seti: ucheb. posobie* [Power supply of cities: power consumption rated loads distribution networks study guide. Tutorial]. Moscow: MPEI Publishing House; 2012. 268 p. (In Russ.)

#### **Информация об авторах**

**Соловьева Алёна Сергеевна**, ассистент, кафедра электроэнергетических систем, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия; DemidenkoAS@mpei.ru.

**Шведов Галактион Владимирович**, канд. техн. наук, доц., кафедра электроэнергетических систем, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия; ShvedovGV@mpei.ru.

#### **Information about the authors**

**Alyona S. Solovyova**, Assistant, Department of Electrical Power Systems, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia; DemidenkoAS@mpei.ru.

**Galaktion V. Shvedov**, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Department of Electrical Power Systems, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russia; ShvedovGV@mpei.ru.

*Статья поступила в редакцию 03.11.2022; одобрена после рецензирования 24.01.2023; принята к публикации 24.01.2023.*

*The article was submitted 03.11.2022; approved after review 24.01.2023; accepted for publication 24.01.2023.*