

## Секция 6. Энергетика и энергосбережение

УДК 621.316

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.А. Сясин, А.С. Енин

© Сясин Д.А., Енин А.С., 2024

***Аннотация.** Статья посвящена особенностям определения электрических нагрузок энергетических систем. Описаны и проанализированы основные методы. Представлены особенности определения электрических нагрузок специализированного объекта.*

***Ключевые слова:** системы электроснабжения, энергосистемы, электроприемник, электрические нагрузки.*

В начале проектирования любого электрифицированного объекта важное место занимает расчет электрических нагрузок: определяются токи отдельных групп электроприемников и общая мощность.

Важность определения электрических нагрузок заключается в правильном выборе элементов энергосистемы. На основе полученных значений подбираются компоненты электрических сетей по необходимой пропускной способности и условиям нагрева. При расчете используют постоянные по величине и во времени нагрузки, которые влияют на систему электроснабжения точно так же, как и постоянно меняющиеся реальные значения нагрузок. Необходимость определения пиковых нагрузок заключается в проверке компонентов электросистемы по условиям перегрузки и в правильном выборе элементов защиты.

От точности определения нагрузок зависят надежность и экономичность системы электроснабжения. Если закладываются завышенные значения токов, то неизбежен перерасход материалов, происходит повышение стоимости компонентов. Занижение расчетных нагрузок приведет к дополнительным потерям мощности, перегреву проводников и уменьшению срока их службы.

При расчетах нагрузок возникают сложности из-за недостаточной полноты, достоверности исходных данных и многочисленных дополнительных факторов, поэтому допустимая погрешность таких расчетов составляет 10 % [1].

Расчетные нагрузки необходимо определять для самых загруженных периодов работы электрооборудования.

Расчет нагрузок систем электроснабжения можно произвести разными методами. Это зависит от исходных данных и требований к точности [2]. На основе исходных данных объекта (технологии, объема производства и т.п.) ведется расчет максимальных нагрузок ( $P_M, Q_M, S_M$ ) от отдельных компонентов до всей системы электроснабжения в целом. Иногда на крупных предприятиях алгоритм вычислений меняется в обратную сторону.

Расчет электрических нагрузок может выполняться:

методом упорядоченных диаграмм;

методом коэффициента спроса;

методом коэффициента формы графика нагрузки;

по удельной нагрузке на единицу производственной площади;

удельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объеме выпуска продукции за определенный период.

**Метод упорядоченных диаграмм** используется для определения максимальных расчетных нагрузок элементов энергосистемы с переменным графиком нагрузки. Это основной и самый распространенный метод расчета электрических нагрузок. Он позволяет определять нагрузки с вероятностью до 0,95.

Максимальные расчетные нагрузки группы приемников с переменным графиком нагрузки устанавливаются из выражений:

$$\begin{aligned} P_M &= K_M \cdot P_{см}; \\ Q_M &= K'_M \cdot Q_{см}; \\ S_M &= \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \end{aligned}$$

где  $P_{см}$  – средняя активная нагрузка групп приемников за максимально загруженную смену;  $Q_{см}$  – средняя реактивная нагрузка групп приемников за максимально загруженную смену;  $K_M$  – коэффициент максимума активной нагрузки;  $K'_M$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки.

**Метод коэффициента спроса** рекомендуется для электроприемников с постоянным графиком нагрузки (например, для систем наружного освещения):

$$\begin{aligned} P_M &= K_c \cdot P_{уст}; \\ Q_M &= P_M \cdot \operatorname{tg} \varphi; \\ S_M &= \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \end{aligned}$$

где  $P_{уст}$  – установленная активная мощность;  $K_c$  – коэффициент спроса, справочная величина;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

**Метод коэффициента формы графика нагрузки** рекомендуется для групп электроприемников с резкопеременной нагрузкой (например, для машин контактной сварки, шин низшего напряжения, шин напряжением 6–10 кВ, когда значения коэффициента формы графика достаточно

стабильны). Расчетная нагрузка таких приемников близка к среднеквадратичной:

$$\begin{aligned} P_M &= K_\phi \cdot P_{CM}; \\ Q_M &= K'_\phi \cdot Q_{CM}; \\ S_M &= \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \end{aligned}$$

где  $P_{CM}$  – средняя нагрузка групп приемников за максимально загруженную смену;  $Q_{CM}$  – средняя активная нагрузка групп приемников за максимально загруженную смену;  $K_\phi$  – коэффициент формы по активной мощности за рассматриваемый промежуток времени;  $K'_\phi$  – коэффициент формы реактивной мощности за рассматриваемый промежуток времени.

**Метод определения расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади (метод удельной плотности нагрузки)** применяется при проектировании сетей, характеризующихся большим количеством электроприемников малой и средней мощности, которые равномерно распределены по площади.

