

ХАРАКТЕРНЫЕ ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ г. БИШКЕК

А.К. Асанов, Н.К. Джусупбекова, С.С. Тохтамов

Проведены исследования графиков активной и реактивной электрической нагрузки потребителей городских электрических сетей.

Ключевые слова: городские электрические сети; графики нагрузки; жилые дома; бюджетные учреждения; коммерческие объекты; коэффициент реактивной мощности.

Исследование графиков электрических нагрузок городских потребителей необходимо для решения следующих задач:

- определения электрических нагрузок различных потребителей при проектировании и реконструкции распределительных сетей, сетей внешнего электроснабжения потребителей;
- анализа характерных режимов работы различных потребителей в действующих системах электроснабжения.

Актуальность этих исследований обусловлена тем, что в настоящее время нагрузки электрических сетей г. Бишкек значительно отличаются от имевших место 10–20 лет тому назад. Доля коммунально-бытовых нагрузок возросла, а промышленных предприятий (ПП) уменьшилась. У коммунально-бытовых нагрузок существенно изменился состав электроприемников (ЭП) – увеличилась доля ЭП, чувствительных к качеству электроэнергии. У ПП изменились режимы потребления электро-

энергии. Крупные предприятия с двух-, трехменными режимами работы стали односменными, существенно уменьшились их рабочие мощности, но увеличилось их количество.

В связи с этим появилась необходимость определения графиков нагрузок различных потребителей городских сетей, режимы потребления мощности и электроэнергии которых существенно влияют на потери и качество электроэнергии, так как именно эти показатели определяют эффективность работы электрических сетей.

В работе [1] по измерениям показателей качества электроэнергии (ПКЭ) было выполнено измерение токов, активной и реактивной мощности на подстанциях 35/6–10 кВ (ПС) и трансформаторных подстанциях 6–10/0,4 кВ (ТП), расположенных в различных районах г. Бишкек.

Полученные данные о суточных графиках нагрузки активной $P_i(t)$ и реактивной $Q_i(t)$ мощности представляют собой зависимости регистрируемых

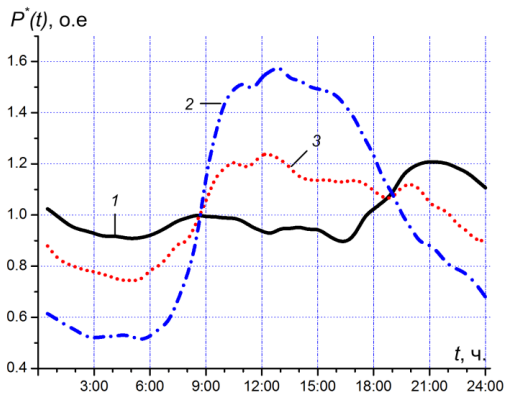


Рисунок 1 – Суточные графики активной мощности фидеров 6 кВ ПС: 1 – Северная-2 (ф-4); 2 – Центральная-4 (ф-8); 3 – Центральная-2 (ф-6)

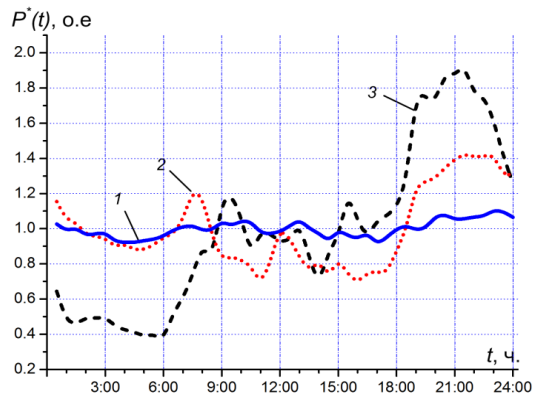


Рисунок 2 – Суточные графики активной мощности жилых домов: 1 – жилые дома индивидуальной застройки (частный сектор); 2–9-этажный жилой дом с газовыми плитами; 3–5-этажный жилой дом с электроплитами

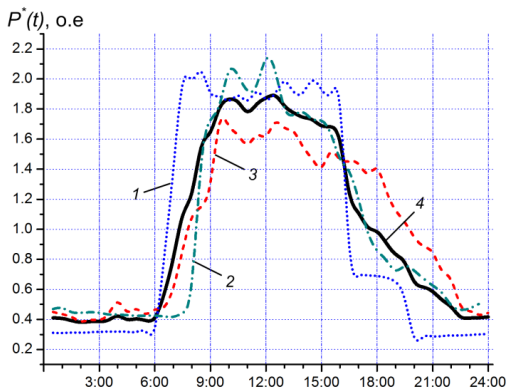


Рисунок 3 – Суточные графики активной мощности бюджетных учреждений: 1 – средняя школа; 2 – вуз; 3 – административное здание; 4 – среднее значение

