

В первой части статьи, посвященной динамике и структуре электропотребления («Новости ЭлектроТехники» № 1(109) 2018, с. 52–53), были рассмотрены среднесуточные графики и особенности электропотребления в различных регионах России.

Во второй части статьи авторы рассказывают о значительном влиянии метеорологических факторов на сезонные графики электропотребления, кратко описывают характерные тенденции последних лет, в том числе такие важные, как постепенный рост нагрузки во всех объединенных энергосистемах (ОЭС) нашей страны.

ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ РОССИИ

Исследование характера колебаний

СЕЗОННЫЕ ГРАФИКИ

Сезонные колебания обусловлены в первую очередь изменениями температуры и длины дня. Они имеют явно выраженную регулярную компоненту, на которую накладываются нерегулярные колебания, вызванные изменением погодных условий, и прежде всего температуры и освещенности, а также влиянием других нерегулярных факторов. Сезонные циклы различных ОЭС отличаются своей характерной формой, амплитудой колебаний, временем наступления максимумов и минимумов

Примерно одинаков размах сезонных колебаний в ОЭС, расположенных в европейской части: Центра, Северо-Запада, Юга и Средней Волги. Менее значимы сезонные колебания в ОЭС Урала и Сибири. Наиболее значителен размах сезонных колебаний в ОЭС Востока. Различается также по ОЭС время наступления максимумов и минимумов нагрузки. Минимумы потребления приходится на летнее или весеннее время, характеризующееся наиболее высокой температурой наружного воздуха, наибольшей продолжительностью светового дня. Они наступают, как правило, в 4–5 часов утра. Максимальные значения приходится обычно на декабрь, когда естественная освещенность и температура наружного воздуха минимальны, и наступают, как правило, в 17–18 часов. В отдельные годы максимумы могут смещаться на январь или февраль.

Существенные особенности имеют сезонные колебания потребления в южных энергосистемах. Так, потребление «Кубаньэнерго» имеет локальный летний максимум, связанный с увеличением курортной нагрузки в районах Сочи, Геленджика и Анапы (рис. 8). Этот максимум имеет тенденцию

к увеличению, и потребление в августе 2017 г. уже превышало потребление в зимние месяцы. Повышение летней нагрузки южных ЭС в значительной мере связано с дополнительной нагрузкой от приборов кондиционирования и с поливным земледелием.

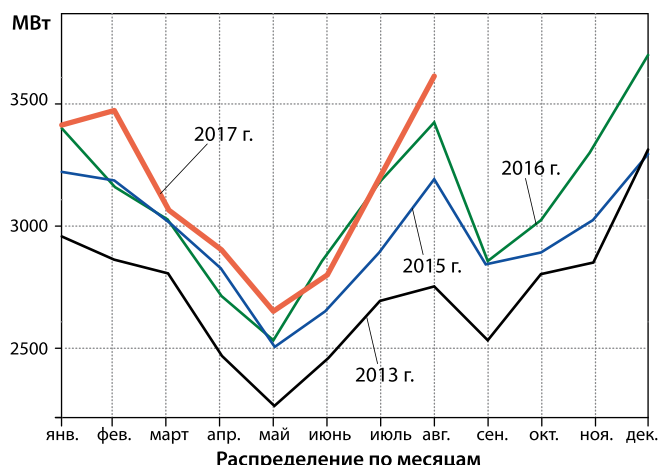
На рис. 9 приведена зависимость потребления «Кубаньэнерго» от температуры. Ясно видно, что с повышением температуры более 20 °С потребление начинает существенно расти.

Локальные максимумы в летний период наблюдаются также в Крымской энергосистеме (рис. 10 а). Отмечается повышение потребления в осенне-зимний период 2016 и 2017 гг., связанное с введением энергомоста. В летний период нагрузка в 2016 и 2017 гг. достигла уровня 2013 г. Аналогичная картина наблюдается в ОЭС Юга в целом (рис. 10 б).

