

УДК 620.9:658.8.035:728.4

СУТОЧНЫЕ ГРАФИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КАК ОСНОВА СОЗДАНИЯ НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ТАРИФОВ ДЛЯ ОБЩЕЖИТИЙ

Левцев А.П., Лысяков А.И., Кручинкина О.А., Цыцарева Е.И.
ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,
Саранск, e-mail: lysyakov_lai@mail.ru

Электрическая энергия на сегодняшний день является самым дорогим видом энергии в энергетическом балансе зданий. Поэтому, как правило, именно в ней находится наибольший потенциал энергосбережения. На современном уровне развития технологий энергетическая эффективность отдельных приборов имеет высокое значение и поэтому дальнейшее повышение эффективности работы отдельного оборудования не дает необходимой законодательством экономии (3% в год). С целью выявления направлений экономии электрической энергии в ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» было проведено энергетическое обследование общежитий. Как показал анализ, наибольший потенциал энергосбережения находится в режимах потребления. Для того чтобы стимулировать проживающих к соблюдению наиболее эффективных режимов, была предложена методика определения научно обоснованных тарифов для общежитий, которая позволяет корректировать тариф в зависимости от величины потерь в сетях электроснабжения.

Ключевые слова: электрическая энергия, режим потребления, потенциал энергосбережения, тариф, суточный график

DAILY SCHEDULE OF POWER CONSUMPTION AS BASIS OF EVIDENCE-BASED FARE FOR A HOSTEL

Levtzev A.P., Lysyakov A.I., Kruchinkina O.A., Tsytzareva E.I.
Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: lysyakov_lai@mail.ru

Electrical energy is by far the most expensive form of energy in the energy balance of buildings. Therefore, as a rule, there is the greatest potential for energy savings. At the present level of technology energy efficiency of individual devices is high and so further increase the efficiency of individual equipment does not need saving legislation (3% per year). In order to identify areas of savings in electricity Ogarev Mordovia State University conducted energy audit dormitories. An analysis of the greatest potential for energy savings is in the consumption modes. To encourage residents to comply with the most effective modes was proposed method of determining evidence-based tariffs for the dormitories, which allows you to adjust the rate depending on the amount of losses in electricity networks.

Keywords: electric power, consumption mode, the energy saving potential, the tariff, the daily schedule

Электрическая энергия в энергетическом балансе общежитий вузов занимает 30–40% от общего потребления. В связи с проводимой в последние года активной политикой энергосбережения и соответственно реализацией ряда мероприятий в вузах (установка высокоэффективных осветительных приборов, насосного оборудования, систем регулирования и т.д.) [5] потребление электрической энергии снизилось по отношению к базовым значениям более чем на 3% в год. Однако из-за роста числа бытовой техники, кондиционеров, электрических обогревателей удельная величина электропотребления остается достаточно высокой [3].

Существенным шагом в снижении удельной величины электропотребления в общежитиях вузов является постоянный мониторинг количества и качества электрической энергии с использованием современных анализаторов количества и качества электропотребления [2]. Применение

последних позволяет проводить более глубокий анализ электропотребления, на основе которого можно получать научно обоснованные методики для дифференциации тарифов внутри вузов, введение которых будет являться значительной мотивацией в снижении электропотребления [1].

Материалы и методы исследования

На примере десяти общежитий ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» приведены результаты анализа режимов электропотребления, полученные специалистами УНЦ «Мордовский центр энергосбережения» с использованием анализаторов количества и качества электропотребления типа AR5-L. Анализаторы качества и количества электрической энергии AR5-L устанавливались на каждом общежитии в ВРУ на сутки, регистрация и запись параметров осуществлялась через каждые 2,5 минуты.

Основными целями приборного обследования режимов электропотребления в общежитиях ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» являлось:

– определение фактической величины удельного энергопотребления для конкретных общежитий;

- получение объективных данных о параметрах работы сети;
- выявление основных факторов, приводящих к ненормальным режимам работы электрической сети.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведены удельные показатели потребления электрической энергии по обследуемому объектам, полученные на основании узлов коммерческого учета.