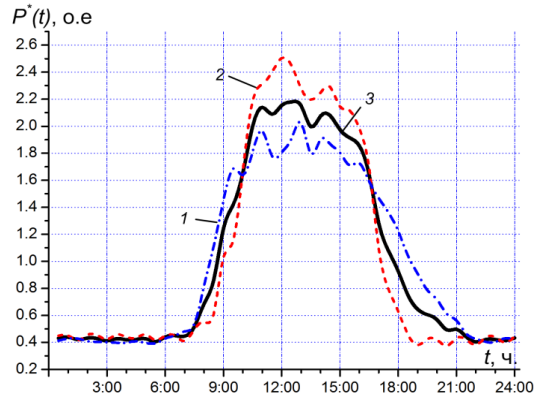


Рисунок 4 – Суточные графики активной мощности коммерческих объектов: 1 – швейный цех; 2 – торговый дом; 3 – среднее значение

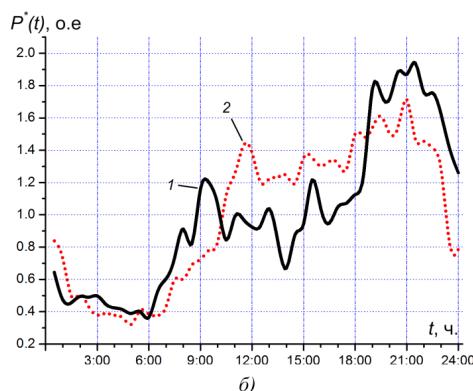
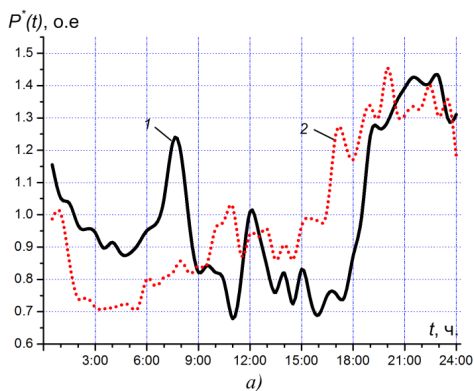


Рисунок 5 – Графики нагрузки активной мощности рабочего (1) и выходного (2) дней жилых многоквартирных домов: а – 9-этажного с газовыми плитами; б – 5-этажного с электроплитами

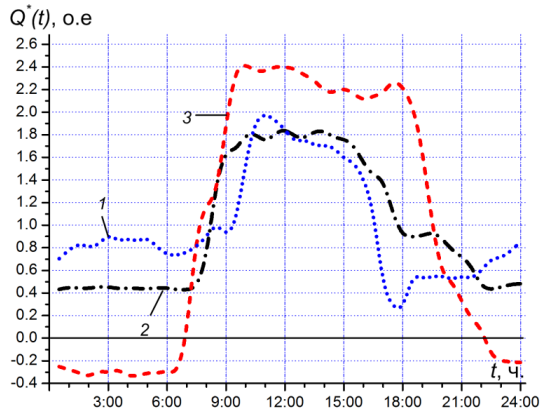


Рисунок 6 – Суточные графики реактивной мощности различных учреждений: 1 – торговый дом; 2 – вуз; 3 – административное здание

характеристик в отмеченных единицах от времени суток. Затем строились графики в относительных единицах по отношению к среднесуточному значению измеряемой величины. Например, график потребления активной мощности $P_i(t)$ в отмеченных единицах представлялся графиком в относительных единицах:

$$P^*(t) = \frac{P(t)}{P_{cp}}$$

где P_{cp} – среднесуточное значение активной мощности, потребляемой сетью.

Приведенные ниже графики электрических нагрузок получены по результатам измерений и обработки суточных графиков нагрузки потребителей городских электрических сетей частного

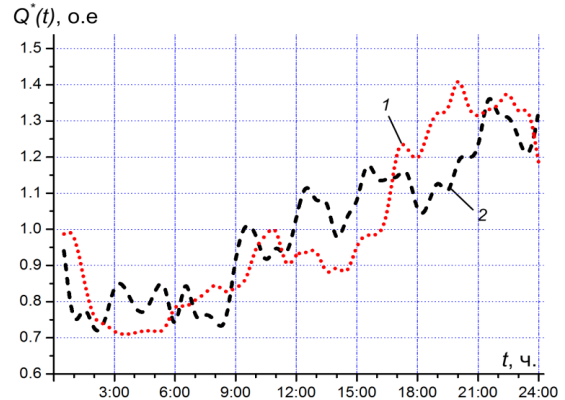


Рисунок 7 – Суточные графики реактивной мощности жилых домов:

1–9-этажный жилой дом с газовыми плитами; 2–5-этажный жилой дом с электроплитами

сектора, 5-этажной жилой застройки с электроплитами, 9-этажной жилой застройки с газовыми плитами (без учета нагрузки лифта), бюджетных учреждений (БУ) и коммерческих объектов (КО) и др. Установлено, что для различных групп потребителей могут быть получены свои характерные суточные графики нагрузки (рисунки 1–7). По ним вычислен ряд показателей, результаты расчетов представлены в таблицах 1, 2.