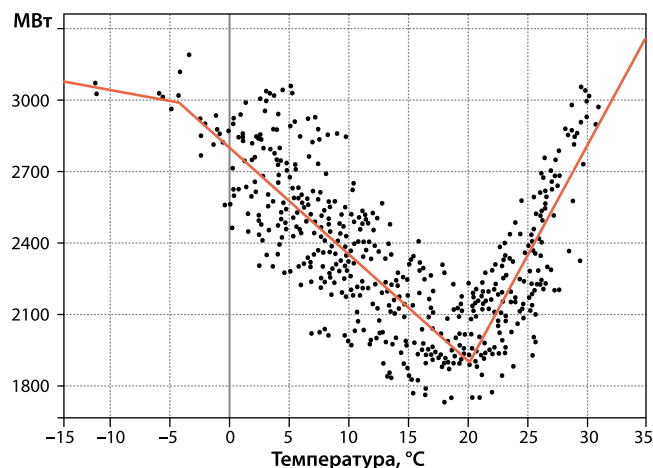
Установившаяся в августе 2017 г. в южном регионе аномальная жара привела к превышению средней температуры воздуха почти на 10 °С над нормой для этого времени года. В энергосистемах ОЭС Юга это вызвало резкий рост потребления электроэнергии и мощности, а также стало причиной снижения пропускной способности электрической сети. 7 августа в Крымской энергосистеме зафиксированы рекордные значения потребления электрической мощности в летний период. В часы дневного максимума потребление мощности в Крымской энергосистеме достигло 1249 МВт, что на 70 МВт выше летнего максимума, зафиксированного 24 июля 2012 г.

В Кубанской энергосистеме в августе 2017 г. в течение трех дней подряд фиксировались рекордные значения потребления мощности за весь период ее существования. 8 августа в 14:00 был достигнут очередной исторический максимум потре-

• Рис. 8. Сезонные колебания среднесуточных значений электропотребления «Кубаньэнерго» за 2013–2017 гг.



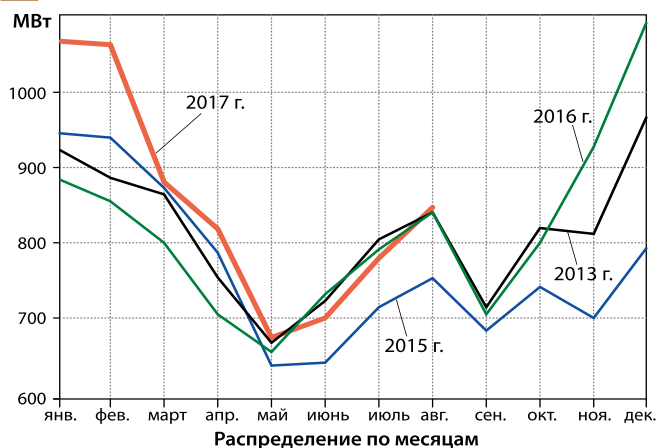
• Рис. 9. Зависимость электропотребления «Кубаньэнерго» от температуры



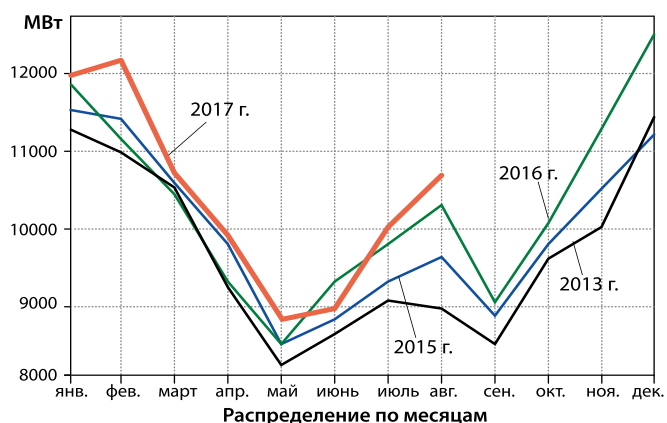
Среднемесячные графики электропотребления в 2013–2017 гг.

Рис. 10 •

а ЭС Крыма

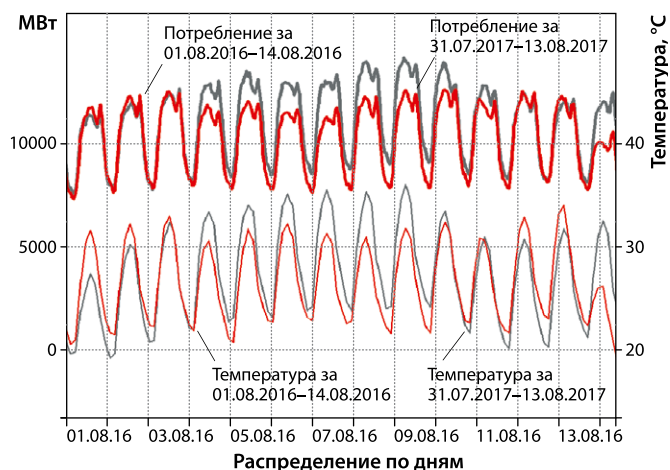


б ОЭС Юга



Графики электропотребления Кубанской ЭС за первые две недели августа 2016 и 2017 гг.

