

УДК 621.311

**СЕЗОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ****МУСТАФАЕВ Р.И., МИРОНОВ Г.А., МИРОНОВ Р.Г.***АзНИИ Энергетики и Энергопроектирования.*

В статье рассматривается сезонная зависимость параметров нагрузки: тока, мощности, электропотребления от температуры, определяются их статистические параметры. Находятся уравнения регрессии, определяющие зависимость параметров нагрузки от температуры.

В условиях рыночной экономики в сфере производства и распределения электроэнергии весьма важным является выбор оптимального соотношения между различными типами энергоносителей, в частности, между тепловой и электрической энергией, при стратегической линии энергосбережения, в целом. В существовавшей ранее плановой экономике одним из важнейших показателей динамики ее развития были опережающие темпы роста производства и потребления электроэнергии. Каждые 10 лет потребление электроэнергии удваивалось. Однако опыт передовых экономически развитых стран показывает, что показателем экономического развития является широкое использование энергосберегающих технологий.

Рациональное использование электроэнергии нивелирует сезонную зависимость электропотребления. Так, например, в Японии имеет место практически равномерное электропотребление в течение года с небольшим повышением нагрузки в летнее время при работе устройств кондиционирования воздуха.

Электропотребление Азербайджана в настоящее время имеет свои особенности:

- преобладание, до 70-80%, коммунально-бытовой нагрузки,
- опережающие темпы роста потребления электроэнергии, по сравнению с ее производством, что создает дефицит генерирующих мощностей.
- резко выраженная сезонная зависимость электропотребления из-за малопроизводительной и малоэффективной выработки тепла.

Характер сезонных зависимостей электропотребления Апшерона за период 1995-1999 г.г. представлен в относительных единицах на рис.1. Для каждого года из рассматриваемых лет за базовое электропотребление принималось электропотребление в 1-м месяце года. Подобие кривых сезонного электропотребления оценивалось величиной коэффициентов корреляции, которые определялись с помощью компьютерной обработки статистических данных. Значения коэффициентов корреляции кривых электропотребления представлены в соответствующей матрице коэффициентов корреляции - таблица 1.

Таблица 1.

Годы	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.
1995 г.	1,0	0,96	0,974	0,987	0,977
1996 г.	0,96	1,0	0,982	0,963	0,975
1997 г.	0,974	0,982	1,0	0,99	0,989
1998 г.	0,987	0,963	0,99	1,0	0,982
1999 г.	0,977	0,975	0,989	0,982	1,0

Как видно из рис.1 и сопоставления коэффициентов корреляции, графики годового электропотребления практически совпадают, за исключением 2-3 зимних месяцев, отличающихся погодными отклонениями. Из рис.1 также видно, что зимнее электропотребление примерно в 2-2,5 раза превышает летнее, при этом в жаркое время также имеет место повышение электропотребления примерно на 15-20 %, по отношению к минимальному электропотреблению в июне месяце. Однако кривые на рис.1 построены на основе данных объемов электропотребления и не отражают сезонной зависимости основных электрических параметров: токов нагрузки, напряжения, мощности нагрузки, которыми определяется электропотребление. Сезонная зависимость этих параметров очевидна.

На рис.2 представлены снятые диаграммы суточного электропотребления одного и того же типового жилого дома (200 квартир) в осенний, зимний и летний периоды. Выполненные по этим диаграммам расчеты суточного электропотребления показывают, что в зимнее время электропотребление возрастает в 3 раза, по сравнению с минимальным осенним – таблица 2.

Таблица 2.

Суточное потребление электроэнергии жилым домом в зависимости от температуры воздуха.

Дата	14-15.10.99	22-23.12.99	27-28.07.00
Температура, градус, °С.	+18	+6	+36
Суточное потребление, кВт-час	1251	3625	1428

На Апшероне пока отсутствуют в широком масштабе альтернативные источники регулирования температуры и освещенности в жилых помещениях, поэтому погодные условия являются определяющим фактором электропотребления. На рис.3 представлена снятая нами диаграмма годового изменения токов нагрузки трансформатора мощностью 16 МВА в зависимости от погодных условий – солнечной и пасмурной погоды. Как видно из этого рисунка, в зимнее время в солнечную погоду максимум токов нагрузки снижается на 15-20%, по сравнению с пасмурной погодой. В летнее время, наоборот, в пасмурную погоду токи нагрузки на 10-15% меньше.

