

Не только электросетевые и генерирующие компании, но и электротехнические предприятия должны быть готовы к изменениям в энергопотреблении. Это поможет им вовремя фокусировать усилия на правильном направлении и предлагать оборудование, соответствующее перспективным планам энергетиков.

В данной статье рассматривается структура и тенденции потребления электроэнергии в энергосистемах, входящих в ЕЭС России, а также влияние на электропотребление различных факторов. Выводы основаны на данных о суточных графиках потребления.

ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ РОССИИ

Исследование характера колебаний

Формирование и планирование режимных параметров и технико-экономических показателей энергосистем и энергокомпаний – одна из важных задач в обеспечении функционирования электроэнергетики. Балансы электроэнергии и мощности планируются на основе прогнозов ожидаемого электропотребления (потребления электроэнергии и мощности) в целом по энергосистеме, по энергокомпаниям, по группам и отдельным потребителям, по узлам электрической схемы [1]. Исследование характера колебаний потребления энергосистем – необходимый этап для оценки ожидаемого уровня потребления.

Предлагаемая статья посвящена анализу регулярных и нерегулярных колебаний суточных графиков потребления российских энергосистем. Для анализа использовались архивные данные программных комплексов «Иерархическая система прогнозирования электропотребления» (ИСП) и «Энергостат», эксплуатируемых в филиалах СО ЕЭС России и в крупных энергосбытовых компаниях [2–3].

ГРАФИКИ ПОТРЕБЛЕНИЯ

В состав Единой энергосистемы России (ЕЭС) входят 70 региональных энергосистем (ЭС), которые в свою очередь образуют 7 объединенных энергосистем (ОЭС). Энергосистемы существенно различаются по величине и структуре потребления. Контроль и планирование потребления производится по каждому структурному компоненту: по районам, крупным потребителям, собственным нуждам станций.

Колебания суточных графиков потребления ЭС формируются под влиянием комплекса различных факторов. Многолетние тенденции определяются социальными факторами и экономическим развитием регионов.

Устойчивые производственные циклы, астрофизические циклы (смена дня и ночи), сезонные колебания метеофакторов определяют регулярные колебания потребления – суточную, недельную, сезонную цикличность нагрузки, а также устойчивые многолетние изменения (тенденции) потребления – межгодовой прирост (падение), плавное изменение структуры потребления. Резкие изменения погодных условий, общественные явления, телевизионные передачи,

внеплановые отключения крупных потребителей и т. п. определяют нерегулярные колебания, отклонения нагрузки от цикличности и тенденций.

Сезонная цикличность представлена на годовом графике среднесуточных значений потребляемой мощности ЕЭС (рис. 1). В 2017 г. отмечается некоторое повышение уровня потребления.

Одним из важных факторов, определивших необходимость объединения энергосистем в ЕЭС, стала возможность использовать разновременность максимумов нагрузки – так называемый эффект совмещения. Так, на рис. 2 отчетливо наблюдается сдвиг часов утренних и вечерних максимумов. Подобный эффект также наблюдается, например, в ОЭС Сибири, где энергосистемы расположены в разных часовых поясах (рис. 3, данные представлены по времени в Кемерово).

Структура потребления ЕЭС России по территориям ОЭС представлена на рис. 4: доля нагрузки региональных ОЭС в среднесуточном потреблении ЕЭС по рабочим дням на годовом интервале. Структура потребления ОЭС Сибири приведена на рис. 5. Потребление отдельных энергосистем может разбиваться по определенным энергорайонам, крупным потребителям и собственным нуждам (СН) станций.

Суточные графики различных ЭС и ОЭС в значительной степени отражают экономические и географические особенности регионов. Характер суточных графиков потребления меняется в зависимости от сезона и типа суток. Обычно рассматривают характерные графики рабочих и выходных дней, а также более подробно: понедельник, нормальный рабочий день (вторник, среда, четверг), пятница, суббота и воскресенье [4].

В качестве примера на рис. 6. приведены среднесуточные графики потребления по ОЭС Юга и ОЭС Урала.