Расчетная нагрузка определяется по номинальной или установленной мощности, а исходные данные по отдельным электроприемникам, как правило, отсутствуют:

$$P_M = F_\phi \cdot P_{уд},$$

где  $F_\phi$  – фактическая производственная площадь объекта;  $P_{уд}$  – удельная мощность потребителей электроэнергии, расположенных на данной территории:

$$P_{уд} = \frac{P_{уст}}{F_{ед}},$$

где  $P_{уст}$  – установленная мощность типовых потребителей;  $F_{ед}$  – расчетная единица производственной площади.

Удельная мощность  $P_{уд}$  принимается по нормативным регламентирующим документам или справочникам.

**Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции за определенный период времени** используется для предварительных расчетов и технико-экономической оценки намеченной системы электроснабжения. В соответствии с этим методом

$$P_{расч} = \frac{M_{CM} \cdot W_{уд}}{T_{CM}},$$

где  $M_{CM}$  – выпуск продукции за расчетный период времени;  $W_{уд}$  – расход электроэнергии на единицу продукции, принимается по нормативным регламентирующим документам или справочникам;  $T_{CM}$  – продолжительность расчетного периода.

Данный метод расчета эффективен для производств с непрерывным технологическим процессом, может использоваться для предварительных

и поверочных расчетов, при технико-экономическом обосновании планируемых вариантов систем электроснабжения.

Определение электрических нагрузок специализированных объектов (например, железнодорожных пассажирских вагонов) на основании рассмотренных методик имеет существенные особенности. В этом случае применяются специальные расчеты [3, 4]. Раздельно находится нагрузка двигателей (компрессор, вентиляторы системы вентиляции, циркуляционный насос отопления, электромашинные преобразователи), электронагревателей (кипятильник, охладитель, печь, калорифер), освещения (местное и общее), цепей управления и сигнализации. Полученные результаты суммируются с использованием корреляционных коэффициентов.

Например, осветительные нагрузки рассчитываются по удельным показателям, приведенным в табл. 1, а мощность электродвигателя вентилятора – по формуле из табл. 2.

Таблица 1

Осветительная нагрузка для помещений пассажирского вагона

Помещения вагона	Удельная мощность осветительной нагрузки, Вт/м <sup>2</sup>	
	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы
Купе жесткого вагона	12–18	10–20
Купе мягкого вагона	18–22	10–20
Отделение или салон межобластного вагона	10–15	6–10
Коридоры, проходы	8–10	6–10
Туалеты	10–12	–
Тамбуры	8–11	–
Прочие помещения	8–10	–

Таблица 2

Выбор электродвигателя вентилятора

Расчетная формула	Параметры	Значения параметров
$P_{\text{в}} = (K_z \cdot Q \cdot H / \eta_{\text{в}}) \cdot 10^{-3},$ кВт	$K_z$ – коэффициент запаса, относительные единицы	1,1–1,3
	$Q$ – максимальная производительность вентилятора, м <sup>3</sup> /с	По исходным данным проекта
	$H$ – аэродинамическое сопротивление (напор), Па	520–540
	$\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора, относительные единицы	0,7–0,75

У пассажирских вагонов расчетные нагрузки определяют для летнего и зимнего режимов. Для оптимизации расчетов применяются различные алгоритмы и программное обеспечение. Алгоритм определения расчетной

нагрузки для новой серии пассажирских вагонов разрабатывается в настоящее время авторами данной статьи.

Таким образом, расчет электрических нагрузок – один из важных этапов проектирования систем электроснабжения. Определение электрических нагрузок специализированных объектов (к примеру, железнодорожных пассажирских вагонов) имеет существенные особенности. В этом случае применяются специальные расчеты с использованием корреляционных коэффициентов.

### **Библиографический список**

1. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М.: ВНИИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992. URL: <http://www.technormativ.ru> (дата обращения: 02.11.2023).

2. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учеб. пособие. М.: КноРус, 2011. 368 с.

3. ГОСТ 34681-2020. Межгосударственный стандарт. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2020. 40 с.

4. Иванов Н.Л., Зыков Ю.В. Расчет и выбор энергетического оборудования пассажирских вагонов и вагоноремонтных предприятий: методические указания. Екатеринбург: УрГУПС, 2016. 67 с.

## **DETERMINATION OF ELECTRICAL LOAD OF POWER SYSTEMS**

**D.A. Syasin, A.S. Enin**

***Abstract.** The article is devoted to the features of determining electrical loads of energy systems. The main methods are described and analyzed. The definition of electrical loads of specialized objects is presented.*

***Keywords:** power supply systems, power systems, power supply systems, electrical loads.*

Об авторах:

СЯСИН Даниил Алексеевич – магистрант, Тверской государственный технический университет, Тверь. E-mail: [dsyasin@mail.ru](mailto:dsyasin@mail.ru)

ЕНИН Александр Семенович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Тверской государственный технический университет, Тверь. E-mail: [els113@yandex.ru](mailto:els113@yandex.ru)

About the authors:

SYASIN Daniil Alekseevich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: [dsyasin@mail.ru](mailto:dsyasin@mail.ru)

ENIN Alexander Semenovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electricity Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University. E-mail: [els113@yandex.ru](mailto:els113@yandex.ru)