Для анализа сезонной зависимости электропотребления и его составляющих: токов нагрузки, мощности потребления, напряжения была проведена в течение года комплексная регистрация с помощью компьютерных приборов всех режимных параметров нагрузки трансформатора 16 МВА с одновременной регистрацией погодных условий – дневной температуры воздуха, освещенности, осадков, направления и силы ветра.

На рис.4 представлены годовые изменения температуры, максимальных токов и мощности нагрузки в течение суток, суточного потребления электроэнергии. Как видно, все 3 показателя электропотребления и нагрузки имеют явно выраженную сезонную зависимость и зависимость от температуры. В зимнее время понижение температуры ведет к повышению нагрузки –  $I_{max}$ ,  $S_{max}$ ,  $WP$ . В диапазоне комфортных для жизни температур 20-27°С колебания дневной температуры практически не влияют на нагрузку. При температурах более 30° повышение температуры вновь приводит к возрастанию электропотребления. Был проведен корреляционный анализ зависимостей мощности и электропотребления от температуры для двух диапазонов температур до 28° и выше 28°. В 1-ом диапазоне понижение температуры приводит к росту электропотребления, т.е. имеет место обратная корреляционная зависимость. Во втором диапазоне, наоборот, повышение температуры приводит к росту электропотребления, корреляционная зависимость положительная. Результаты корреляционного анализа представлены в нижеследующей таблице 3.

Таблица 3.

№	Сезон года, температура.	Коэффициенты корреляции параметров нагрузки и температуры			
		I <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>	WP	Увеч
1	18.09.00-25.06.01, T <sup>0</sup> <28 <sup>0</sup>	-0,894	-0,874	-0,906	+0,765
2	25.06.01-3.09.01, T <sup>0</sup> >28 <sup>0</sup>	0,838	0,756	0,871	-0,405

Приведенные в таблице коэффициенты показывают, что имеется хорошее соответствие между понижением температуры и ростом электропотребления в период с сентября по июнь месяцы и повышение температуры и ростом электропотребления в период с июня по сентябрь.

Другая особенность диаграммы рис.4 – непропорциональное изменение токов, мощности и потребления в течение суток в зависимости от температуры. Причиной этого является, в первую очередь, сезонная зависимость напряжения системы – рис.5, подробно рассмотренная в Л.1. При постоянном напряжении системы, с ростом токов нагрузки пропорционально возрастала бы мощность электропотребления. При понижении напряжения системы в зимнее время токи нагрузки возрастают в большей степени, чем потребляемая мощность – рис.4. Электропотребление в системе ограниченной мощности, при неспособности системы выдать необходимую мощность нагрузки при требуемом качестве напряжения, восполняется заполнением суточного графика электропотребления, т.е. повышением коэффициента заполнения суточного графика:

$$k := \frac{1}{24 \cdot S_{\max}} \left( \int_0^{24} S(t) dt \right)$$

Характер изменения в течение года коэффициента заполнения суточного графика представлен на рис.6. Как видно, в период повышенного электропотребления, в холодное время года и жарким летом, коэффициент заполнения суточного графика увеличивается, в связи с увеличением времени использования в течение суток электроустановок для обогрева или охлаждения воздуха до комфортной температуры. В дополнение к качественным зависимостям I, S, WP, U, k от температуры, представленным кривыми на рис. 4 - 6, в таблице 4 приведены результаты статистической обработки параметров нагрузки для разных месяцев года: средние значения, стандартные отклонения и доверительные интервалы Δ при уровне значимости α = 0,05.

Таблица 4.

Основные статистические параметры максимальных суточных токов и мощности нагрузки, суточного электропотребления, напряжения при пиковой нагрузке, коэффициента заполнения суточного графика электропотребления и дневной температуры.

