

УДК 621.316.11
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-12-32-36

АНАЛИЗ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

А.К. Асанов, Ч.М. Мукашев, А.О. Осмонбекова, С.Б. Мамбеталиева

Аннотация. Проведены исследования графиков активной электрической нагрузки потребителей городских электрических сетей. Объектом исследования являются отходящие вводные фидера высоковольтных подстанций г. Бишкека, питающие частный сектор и селитебный районы города со смешанной нагрузкой. Представлены результаты исследования следующих коэффициентов: характеризующие графики нагрузок, корреляции изменения напряжения питающей сети при изменении мощности нагрузки. Приведено отношение числа часов использования наибольших нагрузок зимнего и летнего периодов. Определены диапазон отклонения напряжения и характерные особенности суточных графиков нагрузок г. Бишкека.

Ключевые слова: городские электрические сети; графики нагрузки; селитебный район города; смешанная нагрузка; коэффициенты неравномерности; коэффициент корреляции; число часов использования наибольших нагрузок.

ШААРДЫК ЭЛЕКТР ТАРМАКТАРЫНЫН ЖҮКТӨӨ ГРАФИГИН ТАЛДОО

А.К. Асанов, Ч.М. Мукашев, А.О. Осмонбекова, С.Б. Мамбеталиева

Аннотация. Шаардык электр тармактарынын керектөөчүлөрүнүн активдүү электр жүктөмдөрүнүн графиктери боюнча изилдөөлөр жүргүзүлдү. Бул макалада изилдөө объектиси болуп Бишкектин аралаш жүктөмдөрү менен шаардын жеке секторун жана айыл аймактарын камсыз кылуучу жогорку чыңалуудагы көмөчордондордун негизги фидерлери саналат. Изилдөөнүн натыйжалары жана төмөнкү коэффициенттер берилген: жүктөө графиктерин мүнөздөгөн, жүктүн күчү өзгөргөндө берүү тармагындагы чыңалуунун өзгөрүшүнүн корреляциясы. Кыш жана жай мезгилдериндеги эң чоң жүктөрдү пайдалануу сааттарынын санынын катышы келтирилген. Чыңалуунун четтөө диапазону жана Бишкектеги суткалык жүктөө графиктеринин мүнөздүү өзгөчөлүктөрү аныкталган.

Түйүндүү сөздөр: шаардык электр тармактары; жүктөө графиктери; шаардын турак жай аймагы; аралаш жүктөм; тегиз эмес коэффициенттер; корреляция коэффициенти; максималдуу жүктөрдү пайдалануу сааттарынын саны.

ANALYSIS OF LOAD SCHEDULES OF URBAN ELECTRIC NETWORKS

A.K. Asanov, Ch.M. Mukashev, A.O. Osmonbekova, S.B. Mambetalieva

Abstract. The article presents the research of the active electric load graphs of city electric networks consumers. The object of the research is the outgoing input feeders of the high-voltage substation supplying the private sector and residential areas of the city with mixed load of Bishkek. The article presents the results of the research of the coefficients: characterizing the load graphs, correlation of the change in the voltage of the supply network, with a change in the load power. The ratio of the number of hours of use of the greatest loads of the winter and summer periods. The range of voltage deviation and the characteristic features of daily load graphs of Bishkek are determined.

Keywords: city electric networks; load graphs; residential area of the city; filling of load graphs; unevenness coefficients; correlation coefficient; number of hours of use of the greatest loads.

Введение. В настоящее время нагрузки городских электрических сетей значительно отличаются от имевших место 20–30 лет тому назад. Доля коммунально-бытовой нагрузки увеличилась, а количество промышленных предприятий (ПП) уменьшилось. У коммунально-бытовой нагрузки существенно изменился состав электроприемников (ЭП) – существенно увеличилась доля ЭП, чувствительных к качеству электроэнергии. У ПП изменились режимы потребления электроэнергии – вместо крупных промышленных предприятий с 2-х, 3-сменными режимами работы предприятия стали односменными, существенно уменьшились их рабочие мощности, но увеличилось их количество [1, 2].

В этой связи возникла необходимость исследования графиков нагрузок различных потребителей городских сетей. Режимы потребления мощности и электроэнергии потребителей городских сетей существенно влияют на потери и качество электроэнергии, т. к. именно эти показатели определяют эффективность работы электрических сетей [3–5].

Режимы потребления электроэнергии как отдельных электроприемников и потребителей, так и системы электроснабжения и энергосистемы в целом, характеризуются графиками электрических нагрузок, которые отражают динамику потребления активной мощности в течение рассматриваемого периода времени.