Рис. 11 •



ния мощности, который составил 5032 МВт, что на 433 МВт (!) выше максимума, зафиксированного в июле 2016 г.

Кроме того, 8 августа были достигнуты новые исторические максимумы потребления в Ставропольской и Астраханской энергосистемах – 1634 и 710 МВт соответственно.

Аномально высокая температура на территории всей ОЭС Юга привела к превышению исторического максимума потребления мощности и в целом по ОЭС. В часы дневного максимума нагрузки 8 августа 2017 г. потребление мощности в ОЭС Юга достигло 15754 МВт, что на 907 МВт выше максимума, зафиксированного 18 июля 2016 г. (рис. 11). Резкое повышение потребления привело к необходимости ввода ограничений. ►

● Таблица 2. Электропотребление ЕЭС России в 2015–2016 гг.

Период	Среднее потребление		Максимум потребления	
	Факт, МВт	Прирост к прошлому году, %	Факт, МВт	Прирост к прошлому году, %
2015	114 471	-0,49	147 376	-4,74
январь	130 190	-0,25	147 376	-4,74
февраль	129 646	-2,27	142 822	-5,65
март	121 640	1,1	135 322	-0,19
апрель	113 899	1,57	128 597	1,54
май	101 769	-0,61	113 646	-1,69
июнь	99 610	0,09	111 376	-0,69
июль	99 771	0,38	111 612	0,46
август	100 705	-0,23	112 564	-0,1
сентябрь	104 952	-0,71	118 808	0,14
октябрь	117 526	-0,91	134 973	-1,87
ноябрь	126 028	-0,48	142 385	-2,29
декабрь	128 953	-2,91	143 695	-3,46
2016	116 260	1,56	151 070	2,51
январь	133 097	2,23	149 246	1,27
февраль	127 284	-1,82	141 287	-1,07
март	121 517	-0,1	135 003	-0,24
апрель	111 641	-1,98	124 600	-3,11
май	102 224	0,45	113 364	-0,25
июнь	101 200	1,6	115 122	3,36
июль	101 248	1,48	115 002	3,04
август	103 654	2,93	116 085	3,13
сентябрь	106 915	1,87	122 915	3,46
октябрь	119 406	1,6	137 321	1,74
ноябрь	130 850	3,83	146 049	2,57
декабрь	136 328	5,72	151 070	5,13

МНОГОЛЕТНИЕ ТЕНДЕНЦИИ

Оценка характера многолетних изменений (тенденций) имеет существенное значение для подбора адекватных математических моделей долгосрочного прогнозирования электропотребления на несколько лет.

В ОЭС и ЭС наблюдаются следующие основные многолетние изменения (тенденции) потребления:

- межгодовой рост (падение) общего уровня потребления вследствие присоединения (отключения) абонентов и изменения объема потребляемой электроэнергии потребителями энергосистемы;
- изменение структуры потребления вследствие его постепенного перераспределения по группам потребителей;
- изменение характера суточных, недельных и сезонных колебаний потребления.

В региональном разрезе рост потребления имеет существенные различия, связанные с определенной сложившейся