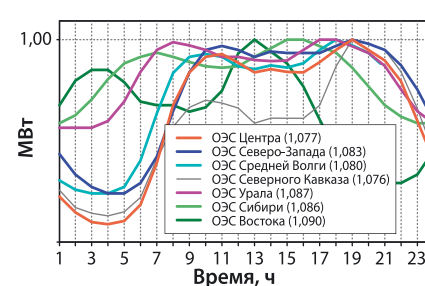
Общие закономерности: графики выходных дней ниже, в субботу нагрузка значительно снижается, а в воскресенье достигает минимума.

В сравниваемых энергосистемах заметно отличается суточный характер графиков электропотребления: в ОЭС Урала ярко выражен утренний максимум, в ОЭС Юга – вечерний, что объясняется значительно более существенной долей коммунально-бытовой нагрузки на Юге.

• Рис. 1. Среднесуточные графики потребления ЕЭС России, без Крыма (рабочие дни 2015–2017 гг.)



• Рис. 2. Среднесуточные графики потребления ОЭС (зимние месяцы, рабочие дни, московское время)



• Рис. 3. Среднесуточные графики потребления энергосистем ОЭС Сибири (зимние месяцы, рабочие дни)

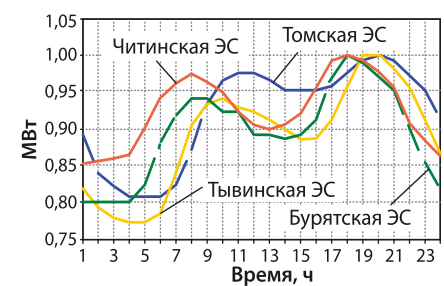


Таблица. 1 Коэффициенты, характеризующие форму среднесуточного графика потребления по различным ОЭС в зимние месяцы в 2016–2017 гг.

Энергосистема	Потребление, МВт			$K_{зап}$	$K_{нер}$
	$P_{среди}$	$P_{мин}$	$P_{макс}$		
Рабочие дни					
ОЭС Центра	31745	26274	35267	0,900	0,745
ОЭС Северо-Запада	12475	10746	13493	0,925	0,796
ОЭС Средней Волги	14531	12380	15948	0,911	0,776
ОЭС Юга	12515	10457	14090	0,888	0,742
ОЭС Урала	33875	31208	35588	0,952	0,877
ОЭС Сибири	27104	24974	28520	0,950	0,876
ОЭС Востока	4768	4320	5125	0,930	0,843
Московская ЭС	14202	10996	16258	0,874	0,676
Выходные дни					
ОЭС Центра	29236	25476	32734	0,893	0,778
ОЭС Северо-Запада	11923	10659	13027	0,915	0,818
ОЭС Средней Волги	13245	11867	14533	0,911	0,817
ОЭС Юга	11796	10217	13428	0,878	0,761
ОЭС Урала	32526	30625	34340	0,947	0,892
ОЭС Сибири	26334	24573	27882	0,944	0,881
ОЭС Востока	4667	4270	5006	0,932	0,853
Московская ЭС	12846	10651	14778	0,869	0,721

Для характеристик суточных графиков потребления на практике используются расчетные коэффициенты заполнения:

$$K_{зап} = \frac{P_{среди}}{P_{макс}}$$

где $P_{среди}$ – средние, $P_{макс}$ – максимальные значения потребления за сутки, и коэффициент неравномерности:

$$K_{нер} = \frac{P_{мин}}{P_{макс}}$$

где $P_{мин}$ – минимальное значение потребления за сутки.

Коэффициенты, характеризующие форму графика по различным ОЭС, представлены в табл. 1.

По неравномерности суточных графиков, ОЭС можно объединить в три группы: – незначительная неравномерность ($K_{нер} > 0,83$) – ОЭС Урала, Сибири и Востока;

– средняя неравномерность ($0,78 < K_{нер} < 0,83$) – ОЭС Северо-Запада и Средней Волги;

– существенная неравномерность ($K_{нер} < 0,78$) – ОЭС Центра, Юга и Московская энергосистема.

Наибольшая неравномерность наблюдается в Московской энергосистеме и ОЭС Юга, где доля непромышленной нагрузки наиболее высокая из крупных энергосистем.

В летний период неравномерность графиков потребления существеннее, но характер неравномерности по группам ОЭС в целом сохраняется.

Недельная цикличность отражает производственный цикл: нагрузка энергосистемы в рабочие дни существенно превышает нагрузку выходных дней.