Как видно из табл. 1, показатели потребления электроэнергии в общежитиях, как на человека, так и на единицу площади, отличаются в разы, что свидетельствует о значительном потенциале энергосбережения. Отдельно был произведен анализ показателей годового потребления и затрат на энергоносители в динамике за 2013–2015 гг. В табл. 2 представлены сведения о потреблении и затратах на электроэнергию.

Как видно из табл. 2, наибольшее месячное потребление электрической энергии приходится на наиболее холодное время (январь и февраль) когда температурный режим в помещениях общежитий и учебных корпусах доводится до комфортных значений за счет электрических обогревателей. Выявить конкретные причины роста электропотребления в конкретном общежитии стало возможно только после установки анализаторов количества и качества электрической и анализа суточных графиков электропотребления за характерные зимние сутки 2015 г. Характерные графики активной мощности для трех общежитий (№ 12, 3 и 10) представлены и на рис. 1, 2, 3 соответственно.

В результате анализа динамики электропотребления, а также инструментальных замеров были составлены балансы активной

Таблица 1

Удельные показатели потребления общежитий ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»

№ п/п	Наименование общежития	Год постройки	Потребление, кВт·ч	Кол-во проживающих	Общая площадь, м ²	Удельный показатель кВт·ч/чел.	Удельный показатель кВт·ч/м ²
1	№ 1	1993	60222,3	507	9679	118,8	6,2
2	№ 3	2009	11445,89	376	6325	30,4	1,8
3	№ 4	2009	376426,2	651	6447	578,2	58,4
4	№ 5	1990	287651,5	427	5598	673,7	51,4
5	№ 7	1980	210600	183	4439	1150,8	47,4
6	№ 8	1974	187878	490	6315	383,4	29,8
7	№ 9	1976	83745,37	118	2957	709,7	28,3
8	№ 10	1979	56786,72	626	6554	90,7	8,7
9	№ 11	1982	154286,8	598	6731	258,0	22,9
10	№ 12	1988	198280	526	10098	377,0	19,6

Таблица 2

Сведения о потреблении и затратах на электроэнергию за 2015 год

Месяц	Потребление электроэнергии, тыс. кВт·ч	Затраты на электроэнергию, тыс. руб. (с НДС)
Январь	440	839,131
Февраль	450,047	854,337
Март	303,12	576,681
Апрель	306,065	583,055
Май	289,028	543,011
Июнь	189,772	355,009
Июль	262,299	496,217
Август	203,335	374,072
Сентябрь	286,305	535,511
Октябрь	289,012	546,816
Ноябрь	282,848	543,325
Декабрь	187,369	375,345
Всего	3489,2	6622,51

мощности и энергии. Фактическая потребленная энергия в базовом году (2015 г.) составила 3489,2 тыс. кВт·ч. В структуре электрического баланса общежитий наибольшая доля принадлежит освещению – 63%. Из представленных графиков (рис. 1–3) видно, что загрузка сетей общежитий неравномерна, присутствует существенный перекоп нагрузок фаз. Вследствие чего происходят существенные потери в нулевом проводнике и наиболее перегруженной фазе.

Далее для анализа характера качества потребления электрической энергии в общежитиях ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва» предложена нижеследующая методика дифференциации тарифа [4], учитывающая как отклонение удельного электропотребления от базового значения, так и равномерную загрузку электрической сети. Для реализации данной методики необходимо просортировать графики нагрузки активной

