

# ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

УДК 621.311

**В.И. Скоробогатова, д-р техн. наук, Б.И. Кулик**

(Украина, Чернигов, Черниговский национальный технологический университет)

## ОЦЕНИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО ДОПУСТИМОМУ НАГРЕВУ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ РЕАКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

**Введение.** Согласно положениям работы [1] расчетные нагрузки по допустимому нагреву проектируемых систем электроснабжения (СЭ) оцениваются из условия, что наибольший нагрев токоведущих частей электроустановок приходится на время действия максимальной получасовой нагрузки (МПН), принадлежащей наиболее загруженной по активной мощности технологической смене. Логика работы [1] позволяет сделать заключение, что этому основополагающему условию сопутствуют «скрытые» аксиомы о тепловом воздействии электроэнергии на токоведущие части электроустановок СЭ, а именно:

– МПН по реактивной мощности совпадает во времени с МПН по активной мощности, что тождественно утверждению о монотонности графиков электрических нагрузок по активной и реактивной мощностям;

– вероятность события МПН по активной мощности и по току не выходит за временные рамки наиболее загруженной по активной мощности технологической смене и стремится к нулю (равна нулю);

– конструктивные особенности электроустановок СЭ, как и параметры окружающей их среды, не влияют на продолжительность интервала осреднения, значение которого зафиксировано согласно в работе [1] на уровне 0,5 часа.

**Изложение основного материала.** Ниже представлены результаты натурального эксперимента, проведенного авторами в действующих электрических сетях (ДЭС) СЭ предприятия «Черниговское химволокно». Объектом исследования является нормальный установившийся режим работы ввода распределительной подстанции РП-2 предприятия, получающей питание от Черниговской ТЭЦ (фидер 32). В задачи эксперимента входило оценивание энергетического состояния сети по длительному нагреву и анализ этого состояния на соответствие методологическим принципам работы [1], приведенным выше.

Исходными параметрами для оценивания установившегося режима работы сети послужили экспериментально полученные получасовые электрические нагрузки по активной и реактивной мощностям и соответствующие им осредненные значения напряжения по состоянию от 00.00 часов 14.03.07 до 00.00 часов 15.03.07. Они представлены соответственно в графах 2, 3, 5 табл. 1. Данные были получены с использованием АСКУЭ, установленной в ячейках ГРУ Черниговской ТЭЦ.

В графе 4 табл. 1 представлены получасовые нагрузки по полному току, рассчитанные по осредненным нагрузкам по активной и реактивной мощностям для каждого получасового интервала времени с использованием правила геометрического суммирования.

Таблица 1

Получасовые значения напряжения и электрические нагрузки по активной и реактивной мощностям и полному току

Получасовой интервал астрономического времени	Получасовая нагрузка по			Значение напряжения U, кВ
	активной мощности P, кВт	реактивной мощности Q, квар	полному току I, А	
1	2	3	4	5
0:00-0:30	2696	428	147,07	10,72
0:30-1:00	2740	456	149,66	10,72
1:00-1:30	2686	545	146,98	10,77
1:30-2:00	2704	400	146,59	10,77
2:00-2:30	2684	456	146,01	10,77
2:30-3:00	2612	364	141,44	10,77
3:00-3:30	2520	256	135,84	10,77
3:30-4:00	2500	228	134,64	10,76
4:00-4:30	2492	184	134,03	10,76

## Электропоставления та електроустановлення

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5
4:30-5:00	2376	68	127,50	10,76
5:00-5:30	2292	116	123,13	10,76
5:30-6:00	2404	64	129,03	10,76
6:00-6:30	2480	132	133,21	10,76
6:30-7:00	2439	188	131,18	10,77
7:00-7:30	2576	272	138,89	10,77
7:30-8:00	2672	320	144,27	10,77
8:00-8:30	2704	390	146,42	10,77
8:30-9:00	2732	436	148,25	10,77
9:00-9:30	2772	390	150,00	10,77
9:30-10:00	2768	436	151,57	10,67
10:00-10:30	2869	483	155,91	10,77
10:30-11:00	2756	585	151,00	10,77
11:00-11:30	2781	684	153,52	10,77
11:30-12:00	2794	546	156,25	10,52
12:00-12:30	2712	374	150,24	10,52
12:30-13:00	2488	179	136,91	10,52
13:00-13:30	2508	134	137,85	10,52
13:30-14:00	2552	152	140,31	10,52
14:00-14:30	2684	260	148,01	10,52
14:30-15:00	2780	396	153,67	10,55
15:00-15:30	2712	361	148,75	10,62
15:30-16:00	2716	462	149,79	10,62
16:00-16:30	2843	634	158,39	10,62
16:30-17:00	2796	507	154,54	10,62
17:00-17:30	2824	443	155,47	10,62
17:30-18:00	2720	469	150,11	10,62
18:00-18:30	2688	538	149,10	10,62
18:30-19:00	2644	393	144,70	10,67
19:00-19:30	2604	424	142,15	10,72
19:30-20:00	2632	316	142,83	10,72
20:00-20:30	2528	224	136,76	10,71
20:30-21:00	2372	91	127,92	10,71
21:00-21:30	2316	80	124,87	10,71
21:30-22:00	2440	120	131,64	10,71
22:00-22:30	2608	240	141,14	10,71
22:30-23:00	2660	408	145,00	10,71
23:00-23:30	2604	384	141,83	10,71
23:30-00:00	2628	380	143,07	10,72