Характер недельного цикла имеет свои особенности в различных энергосистемах и зависит от структуры потребления и специфики промышленности региона.

На рис. 7 представлены графики недельного цикла часовых значений потребляемой мощности ОЭС Центра и ОЭС Урала в весенний период.

Наглядно прослеживается снижение потребления в выходные дни, причем заметны характерные особенности недельного цикла: в ОЭС Центра это снижение значительнее, чем в ОЭС Урала.

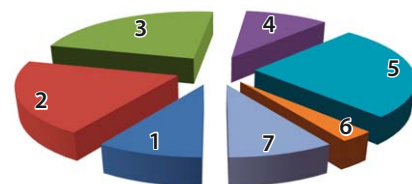
В этих энергосистемах заметно отличается и размах суточных колебаний потребления в рабочие и выходные дни: сказываются существенные различия в структурах потребления и климатические особенности регионов. В ОЭС Центра неравномерность выше из-за высокой доли коммунально-бытовой нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макоклюев Б.И. Анализ и планирование электропотребления. М.: Энергоатомиздат, 2008. 296 с.
2. Полижаров А.С., Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Алла Э.А., Басов А.А., Зеленохат О.Н. Иерархическая система прогнозирования // Сборник докладов III Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи». Екатеринбург, 2012. С. 346–350.
3. Макоклюев Б., Цуприк Н., Антонов А., Артемьев А., Федоров Е. Ванькевич Д. Формирование и планирование электропотребления, баланс электроэнергетики Дальневосточной энергетической компании (ДЭК) // Энергорынок. 2009. № 6(67). С. 40–42.
4. Сайт АО «Системный оператор Единой энергетической системы»: www.so-ups.ru.

Структура потребления ЕЭС России по территориям ОЭС

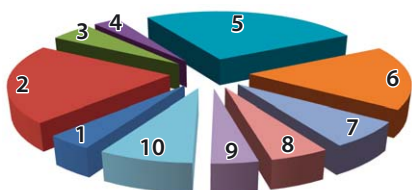
Рис. 4 •



1 – ОЭС Юга – 9% 5 – ОЭС Урала – 26%
 2 – ОЭС Сибири – 20% 6 – ОЭС Востока – 3%
 3 – ОЭС Центра – 23% 7 – ОЭС Северо-Запада – 9%
 4 – ОЭС Средней Волги – 10%

Структура потребления ОЭС Сибири

Рис. 5 •

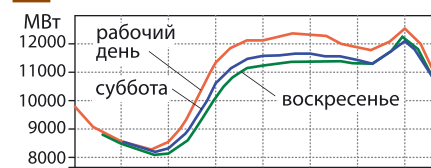


1 – Забайкальская ЭС – 4% 6 – Кузбасская ЭС – 17%
 2 – Красноярская ЭС – 21% 7 – Новосибирская ЭС – 7%
 3 – Алтайская ЭС – 5% 8 – Омская ЭС – 5%
 4 – Бурятская ЭС – 3% 9 – Томская ЭС – 4%
 5 – Иркутская ЭС – 26% 10 – Хакасская ЭС – 8%

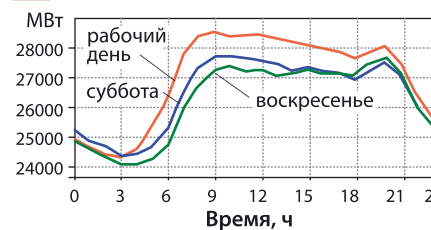
Среднесуточные графики потребления в летние месяцы 2017 г.

Рис. 6 •

а ОЭС Юга

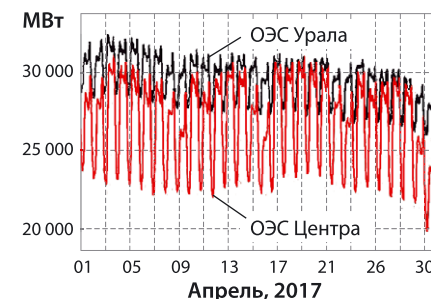


б ОЭС Урала



Графики недельного цикла часовых значений потребления ОЭС Центра и Урала за апрель 2017 г.

Рис. 7 •



Продолжение статьи – в следующем номере журнала. Авторы рассмотрят особенности сезонных колебаний и многолетние тенденции в электропотреблении российских энергосистем.