● Таблица 3. Прирост электропотребления по ОЭС в 2015–2017 гг., %

Период	Центр	Средняя Волга	СЗ	Юг	Урал	Сибирь	Восток
2015	-0,39	-2,31	-0,26	1,17	-0,78	-0,23	1,24
январь	-0,2	-0,42	-0,8	2,51	0,38	-0,73	0,14
февраль	-0,05	-4,11	-0,55	-1,68	-2,78	-4,16	-2,13
март	1,58	-0,38	0,24	4,65	-0,13	0,87	1,62
апрель	2,39	-0,4	0,76	5,03	-0,43	2,42	6,81
май	0,57	-2,26	0,17	2,62	-0,81	-2,23	2,65
июнь	0,72	-1,15	-0,21	5,9	-1,01	-1,49	1,78
июль	-0,59	-2,01	1,68	2,15	0,15	1,86	1,49
август	-1,34	-3,43	0,18	-0,76	0,07	1,97	1,55
сентябрь	-0,49	-3,85	-0,94	2,13	-1,17	0,21	1,8
октябрь	-0,9	-0,68	-0,14	-0,25	-1,17	-1	1,13
ноябрь	-1,18	-3,69	-0,12	-3,62	0,13	2,39	3,8
декабрь	-4,39	-4,95	-2,48	-2,22	-2,26	-1,76	-2,82
2016	1,95	1,72	2,44	3,13	0,1	1,53	2,79
январь	2,5	-0,5	6,3	2,64	-0,14	5,41	1,04
февраль	-2,66	-4,24	-1,1	-2,9	-2,76	1,06	3,94
март	0,86	-2,37	1,75	-0,99	-0,45	-0,21	1,88
апрель	-2,75	-4,37	-0,72	-4,95	-2,17	0,47	0,84
май	0,22	0,21	-2,14	0,07	-0,18	2,86	1,55
июнь	2,39	0,71	1,82	5,75	0,05	0,95	3,28
июль	2,27	3,14	0,67	5,47	-0,49	0,94	0,61
август	2,38	7,03	4,22	7,28	1,23	1,05	3,08
сентябрь	4,15	8,26	3,75	1,58	-0,28	-2,36	1,39
октябрь	1,73	0,45	1,32	3,37	-0,57	3,92	2,95
ноябрь	5,13	5,68	6,09	7,11	1,47	1,53	7,05
декабрь	7,06	8,32	5,42	11,61	5,26	1,95	3,86
2017	-	-	-	-	-	-	-
январь	0,86	3,13	-3,78	0,99	1,45	-2,04	1,32
февраль	5,68	6,89	4,27	9,95	4,99	0,36	-2,08
март	0,26	3,14	1,47	1,93	1,85	-0,48	0,3
апрель	4,72	5,33	5,21	6,54	3,28	0,27	1,65
май	5,89	5,75	9,34	3,45	4,77	-0,55	-0,94
июнь	1,62	3,12	3,75	-4,4	2,61	0,93	-0,29
июль	-0,28	1,67	2,37	2,43	0,88	0,55	2,87
август	1,24	1,92	1,85	3,65	0,09	0,48	0,72

структурой потребления и экономическим состоянием отдельных регионов.

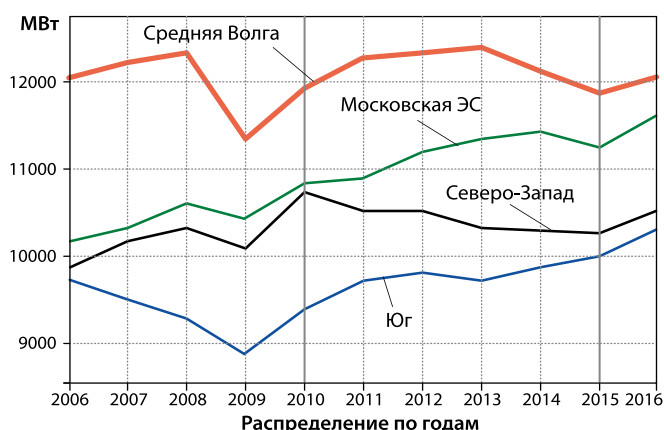
Одна из характерных тенденций последних лет – изменение структуры потребления. В общем электропотреблении изменения связаны с двумя ведущими группами: промышленность и непромышленные потребители (население и коммерческие структуры). Изменения в других секторах потребления несущественны.

Имеется устойчивая тенденция уменьшения доли промышленности в общей нагрузке (за исключением некоторых регионов, связанных с нефтегазовой промышленностью) и увеличения доли коммунально-бытовой, офисной, торговой и т. п. нагрузки. Данное изменение приводит к росту зависимости потребления от метеорологических факторов, поскольку непромышленная нагрузка более подвержена их влиянию. Колебания метеофакторов, в первую очередь температуры и освещенности, вызывают резкие скачки

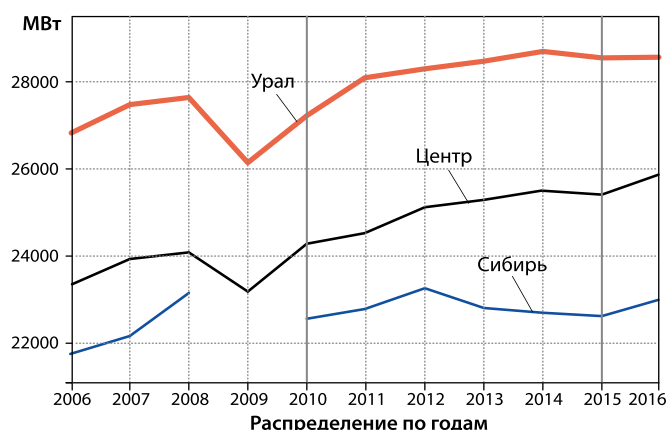
Среднегодовое электропотребление Московского региона и ОЭС в 2006–2016 гг.