Предприятие работает в три смены с продолжительностью каждой смены 8 часов. В табл. 2 приведены начало и конец работы каждой смены и посменный расход активной электроэнергии.

Таблица 2

**Начало и конец работы каждой смены с посменным расходом активной электроэнергии**

Смена	Начало и конец работы	Расход активной энергии за смену, кВт/час
I	06:00– 14:00	21302
II	14:00– 22:00	21150
III	22:00– 6:00	20603

Как видно из табл. 2 наибольший расход активной энергии приходится на I-ю смену, поэтому согласно логики работы [1] МПН по допустимому нагреву должен принадлежать этой смене, то есть МПН по активной мощности приходится на получасовой интервал времени 10:00 – 10:30 и составляет 2869 кВт (см. табл. 1). Этому интервалу времени соответствует получасовая нагрузка по реактивной мощности, равная 483 кВАр, и получасовая нагрузка по полному току, равная 155,91 А (см. табл. 1).

Но этой же смене принадлежит получасовой интервал 11:30 – 12:00 с нагрузкой по полному току, равному 156,25 А (с нагрузками по активной и реактивной мощностям соответственно 2794 кВт и

546 квар). Данная нагрузка превосходит значение расчетной согласно [1] по полному току (с МПН по активной мощности) за счет 15%-ного роста получасовой нагрузки по реактивной мощности (при одновременном снижении активной нагрузки). Этот факт позволяет сделать о про немонотонности графиков нагрузки по мощностям, а значит и о недостаточности положенной в основу инструкции [1] критериальной оценке нагрузки только на основе МПН по активной мощности.

Следует обратить внимание и на интервал времени 16:00–16:30, не принадлежащий I смене, с получасовой нагрузкой по полному току 158,39 А и соответствующими нагрузками по мощностям 2843 кВт и 634 квар. Как видно, нагрузка по току этого интервала превосходит приведенные выше значения нагрузки по току I смены, что позволяет сделать вывод о большем ее тепловом воздействии на токоведущие части электроустановок, а значит и о несоблюдении второй «скрытой» аксиомы работы [1] (см. выше).

Интересен интервал времени 11:00–11:30, которому принадлежит МПН по реактивной мощности со значением 684 квар, так как он может повлиять на решение параметрической задачи искусственной компенсации реактивной мощности на вводе подстанции РП-2.

В табл. 3 приведены значения МПН по мощностям и току с соответствующими получасовыми интервалами времени.

Таблица 3

**Значения МПН и соответствующих им получасовых нагрузок**

Получасовой интервал астрономического времени	Значение МПН	Значение соответствующей получасовой нагрузки	
		по реактивной мощности	по полному току
10:00–10:30	по активной мощности 2869 кВт	по реактивной мощности 483 квар	по полному току 155,91 А
11:00–11:30	по реактивной мощности 684 квар	по активной мощности 2781 кВт	по полному току 153,52 А
16:00–16:30	по полному току 158,39 А	по активной мощности 2843 кВт	по реактивной мощности 634 квар

Одним из основополагающих методологических принципов работы [1] является осреднение нагрузок на получасовых интервалах времени (три постоянных величины времени  $T_0$  продолжительностью 10 минут) для электроустановок с любыми значениями параметров по теплоемкости и теплоотдаче, что не согласуется с реалиями. Так, для 3-жильного силового кабеля типа АСБ с сечением жилы 185 мм<sup>2</sup> (этим кабелем выполнен вошедший в эксперимент фидер 32) постоянная времени нагрева  $T_0$  равна 30 мин, т. е., осреднение нагрузок должно осуществляться на интервалах времени продолжительностью от  $3T_0$  до  $6T_0$  (1,5 – 3 часа) [2]. Очевидно, что на основе исходных данных получасовых графиков нагрузки по мощностям можно сформировать от 3 до 6 полуторачасовых графиков нагрузки с меняющимися началом и концом суточного графика. В табл. 4 представлены значения трех максимумов полуторачасовых нагрузок (МПЧН) по полному току и соответствующие им полуторачасовые нагрузки по мощностям, полученные на основе интегрирования получасовых суточных графиков с началом отсчета времени 0.00, 0.30, 1.00.