мощности по уровням и определить их продолжительность, которая вытекает из нижеследующей системы уравнений, составленных для групп однотипных потребителей:

$$\begin{cases} P_1\tau_1 + 0,9P_1\tau_2 + 0,8P_1\tau_3 + 0,7P_1\tau_4 + 0,6P_1\tau_5 + 0,5P_1\tau_6 + 0,4P_1\tau_7 + 0,3P_1\tau_8 + 0,2P_1\tau_9 + 0,1P_1\tau_{10} = W_1; \\ P_3\tau_1 + 0,9P_3\tau_2 + 0,8P_3\tau_3 + 0,7P_3\tau_4 + 0,6P_3\tau_5 + 0,5P_3\tau_6 + 0,4P_3\tau_7 + 0,3P_3\tau_8 + 0,2P_3\tau_9 + 0,1P_3\tau_{10} = W_3; \\ P_4\tau_1 + 0,9P_4\tau_2 + 0,8P_4\tau_3 + 0,7P_4\tau_4 + 0,6P_4\tau_5 + 0,5P_4\tau_6 + 0,4P_4\tau_7 + 0,3P_4\tau_8 + 0,2P_4\tau_9 + 0,1P_4\tau_{10} = W_4; \\ P_8\tau_1 + 0,9P_8\tau_2 + 0,8P_8\tau_3 + 0,7P_8\tau_4 + 0,6P_8\tau_5 + 0,5P_8\tau_6 + 0,4P_8\tau_7 + 0,3P_8\tau_8 + 0,2P_8\tau_9 + 0,1P_8\tau_{10} = W_8; \\ P_{10}\tau_1 + 0,9P_{10}\tau_2 + 0,8P_{10}\tau_3 + 0,7P_{10}\tau_4 + 0,6P_{10}\tau_5 + 0,5P_{10}\tau_6 + 0,4P_{10}\tau_7 + 0,3P_{10}\tau_8 + 0,2P_{10}\tau_9 + 0,1P_{10}\tau_{10} = W_{10}; \\ P_{11}\tau_1 + 0,9P_{11}\tau_2 + 0,8P_{11}\tau_3 + 0,7P_{11}\tau_4 + 0,6P_{11}\tau_5 + 0,5P_{11}\tau_6 + 0,4P_{11}\tau_7 + 0,3P_{11}\tau_8 + 0,2P_{11}\tau_9 + 0,1P_{11}\tau_{10} = W_{11}; \\ P_{12}\tau_1 + 0,9P_{12}\tau_2 + 0,8P_{12}\tau_3 + 0,7P_{12}\tau_4 + 0,6P_{12}\tau_5 + 0,5P_{12}\tau_6 + 0,4P_{12}\tau_7 + 0,3P_{12}\tau_8 + 0,2P_{12}\tau_9 + 0,1P_{12}\tau_{10} = W_{12}; \\ P_{13}\tau_1 + 0,9P_{13}\tau_2 + 0,8P_{13}\tau_3 + 0,7P_{13}\tau_4 + 0,6P_{13}\tau_5 + 0,5P_{13}\tau_6 + 0,4P_{13}\tau_7 + 0,3P_{13}\tau_8 + 0,2P_{13}\tau_9 + 0,1P_{13}\tau_{10} = W_{13}; \\ P_{14}\tau_1 + 0,9P_{14}\tau_2 + 0,8P_{14}\tau_3 + 0,7P_{14}\tau_4 + 0,6P_{14}\tau_5 + 0,5P_{14}\tau_6 + 0,4P_{14}\tau_7 + 0,3P_{14}\tau_8 + 0,2P_{14}\tau_9 + 0,1P_{14}\tau_{10} = W_{14}. \end{cases}$$