Характер суточных графиков нагрузки зависит от двух основных факторов: базовых – которые в какой-то мере поддаются прогнозированию на перспективу (структура нагрузки, географическая широта местности, время года, дни недели), и случайных – которые не поддаются прогнозированию на перспективу (метеорологические, кризисные явления в экономике и др.). Суточный график нагрузки имеет явно выраженные характерные точки и периоды: утренний и вечерний максимумы, зону снижения нагрузки в середине дня и глубокий провал нагрузки ночью. Суточный график можно условно разделить на три зоны (рисунок 1) [6]:

- базовую 1, расположенную ниже наименьшей нагрузки;
- полупиковую 2, расположенную выше наименьшей и ниже средней нагрузки;
- пиковую 3, расположенную выше средней нагрузки.

Расчет и анализ графиков нагрузки. Рассмотрим суточные графики нагрузок 9 ПС 110 кВ (вводные фидеры 10(6) кВ) г. Бишкек. Характерными потребителями электрической энергии в г. Бишкек являются: население (основная доля), коммунальное хозяйство, сфера услуг, промышленные предприятия. Такое большое разнообразие групп потребителей диктуют разные виды нагрузок: по плотности, требованиям надежности электроснабжения, архитектурно-градостроительным требованиям, потреблению реактивной мощности и др.

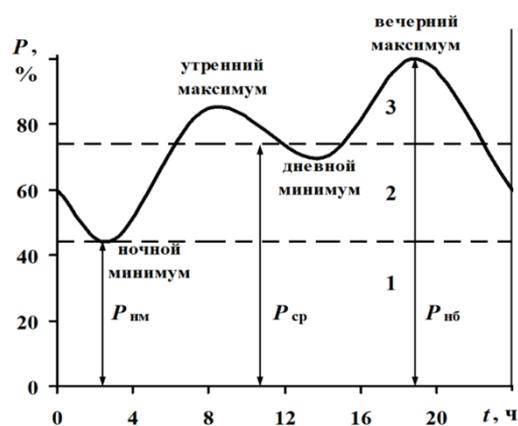


Рисунок 1 – Суточный график нагрузки

Бишкек на сегодняшний день занимает территорию в 170 км², население города – более 1 млн человек. Бишкек расположен в центре Чуйской долины у подножья гор, на высоте от 700 до 1100 м над уровнем моря. Город имеет климатический пояс с ярко выраженной зимой и жарким летом. По соотношению годовых сумм осадков и средних годовых температур климатические условия города ближе к засушливому климату степей. Средние из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха изменяются от –25 до –30 °С, с абсолютным минимумом –38 °С. Средние из абсолютных годовых максимумов температуры воздуха варьируют от +30 до +38 °С, с абсолютным максимумом +43 °С. Месячная продолжительность солнечного сияния наибольшая в июле и составляет 322 ч, наименьшая в декабре – 126 часов. Средняя месячная относительная влажность колеблется от 44 % в июне и июле, до 74 % – в марте, среднегодовая составляет 60 %. Среднее количество солнечных дней в году равно 322 дням [7].

Ниже представлены графики электрических нагрузок и напряжения 4-х из 9 ПС, которые получены по результатам работ «АльфаЦЕНТР Web» и обработки суточных графиков нагрузки потребителей г. Бишкека (рисунок 2).