Таблица 4

**Значения МПЧН по полному току и соответствующие им полуторачасовые нагрузки по мощностям**

Начало графика нагрузки	Полуторачасовой интервал астрономического времени	Значение МПЧН по полному току, А	Значение соответствующей полуторачасовой нагрузки по	
			активной мощности, кВт	реактивной мощности, квар
0,00	10:30–12:00	153,59	2777	605
0,30	15:30–17:00	154,24	2785	534,33
1,00	16:00–17:30	156,13	2821	528

В табл. 5 представлены значения МПЧН по реактивной мощности и соответствующие им полуторачасовые нагрузки по активной мощности и току.

Из табл. 4 видно, что МПЧН по полному току во всех графиках не совпадают по значению и по времени, а наибольший МПЧН приходится на интервал времени 16:00 – 17:30 графика нагрузки с началом отсчета времени 1,00 и равен 156,13А (с нагрузками по активной и реактивной мощностям соответственно 2821 кВт и 528 квар). В этом же графике нагрузки МПЧН по реактивной мощности на интервал времени 10:00–11:30 и равен 584 квар (см. табл. 5). Это значение превышает значение полуторачасовой

**Значения МПЧН по реактивной мощности и соответствующих им полуторачасовых нагрузок по активной мощности и току**

Начало графика нагрузки	Полуторачасовой интервал астрономического времени	Значение МПЧН по реактивной мощности, квар	Значение соответствующей полуторачасовой нагрузки по	
			активной мощности, кВт	полному току, А
0,00	10:30–12:00	605	2777	153,59
0,30	11:00–12:30	534,67	2762	153,33
1,00	10:00–11:30	584	2802	153,48

нагрузки по реактивной мощности, соответствующее наибольшему значениями МПЧН по полному току, почти на 11%. При этом наибольшее значение МПЧН по полному току превышает значение полуторачасового полного тока, соответствующее наибольшему значению МПЧН по реактивной мощности (см. табл. 5), всего на 2%.

Из табл. 5 видно, что значения МПЧН по реактивной мощности на всех графиках нагрузки также не совпадают со значениями и по времени, а наибольшее значение МПЧН приходится на интервал времени 10:30–12:00 графика нагрузки с началом отсчета времени 0.00 и составляет 605 квар. Это значение превышает значение полуторачасовой реактивной мощности, соответствующее наибольшему значению МПЧН по полному току, почти на 15%.

В табл. 6 представлены значения МПН и наибольшего МПЧН по полному току и соответствующими нагрузками по мощностям.

Таблица 6

**Значения МПН и наибольшего МПЧН по полному току и соответствующие им нагрузки по мощностям**

Значение МПН по полному току, А	Значение наибольшего МПЧН по полному току, А	Значение соответствующей нагрузки по	
		активной мощности, кВт (МПН/МПЧН)	реактивной мощности, квар (МПН/МПЧН)
158,39	156,13	2843/2821	634/528

Как видно из этой таблицы, значение МПН по реактивной мощности превышает значение реактивной мощности наибольшего МПЧН по полному току на 20%, хотя значение МПН по полному току превышает значение наибольшего МПЧН всего лишь на 1,5%. Таким образом, неучет конструктивных особенностей электроустановок ДЭС приводит к завышению нагрузок по длительно допустимому нагреву.

**Вывод.** Приведенный выше анализ результатов эксперимента позволяет сделать заключение, что в ДЭС нагрузка по длительно допустимому нагреву равна максимальному току из числа возможных, вычисленных по осредненным мощностным составляющим на интервалах времени от  $3T_0$  до  $6T_0$  (с учетом скольжения графиков нагрузки) на протяжении всего времени наблюдения за ДЭС. При этом величина  $T_0$  должна быть рассчитана с учетом конструктивных параметров электроустановки и параметров окружающей среды. Мощностные составляющие максимального полного тока следует рассматривать как расчетные нагрузки по длительно допустимому нагреву по мощностям.

Для достижения наибольшего энергосберегающего эффекта в ДЭС от управления реактивной мощностью недостаточно знать ее значение по длительно допустимому нагреву. Потребуется проведение корреляционного и регрессионного анализов между параметрами установившегося режима, в том числе между потерями активной энергии и реактивной мощностью.

#### Список литературы

1. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках [Текст]// Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – М. – 1968. – №6. – С. 3-17.
2. Скоробогатова, В. И. Оценка энергетического состояния действующих промышленных электрических сетей [Текст]/Скоробогатова В.И. – К.: – 1996. – 54 с.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.*