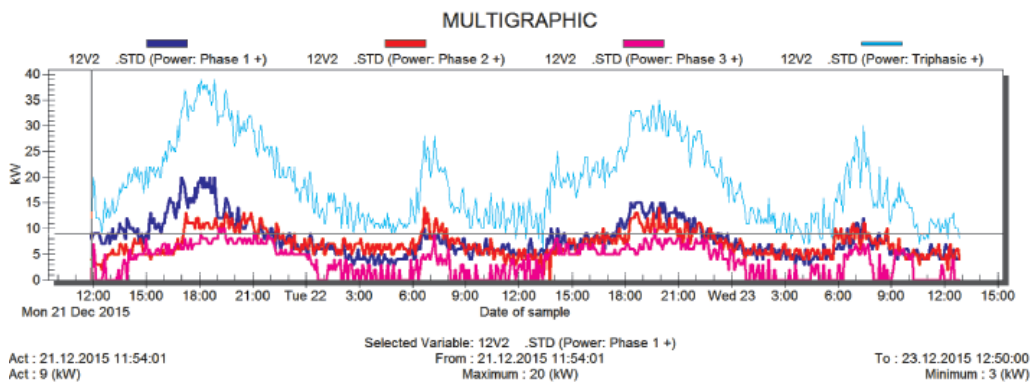


Рис. 1. Суточный график активной мощности (общезитие № 12)

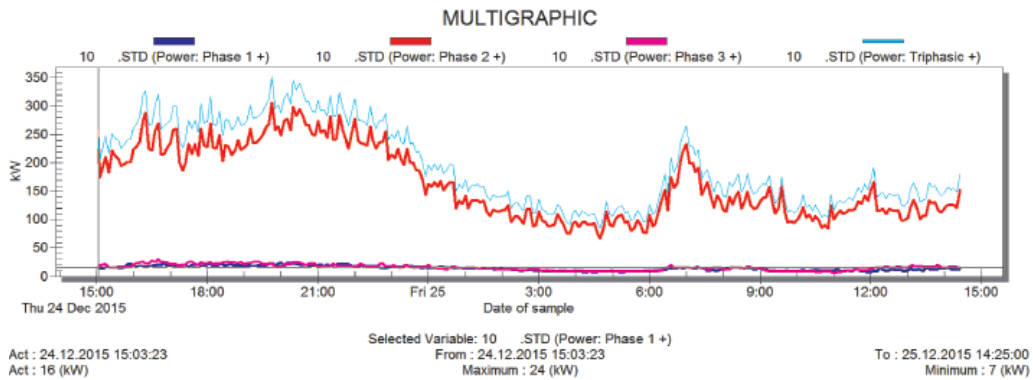


Рис. 2. Суточный график активной мощности (общезитие № 10)

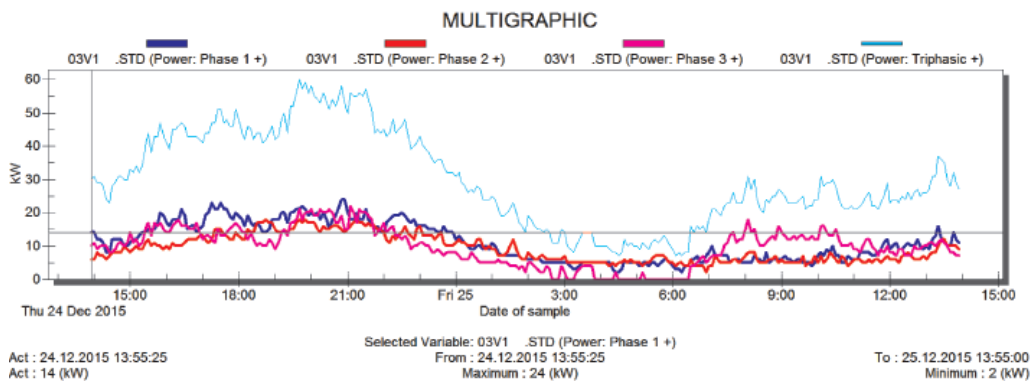


Рис. 3. Суточный график активной мощности (общезитие № 3)