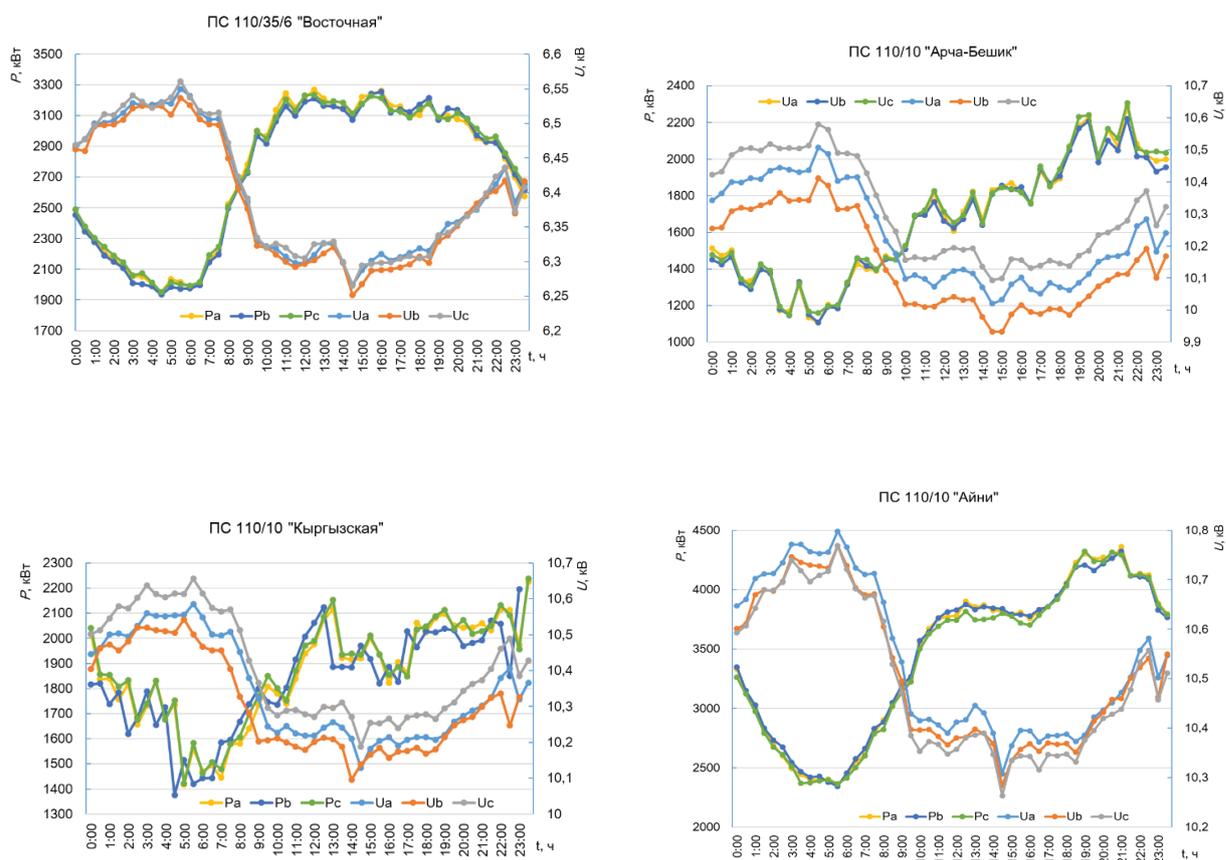


Рисунок 2 – Суточные графики активной мощности и напряжения 10(6) кВ

При составлении графиков нагрузок были использованы следующие первичные показатели [6]:

- наибольшая нагрузка $P_{нб}$;
- наименьшая нагрузка $P_{нм}$;
- средняя нагрузка $P_{ср}$, определяемая по выражению:

$$P_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt = \frac{W}{T},$$

где W – электропотребление за интервал времени T (24 часа).

Использованы также основные относительные показатели:

- коэффициент неравномерности графика нагрузки α рассчитан как отношение наименьшей активной нагрузки $P_{нм}$ к наибольшему значению $P_{нб}$;
- коэффициент заполнения графика нагрузки $k_{з.г}$ – есть отношение среднесуточного значения нагрузки $P_{ср}$ к наибольшему значению $P_{нб}$;
- число часов использования наибольшей нагрузки $T_{нб}$ равно $T_{нб} = k_{з.г} T$ (для суточного графика $T = 24$ ч);
- коэффициенты корреляции графиков нагрузки, характеризующие зависимость величин U и P ($r_{U,P}$). Расчетные данные сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Коэффициенты неравномерности и заполнения ГН

Наименование ПС	Коэффициент неравномерности графика нагрузки α				Коэффициент заполнения графика нагрузки $k_{з.г}$			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
ПС 110 «Айни»	0,61	0,54	0,51	0,50	0,82	0,76	0,79	0,75
ПС 110 «Абдыкалыкова»	0,74	0,56	0,43	0,50	0,90	0,82	0,77	0,81
ПС 110 «Ак-Ордо»	0,67	0,51	0,40	0,45	0,82	0,68	0,68	0,68
ПС 110 «Арча-Бешик»	0,77	0,58	0,50	0,56	0,85	0,74	0,70	0,71
ПС 110 «Восточная»	0,62	0,57	0,49	0,50	0,83	0,83	0,80	0,79
ПС 110 «Кок-Жар»	0,79	0,57	0,39	0,52	0,90	0,76	0,65	0,70
ПС 110 «Кыргызская»	0,90	0,64	0,58	0,67	0,94	0,81	0,76	0,81
ПС 110 «Парковая»	0,75	0,63	0,60	0,52	0,89	0,83	0,86	0,78
ПС 110 «Ново-Южная»	0,69	0,53	0,38	0,47	0,87	0,78	0,74	0,75

Таблица 2 – Число часов использования наибольшей нагрузки и коэффициент корреляции ГН, характеризующие зависимость величин U и P