Средневзвешенные значения коэффициента мощности ($\cos\varphi_{cp}$) и коэффициента реактивной мощности ($tg\varphi_{cp}$) определены по формулам

$$\cos\varphi_{cp} = \frac{\sum P_i t_i}{\sqrt{\sum P_i^2 + \sum Q_i^2} \cdot \sum t_i};$$

Таблица 1 – Показатели графиков нагрузки по фидерам 6 кВ

ПС, № фидера (по рис. 1)	P_{cp} , кВт	$\cos\varphi_{cp}$	$tg\varphi_{cp}$	α	$k_{3,Г}$	T_{max} , ч	r_{RQ}
Ц-2, ф-6	1036	0,92	0,42	0,59	0,8	19,3	0,88
Ц-4, ф-8	721	0,90	0,49	0,32	0,62	15,0	0,82
С-2, ф-4	2735	0,97	0,24	0,68	0,82	19,9	0,94

Таблица 2 – Показатели графиков нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ

Обозн. на рис. 2–4, (кривая)	$\cos\varphi_{cp}$	$tg\varphi_{cp}$	α	$k_{3,Г}$	T_{max} , ч	r_{RQ}
2 (1)	0,99	0,10	0,82	0,90	21,7	-0,05
2 (2)	0,96	0,25	0,47	0,70	16,8	-0,03
2 (3)	0,95	0,32	0,19	0,51	12,3	0,83
3 (1)	0,99	0,10	0,14	0,49	11,7	0,99
3 (2)	0,92	0,41	0,19	0,47	11,2	0,98
3 (3)	0,94	0,38	0,23	0,58	14,0	0,98
4 (1)	0,99	0,1*	0,19	0,49	11,8	0,09*
4 (2)	0,94	0,36	0,15	0,40	9,6	0,91

* – с учетом компенсации реактивной мощности

$$\operatorname{tg}\varphi_{cp} = \frac{\sum Q_i t_i}{\sum P_i \sum t_i},$$

где P_i, Q_i – значения активной и реактивной мощности за каждые 0,5 ч в течение суток; t_i – интервал усреднения, равный 0,5 ч.

Коэффициенты неравномерности графика нагрузки α рассчитаны как отношение наименьшей активной нагрузки $P_{\text{нм}}$ к наибольшему значению $P_{\text{нб}}$; коэффициент заполнения графика нагрузки $k_{3,Г}$ – отношение среднесуточного значения нагрузки $P_{\text{ср}}$ к наибольшему значению $P_{\text{нб}}$. Число часов использования наибольшей нагрузки $T_{\text{нб}}$ равно (для суточного графика $T = 24$ ч). Также определены коэффициенты корреляции графиков нагрузки, характеризующих зависимость величин P и Q (r_{PQ}) и зависимость величин P рабочего и P выходного дня ($r_{P\text{в/р}}$).

Анализ показателей графиков нагрузок показывает:

Сети 6 кВ:

1) фидер, питающий в основном жилой частный сектор (рисунок 1, кривая 1) имеет незначительный спад активной нагрузки до 0,9 в течение ночного и предвечернего минимума (03.00 и 16.00 ч), утренний максимум совпадает со средним значением, а вечерний максимум достигает 1,2 (21.00 ч); фидеры, питающие центральные районы города (рисунок 1, кривые 2 и 3) с различными нагрузками (многоквартирные жилые дома, административные здания, учебные заведения, торговые и коммерческие объекты и др.) имеет провал нагрузки в течение ночного минимума до 0,5 (с 03.00 до 06.00 ч), утренний максимум переходит в дневной максимум, который достигает 1,6 (13.00 ч), а затем медленно спадает до ночного минимума.

Сети 0,4 кВ:

2) в жилом частном секторе наблюдается практически равномерная нагрузка с незначительными изменениями от 0,95 до 1,1 в течение суток (рисунок 2, кривая 1);

3) в 9-этажном жилом доме ночное потребление незначительно снижается до 0,9 (с 03.00 до 05.00 ч), спад нагрузки за сутки наблюдается в дневное время (кроме обеденного перерыва), которое достигает 0,7 (с 11.00 до 17.00 ч), это связано с тем, что основная масса жителей находятся на работе. Утренний (с 07.00 до 08.00 ч) и вечерний (с 21.00 до 23.00 ч) максимумы достигают значения 1,2 и 1,4 соответственно (рисунок 2, кривая 2); в 5-этажном жилом доме наблюдается ночной провал нагрузки до 0,4 (с 01.00 до 06.00 ч) и снижение в дневное время до 0,75 (14.00), также наблюдает-

ся ярко выраженные утренний до 1,2 (с 09.00 до 10.00 ч) и вечерний – до 1,9 (с 19.00 до 23.00 ч) максимумы (рисунок 2, кривая 3).