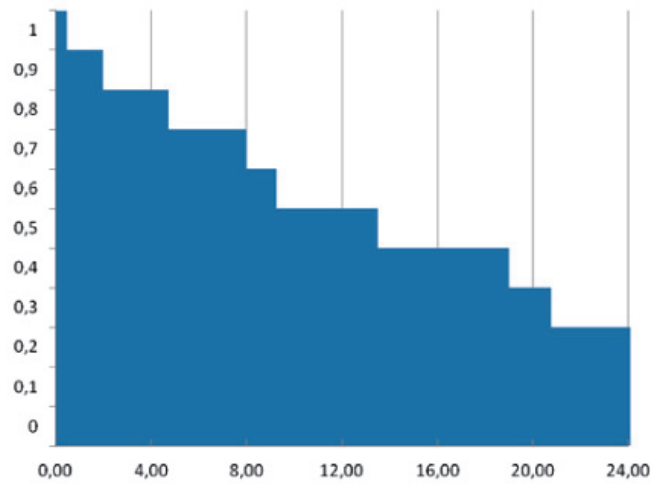


Рис. 4. График загрузки сетей общежития № 3

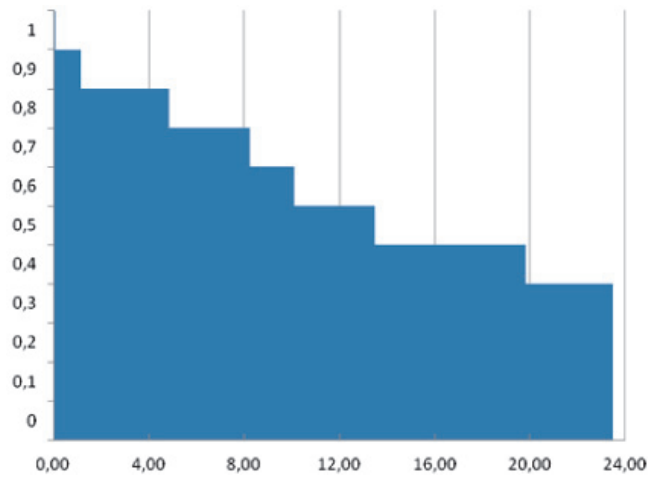


Рис. 5. График загрузки сетей общежития № 10

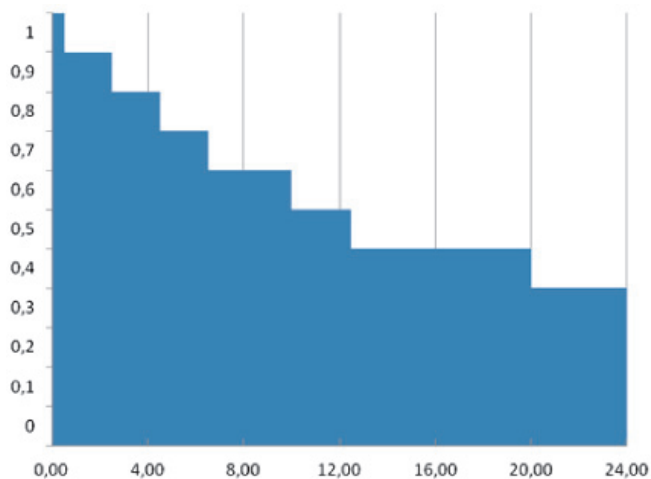


Рис. 6. График загрузки сетей общежития № 12

По результатам сортировки построены графики загрузки сетей (рис. 4–6).

Критерием эффективного использования электрической энергии в этом случае может быть норма нагрузки, которая легко

определяется по данным равномерности загрузки графика:

$$\|\tau\| = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 + \tau_4^2 + \tau_5^2 + \tau_6^2 + \tau_7^2 + \tau_8^2 + \tau_9^2 + \tau_{10}^2}.$$

Предельное значение $\tau = 24$ ч, что соответствует равномерной загрузке, при которой величина потерь будет минимальной. В результате вычисления значений по предложенной методике получили следующие значения: общежитие № 1 $\|\tau\| = 9,72$, общежитие № 3 $\|\tau\| = 9,26$, общежитие № 4 $\|\tau\| = 13,18$, общежитие № 8 $\|\tau\| = 10,78$, общежитие № 10 $\|\tau\| = 9,74$, общежитие № 11 $\|\tau\| = 10,38$, общежитие № 12 $\|\tau\| = 10,15$, общежитие № 13 $\|\tau\| = 11,37$, общежитие № 14 $\|\tau\| = 12,08$.