Месяцы	I <sub>max</sub>			S <sub>max</sub>			WP			U			K			T <sup>0</sup>		
	I <sub>ср</sub>	σ <sub>i</sub>	Δ	S <sub>ср</sub>	σ <sub>s</sub>	Δ	W <sub>ср</sub>	σ	Δ	U <sub>ср</sub>	σ <sub>u</sub>	Δ	k <sub>ср</sub>	σ <sub>k</sub>	Δ	T <sub>ср</sub>	σ	Δ
1	2,16	0,14	0,05	1,94	0,10	0,03	2,36	0,16	0,06	0,86	0,05	0,02	0,85	0,03	0,01	7,4	2,8	1,0
2	2,23	0,09	0,03	1,96	0,09	0,03	2,43	0,12	0,04	0,84	0,04	0,01	0,87	0,02	0,01	8,8	1,9	0,7
3	1,88	0,21	0,07	1,86	0,16	0,06	2,14	0,24	0,08	0,95	0,04	0,01	0,82	0,04	0,02	12,4	3,2	1,1
4	1,46	0,10	0,04	1,46	0,14	0,05	1,53	0,19	0,07	0,97	0,03	0,01	0,74	0,04	0,02	17,8	3,6	1,3
5	1,16	0,03	0,01	1,17	0,04	0,01	1,15	0,03	0,01	0,97	0,01	0,01	0,7	0,02	0,01	22,4	2,3	0,8
6	1,10	0,05	0,02	1,11	0,07	0,02	1,11	0,05	0,02	0,96	0,02	0,01	0,73	0,02	0,01	28,5	1,9	0,7
7	1,24	0,08	0,03	1,21	0,07	0,02	1,27	0,11	0,04	0,93	0,02	0,01	0,76	0,03	0,01	31,7	3,3	1,2
8	1,26	0,08	0,03	1,29	0,07	0,02	1,34	0,09	0,03	0,96	0,02	0,01	0,77	0,02	0,01	32,3	2,4	0,9
9	1,31	0,05	0,02	1,37	0,05	0,02	1,29	0,04	0,01	0,99	0,02	0,01	0,69	0,01	0,01	26,7	1,3	0,5
10	1,40	0,10	0,04	1,43	0,12	0,04	1,45	0,14	0,05	0,95	0,02	0,01	0,74	0,03	0,01	18	2,2	0,8
11	1,69	0,14	0,05	1,67	0,13	0,05	1,87	0,19	0,07	0,93	0,03	0,01	0,79	0,04	0,01	12,5	3	1,1
12	2,01	0,08	0,03	1,96	0,07	0,03	2,23	0,09	0,03	0,88	0,02	0,01	0,84	0,02	0,01	8,6	2,1	0,7

При исследовании сезонных зависимостей параметров нагрузки предполагается, что одним из основных влияющих факторов является температура воздуха, для характеристики которой, при широком изменении температуры в течение суток, принимается дневная температура. Колебания температуры в течение месяца характеризуется стандартным отклонением  $\sigma T^0$ , поэтому естественно предположить, что отклонения параметров нагрузки находится в корреляционной зависимости с отклонениями температуры. Результаты корреляционного анализа, выполненного для годовой выборки в целом и отдельно для зимнего и летнего сезонов, представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Коэффициенты корреляции между отклонениями параметров нагрузки и отклонениями температуры.

№	Выборка данных	Коэффициенты корреляции					
		$\sigma I_{\max}$	$\sigma S_{\max}$	$\sigma WP$	$\sigma U$	$\sigma k$	$\sigma T^0$
1	Годовая	0,578	0,643	0,757	0,335	0,903	1
2	Летняя	0,851	0,806	0,974	0,155	0,977	1
3	Зимняя	0,560	0,708	0,77	0,303	0,949	1

Как видно из таблицы, сезонная зависимость электропотребления в течение года не определяется только колебаниями температуры, а включает в себя много факторов, и в первую очередь, продолжительность светлого времени суток, и конечно же сезонные диапазоны температур. На этом общем фоне происходят случайные ежедневные колебания температуры и погодных условий, которые во время зимних и летних максимальных нагрузок могут привести к существенным колебаниям нагрузки – в пределах 20-30%. В этой связи представляет интерес выделение из общей сезонной зависимости электропотребления только температурной зависимости параметров нагрузки. Такие зависимости могут быть полезными при прогнозах электропотребления при условии разумного пользования ими, не строя, например, прогноза потребления при понижении в летнее время температуры до минусовых значений, т.е. соотнося тот или иной температурный диапазон с определенным сезоном года.

Такие температурные зависимости параметров нагрузки, выделенные из сезонных зависимостей – рис.4-6, представлены на рис.7-9. На этих же диаграммах приведены кривые, аппроксимирующие зависимости  $I$ ,  $S$ ,  $WP$ ,  $U$ ,  $k$  от температуры. Как видно, на всех этих диаграммах имеется диапазон температур, при которых электропотребление минимально, а качество напряжения высокое. При отклонениях температуры в ту или иную сторону от этого диапазона электропотребление возрастает, причем в большей степени при понижении температуры, что обусловлено необходимостью как электрообогрева, так и дополнительного освещения в зимнее время.