Коэффициент корреляции графиков активной нагрузки рабочего и выходного дня для 9-этажного дома с газовыми плитами равен 0,58 (рисунок 5 а), а для 5-этажного дома с электроплитами 0,8 (рисунок 5 б). Утренние максимумы выходного дня смещены вправо, дневное потребление значительно больше, а вечерние максимумы смещены влево с незначительным спадом;

4) в бюджетных учреждениях (рисунок 3) имеется ночной провал до 0,4 (с 22.00 до 06.00 ч), с 06.00 и начинает резко возрастать и доходит в 10.00 ч своего дневного максимума в 1,9, которое незначительно снижается до 17.00 ч, а затем медленно спадает до ночного провала;

5) в коммерческих объектах (рисунок 4) среднее значение графика нагрузки совпадает с графиком бюджетных учреждений, но при этом дневной максимум достигает значения 2,2;

6) коэффициенты заполнения графиков жилых домов составляют от 0,5 до 0,9, бюджетных учреждений – 0,14–0,23, коммерческих объектов – 0,15–0,19. БУ и КО практически не достигают оптимального значения, равного 1,0 [2]. Это говорит о том, что эти объекты работают в односменном режиме, а управление режимами работы ЭП осуществляется недостаточно эффективно;

7) коэффициенты корреляции графиков активной и реактивной нагрузки r_{PQ} для отдельных ТП достигают значений 0,83 до 0,99, это свидетельствует о том, что существует зависимость между потреблением активной и реактивной мощности для потребителей электроэнергии;

8) средневзвешенные значения коэффициента реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$ по группам потребителей изменяются в следующих диапазонах:

➤ фидеры 6 кВ, питающие следующие объекты	0,24–0,50
➤ жилые дома частного сектора	0,07–0,15
➤ многоквартирные жилые дома	0,25–0,35
➤ бюджетные учреждения	0,10–0,45
➤ коммерческие (некоторые) объекты	0,1–0,40

9) средневзвешенные значения коэффициента реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$ по некоторым вводам превышают предельно допустимые значения, равные $\operatorname{tg}\varphi_{6-20} = 0,4$ (сети 6–20 кВ) и $\operatorname{tg}\varphi_{0,4} = 0,35$ (сети 0,4 кВ), рекомендованные в [3].

Обобщая характерные особенности суточных графиков нагрузок в г. Бишкек, можно выделить следующее:

- чем равномернее график нагрузок в течение суток, тем больше нагрузок жилых домов, применяющих электронагревательные приборы в целях обогрева жилья;
- если дневной максимум больше вечернего, то налицо преобладание промышленных (приравненных к ней) потребителей;
- если дневной максимум меньше вечернего максимума, то имеется преобладание жилых домов.

Таким образом, в целях повышения эффективности работы городских электрических сетей и выполнения требований нормативных документов по потерям и качеству электроэнергии необходимо:

- выполнить комплекс работ, включающих измерения активной, реактивной мощности и ПКЭ на границах раздела электрической сети по балансовой принадлежности;
- разработать требования (рекомендации) по допустимым значениям реактивной мощности в часы наибольших и наименьших нагрузок потребителей, подключенных к ПС для поддержания требуемого $tg\varphi$ на ее шинах;
- производить расчет потерь электроэнергии по реальным значениям коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$. Эти данные можно использовать при расчете реальных значений потерь электроэнергии. Именно реальные по-

тери электроэнергии определяют выбор и разработку обоснованных мероприятий по повышению эффективности работы предприятий электрических сетей;

- осуществлять выравнивание графика потребления электрической энергии в течение суток. Стимулирование предприятий в выравнивании потребления электроэнергии, снижении пиковых нагрузок достигается с помощью применения дифференцированных тарифов по зонам суток. Также эффективны и административные мероприятия – изменение времени начала и окончания рабочего дня учреждений и фирм.

Литература

1. Определение причин снижения качества электрической энергии в распределительных сетях (на примере г. Бишкек) / В.Н. Тульский, А.К. Асанов, Р.Р. Насыров, Н.К. Кайдуев. // Известия вузов. Бишкек. 2012. № 6. С. 23–29.
2. Кузнецов А.В. Структура и тарифное стимулирование управления режимами потребления электрической энергии / А.В. Кузнецов, Л.Т. Магазинник, В.П. Шингаров; под ред. Л.Т. Магазинника. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 104 с.
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю.С. Железко. М.: ЭНАС, 2009. 456 с.