чины условного потребления конкретного общежития от нормы:

$$\delta_{wi} = \frac{q_{wH}}{q_{wi}}$$

Величина q_{wH} может быть принята как фактически усреднённое значение для группы однотипных общежитий с коэффициентом 0,9, т.е. $0,9q_{wH}$.

Таблица 3

Результаты расчета научно обоснованного тарифа за электрическую энергию $\|\tau\|$

№ п/п	Наименование объекта	Поправочный коэффициент δ_{τ_i}	Поправочный коэффициент δ_{w_i}	Базовая ставка тарифа C_6 , руб./кВт·ч	Величина тарифа C_i , руб./кВт·ч
1	Общежитие № 1	0,95292647	0,39459935	2,18	0,81973269
2	Общежитие № 3	1	1	2,18	2,18
3	Общежитие № 4	0,70282579	1,92090481	2,18	2,94313396
4	Общежитие № 8	0,85927218	1,27375775	3,12	3,41485432
5	Общежитие № 10	0,95097172	0,30135572	3,12	0,894132
6	Общежитие № 11	0,89258739	0,85710608	2,18	1,66779174
7	Общежитие № 12	0,91276031	1,25227628	2,18	2,49180124
8	Общежитие № 13	0,81501381	1	2,18	1,7767301
9	Общежитие № 14	0,7669816	1	2,18	1,67201988

Как видно из результатов расчета, фактическая величина нормы длительности загрузки активной мощности находится в диапазоне $9,2635 < \|\tau\| < 13,18$. При этом наибольшее значение $\|\tau\| = 13,18$ принадлежит суточному графику активной мощности для общежития № 3. Следует отметить, чем выше $\|\tau\|$ для конкретного общежития, тем более дисциплинированными являются проживающие в данном общежитии и, следовательно, их величина тарифа на электрическую энергию должна зависеть от этой величины. Поэтому если следовать данной методике, то необходимо выбрать базовые общежития, например общежитие № 3 у которого будет надбавка 1, а у других величина базового тарифа должна быть установлена с учетом поправки на отклонение $\|\tau\|$. С учетом величины нормативного удельного потребления конечные величины тарифа могут быть рассчитаны по формуле

$$C_i = C_6 \delta_{\tau_i} \delta_{w_i}, \text{ руб./кВт·ч,}$$

где C_6 – базовая ставка тарифа, руб./кВт·ч; δ_{τ_i} – поправочный коэффициент, равный отношению $\|\tau_i\|/\|\tau_6\|$; δ_{w_i} – поправочный коэффициент, учитывающий отклонение вели-

Выводы

Научно обоснованный тариф за электрическую энергию приведен в табл. 3.

Результаты расчета тарифа на электрическую энергию по предлагаемой методике для девяти общежитий показали, что увеличение тарифа предполагается на трех (увеличение нагрузки связано с использованием дополнительных электрических обогревателей), на одном без изменений, а на остальных уменьшение.

Список литературы

1. Левцев А.П., Бурланков С.П., Кручинкина О.А. Методика расчета числа часов использования максимальной мощности в электрических сетях // Промышленная энергетика. – 2011. – № 8. – С. 19–24.
2. Левцев А.П., Кручинкина О.А. Проблемы энергосбережения региона и пути их решения // Региональная архитектура и строительство. – Пенза, 2010. – № 2 (9). – С. 45–51. Регионоведение. – 2014. – № 1 (86). – С. 66–72.
3. Левцев А.П., Кручинкина О.А., Миндров К.А., Кручинкин Е.В. Разработка автоматизированной системы управления энергоэффективностью в ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва» // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: международная конф. (Саранск, 01–03 октября 2014 г.) – С. 177–122.
4. Цыщарева Е.И., Лысяков А.И. Оценка влияния различных факторов на величину отпуска тепловой энергии // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 30. – С. 57–62.
5. Частичное преобразование тепловой энергии в механическую работу транспортировки теплоносителя / А.П. Левцев, А.И. Лысяков, С.Ф. Кудашев, Е.И. Цыщарева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 197.