Рис. 12 •

а Московская ЭС, ОЭС Средней Волги, Северо-Запада и Юга



б ОЭС Урала, Центра и Сибири



Прирост электропотребления по ОЭС за лето 2017 г. по сравнению с летом 2016 г.

Таблица. 4 •

Объект	Лето 2016		Лето 2017		$P_{\text{ср}}$ за лето 2017 г., приведенное к условиям лета 2016 г.	Прирост, %
	$P_{\text{ср}}$, МВт	$T_{\text{ср}}$, °C	$P_{\text{ср}}$, МВт	$T_{\text{ср}}$, °C		
ОЭС Центра	23220	19,3	23406	17,2	23679	2,0
ОЭС Средней Волги	10761	21,2	11006	18,4	11261	4,7
ОЭС Северо-Запада	8771	16,5	9003	14,7	8985	2,4
ОЭС Юга без Крыма	9864	24,3	9937	23,8	10094	2,3
ОЭС Урала	26271	19,5	26576	17,0	26695	1,6
ОЭС Сибири	20210	18,4	20354	18,0	20345	0,7
ОЭС Востока	2946	18,4	2980	19,0	2980	1,1
ЕЭС России						2,0

потребления как в осенне-зимний, так и в летний периоды (в южных ЭС). Эти скачки потребления особенно опасны в условиях дефицита генерации и ограниченной пропускной способности сетей.

Структурные изменения отражаются на цикличности электропотребления. Существенно растет сезонная неравномерность и увеличение размаха сезонных колебаний.

Изменения в структуре потребления приводят к увеличению доли выходных дней в недельном потреблении. Графики суточных циклов демонстрируют относительное снижение утреннего максимума рабочих дней и рост нагрузки в вечерние и ночные часы, что также является следствием уменьшения доли промышленной нагрузки. Подобные тенденции наблюдаются в ЭС и ОЭС с высокой долей коммунально-бытовой и непромышленной нагрузки.

Длительные тенденции прироста потребления по регионам за 10 лет отчетливо видны на графиках (рис. 12 а, б).

Для количественного анализа приростов за два последних года использовались показатели средних и максимальных значений потребляемой мощности на интервалах год и месяц и относительные приросты среднего потребления по отношению к аналогичному периоду предшествующего года (в процентах).

Результаты анализа потребления по ЕЭС и ОЭС за 2015–2016 гг. сведены в табл. 2 и 3. Анализ этих данных показывает, что примерно с лета 2016 г. прекратилось падение потребления и начался постепенный рост нагрузки во всех регионах и ЕЭС в целом. Эта тенденция сохранилась в 2017 г.

Важно сопоставить данные, приведенные к одинаковым температурным условиям, поскольку температура значительно влияет на потребление. Данные в табл. 4 показывают, что в целом потребление ЕЭС в 2017 г. выросло примерно на 2%, наиболее существенно нагрузка возросла в ОЭС Средней Волги, Северо-Запада и Юга.

ВЫВОДЫ

- Суточная, недельная и сезонная неравномерности потребления определяются составом нагрузки (соотношением промышленной и непромышленной нагрузки) и колебаниями метеофакторов. В энергосистемах с высокой долей непромышленной нагрузки эти неравномерности более существенны.
- В структуре потребления энергосистем происходят значительные изменения: снижается доля промышленной нагрузки, увеличивается нагрузка непромышленных потребителей. Структурные изменения приводят к увеличению сезонной неравномерности нагрузки в разрезе года, к относительному увеличению потребления в выходные дни, к росту вечернего максимума.
- В связи с ростом непромышленной нагрузки увеличивается зависимость потребления от метеорологических факторов, главным образом от температуры и освещенности. Колебания метеофакторов вызывают существенные скачки потребления, в т. ч. в летний период. В южных энергосистемах летом отмечается существенный локальный максимум нагрузки.
- В энергосистемах ОЭС Юга в условиях аномально жаркой погоды (на 10 °C выше нормы для этого времени года) в августе 2017 г. резко увеличилось потребление и были превышены исторические максимумы потребления. В некоторых энергосистемах это привело к вводу ограничений.
- Статистический анализ показывает, что в 2016 г. примерно с лета прекратилось падение потребления и начался постепенный рост нагрузки во всех регионах и ЕЭС в целом. Эта тенденция сохранилась в 2017 г. Приведенные к одинаковым температурным условиям данные показывают, что в целом потребление ЕЭС летом 2017 г. по сравнению с летом 2016 г. выросло примерно на 2%, наиболее существенно нагрузка увеличилась в ОЭС Средней Волги, Северо-Запада и Юга. ■