Наименование ПС	Число часов использования наибольшей нагрузки $T_{нб}$				Коэффициент корреляции графиков нагрузки $r_{U,P}$
	зима	весна	лето	осень	
ПС 110 «Айни»	19,6	18,3	18,9	18,0	-0,87
ПС 110 «Абдыкалыкова»	21,5	19,7	18,6	19,3	-0,91
ПС 110 «Ак-Ордо»	19,6	16,4	16,3	16,3	-0,69
ПС 110 «Арча-Бешик»	20,5	17,9	16,8	17,1	-0,74
ПС 110 «Восточная»	19,9	19,9	19,3	18,9	-0,97
ПС 110 «Кок-Жар»	21,5	18,2	15,5	16,9	-0,76
ПС 110 «Кыргызская»	22,5	19,3	18,3	19,3	-0,62
ПС 110 «Парковая»	21,4	19,9	20,5	18,7	-0,88
ПС 110 «Ново-Южная»	20,8	18,8	17,7	18,0	-0,79

- Анализ показателей графиков нагрузок показывает, что:
- коэффициенты неравномерности графиков нагрузки составляют от 0,38 до 0,9;
 - коэффициенты заполнения графиков нагрузки в рассматриваемых ПС составляют от 0,82 до 0,94 (зима), от 0,68 до 0,83 (весна), от 0,65 до 0,86 (лето), от 0,68 до 0,81 (осень);
 - отношение числа часов использования наибольших нагрузок зима/лето на ПС, питающих частный сектор, составляет от 1,2 до 1,38, а селитебный район города со смешанной нагрузкой – от 1,03 до 1,17;
 - коэффициенты корреляции между напряжением и нагрузкой достигают значений от $-0,62$ до $-0,97$. Это свидетельствует о существенном влиянии нагрузки на отклонение напряжения. При этом отрицательное значение указывает на то, что с ростом нагрузки напряжение снижается, а с ее уменьшением – возрастает.

Анализ графиков изменения напряжения в суточном ходе (рисунок 2) показывает, насколько неравномерно происходит отклонение напряжения. Так, диапазон отклонения напряжения за сутки в рассматриваемых ПС составляет в среднем 10 % (06.11.2023): отрицательное отклонение напряжения -1 % в 15:00, положительное отклонение напряжения $+10$ % – в 4:00.

Обобщая характерные особенности суточных графиков нагрузок в г. Бишкеке, можно выделить следующее: чем равномернее график нагрузок в течение суток, тем больше нагрузок в жилых домах, применяющих электронагревательные приборы в целях обогрева жилья; у смешанных нагрузок (селитебный район города с коммунально-бытовой и коммерческой нагрузкой) дневной максимум больше вечернего максимума; если дневной максимум меньше вечернего максимума, то это указывает на преобладание жилых домов.

Заключение. Анализ результатов проведенных исследований позволил сделать вывод о том, что графики электрических нагрузок влияют на уровень потерь и качество электроэнергии. В связи с этим, возникает необходимость выравнивания графиков нагрузок для оптимального управления уровнем потерь и качества электроэнергии в распределительных электрических сетях.

Полученные графики нагрузок можно использовать при расчете реальных значений потерь электроэнергии и режимных параметров распределительных электрических сетей. Именно реальные показатели режимных параметров электроэнергии определяют выбор и разработку обоснованных мероприятий по повышению эффективности работы предприятий электрических сетей.

Поступила: 06.11.24; рецензирована: 21.11.24; принята: 22.11.24.

Литература

1. Асанов А.К. Характерные графики электрических нагрузок потребителей г. Бишкека / А.К. Асанов, Н.К. Жусупбекова, С.С. Тохтамов // Вестник КРСУ. 2013. Т. 13. № 7. С. 80–83.
2. Асанов А.К. Основные закономерности бытового электропотребления г. Бишкека Кыргызской Республики / А.К. Асанов // Известия Кыргыз. гос. тех. ун-та им. И. Раззакова. 2013. № 29. С. 83–88.
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю.С. Железко. М.: ЭНАС, 2009. 456 с.
4. Тульский В.Н. Определение причин снижения качества электрической энергии в распределительных сетях (на примере г. Бишкека) / В.Н. Тульский, А.К. Асанов, Р.Р. Насыров, Н.К. Кайдуев // Известия вузов. 2012. № 6. С. 23–29.
5. Асанов А.К. Исследование отклонения напряжений в действующих городских электрических сетях 0,4 кВ / А.К. Асанов // Вестник КРСУ. 2013. Т. 13. № 7. С. 77–80.
6. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети: учебное пособие / Г.В. Шведов. М.: Изд. дом МЭИ, 2012. 268с.
7. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Изд. 16-е с изм. и доп. Часть II. Гл. 10. Б.: МЧС КР, 2019. 765 с.