В количественном отношении температурные зависимости могут быть выражены уравнениями нелинейной регрессии, коэффициенты полиномов которых 3-4 порядка находятся в результате компьютерной обработки данных годовой регистрации.

Уравнения регрессии:

Зависимость максимальных токов суточной нагрузки от температуры:

$$I_{\max}(t^0) = 2,269 + 1,007 \cdot 10^{-3} \cdot t^0 - 3,862 \cdot 10^{-3} \cdot (t^0)^2 + 8,864 \cdot 10^{-5} \cdot (t^0)^3$$

Зависимость максимальной пиковой мощности в течение суток от температуры:

$$S_{\max}(t^0) = 1,957 + 0,016 \cdot t^0 - 3,376 \cdot 10^{-3} \cdot (t^0)^2 + 7,776 \cdot 10^{-5} \cdot (t^0)^3$$

Зависимость суточного электропотребления от температуры:

$$WP(t^0) = 2,476 + 0,018 \cdot t^0 - 5,898 \cdot 10^{-3} \cdot (t^0)^2 + 1,286 \cdot 10^{-4} \cdot (t^0)^3$$

Зависимость напряжения во время пиковой нагрузки от температуры:

$$U(t^0) = 0,752 + 0,018 \cdot t^0 - 3,09 \cdot 10^{-4} \cdot (t^0)^2 - 9,982 \cdot 10^{-7} \cdot (t^0)^3$$

Зависимость коэффициента заполнения суточного графика от температуры:

$$k(t^0) = 0,882 + 7,092 \cdot 10^{-4} \cdot t^0 - 7,789 \cdot 10^{-4} \cdot (t^0)^2 + 1,912 \cdot 10^{-5} \cdot (t^0)^3$$

Расчетные кривые, построенные по вышеприведенным уравнениям регрессии, представлены на рис.10-12.

Анализ кривых температурной зависимости нагрузки показывает:

- Для каждого из режимных параметров электропотребления существует диапазон температур, при котором электропотребление минимально, а качество электроэнергии достаточно высокое. Отклонение температуры в обе стороны от этого диапазона сопровождается повышением нагрузки (электропотребления) и снижением качества напряжения. Это диапазон комфортных температур – 20-28<sup>0</sup>С.
- При отсутствии альтернативных энергоносителей электропотребление в зимнее время возрастает в 2-2,5 раза, показатели нагрузки при понижении температуры могут быть оценены с помощью уравнений регрессии.
- В летнее время при повышении температуры выше 30<sup>0</sup>С электропотребление возрастает в 1,2-1,3 раза, рост электропотребления при повышении температуры можно также определить по уравнениям регрессии.
- Найденные температурные зависимости могут быть использованы при краткосрочных и долгосрочных прогнозах при наличии соответствующих метеопрогнозов.
- Температурные зависимости можно использовать для регулирования электропотребления при наличии альтернативных энергоносителей, например, теплоснабжения в зимнее время.
- Найденные зависимости можно использовать для прогнозирования пиковых мощностей нагрузки и планирования режимов ограничения электропотребления.

**РЕЗЮМЕ:**

На основе автоматической непрерывной регистрации в течение года режимных параметров нагрузки и потребления электроэнергии найдены их сезонные и температурные зависимости, которые могут быть использованы для прогнозирования электропотребления и управления режимами.

---

1. *Р.И. Мустафаев, Г.А. Миронов, Р.Г. Миронов.* Сезонные колебания напряжения в распределительных сетях 6-10 кВ. «Проблемы энергетики». № 1-2, 2002 г, г. Баку, с. 45-53.

## **ELEKTRİK SƏRFİYYATININ MÖVSÜMDƏN ASILILIĞI**

**MUSTAFAEV R.İ., MIRONOV G.A., MIRONOV R.G.**

Məqalədə yükün parametrləri olan cəryanın, qücün, elektrik sərfiyyatının temperaturdan mövsümi asılılığın təhlili, onların statistik parametrlərinin təyinin göstərilmişdir. Yükün parametrlərinin temperaturdan asılılığını müyyənləşdirən reqressiya tənlikləri təyin edilmişdir.

## **SEASONAL DEPENDENCE OF POWER CONSUMPTION**

**MUSTAFAEV R.I., MIRONOV G.A., MIRONOV R.G.**

Season dependence of current loading parameters, capacity and power consumption with temperature are considered and statistical parameters of loading are defined. Equation of regression determining dependence of consumption loading parameters with temperature are found.