

# **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ / ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛК – 2**

**Направление ООП:**

**Дорохина Екатерина Сергеевна  
доцент каф. ЭиАФУ**

### МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Расчет электрических нагрузок выполняется с целью правильного выбора сечений линий и распределительных устройств, коммутационных и защитных аппаратов, числа и мощности трансформаторов на разных уровнях системы электроснабжения.

**Цель расчета электрических нагрузок** – определение токов, протекающих по токоведущим элементам, для выяснения их допустимости по условиям нагрева элементов.

### МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

- метод упорядоченных диаграмм;
- по установленной мощности и коэффициенту спроса;
- по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок;
- по удельной нагрузке на единицу производственной площади;
- по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объеме выпуска продукции за определенный период.

## МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА СПРОСА

? Наиболее простой метод расчета, находит применение для предварительных расчетов общезаводских нагрузок, нагрузок узлов с высокими значениями числа электроприемников и/или их коэффициента использования.

? Порядок расчета:

$$P_{расч} = K_c \cdot P_{ном}; \quad Q_{расч} = P_{расч} \cdot \operatorname{tg}\varphi;$$

$$S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2} = \frac{P_{расч}}{\cos\varphi}.$$

Ки	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
Кс	0,50	0,60	0,65–0,70	0,75–0,80	0,85–0,90	0,92–0,95

? Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения (цеха, корпуса, предприятия):

$$S_{расч} = K_{р.м} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{расч\ i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{расч\ i}\right)^2},$$

где  $K_{р.м}$  – коэффициент разновременности максимумов нагрузок отдельных групп электроприемников, принимаемый по табличным данным;

$\left(\sum_{i=1}^n P_{расч\ i}\right)$ ,  $\left(\sum_{i=1}^n Q_{расч\ i}\right)$  расчетных активных и реактивных групп приемников

## МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ

- ? Рекомендуется для групп электроприемников с резкопеременной нагрузкой, колеблющейся с большой частотой. Расчетная нагрузка таких приемников близка к среднеквадратичной.
- ? Может применяться для определения нагрузок на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторных подстанций при равномерных графиках нагрузок.

? Соотношения:

$$P_{расч} = K_{\phi} \cdot P_{см}; \quad Q_{расч} = K'_{\phi} \cdot Q_{см} = P_{расч} \cdot \operatorname{tg}\varphi;$$

$$S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2},$$

где  $K_{\phi}$ ,  $K'_{\phi}$  коэффициент формы соответственно графика активной и реактивной нагрузки, характеризует неравномерность графика во времени, в случае затруднения расчета –

$$K_{\phi} = 1,0 \div 1,3.$$

## МЕТОД УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- ? Метод эффективен для производств с непрерывным технологическим процессом.
- ? Может быть использован для предварительных и поверочных расчетов, при технико-экономическом обосновании намеченных вариантов систем электроснабжения.
- ? Соотношения:

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

где  $M_{см}$  – выпуск за смену продукции;

$W_{а уд}$  – расход электроэнергии на единицу продукции;

$T_{см}$  – продолжительность смены.

? При известном удельном расходе  $W_{a \text{ уд}}$  в годовом объеме  $M$

$$P_{\text{расч}} = \frac{M \cdot W_{a \text{ уд}}}{T_m},$$

где  $T_m$  – число часов использования максимума нагрузки.

## МЕТОД УПОРЯДОЧЕННЫХ ДИАГРАММ

? Основной метод расчета электрических нагрузок. По нему определяются максимальные ( $P_m$ ,  $Q_m$ ,  $S_m$ ) расчетные нагрузки группы электроприемников (ЭП).

1. Выделяют 2 группы ЭП:

○ группа А – ЭП с переменным графиком нагрузок:

- коэффициент использования отдельного ЭП  $k_{и} < 0,6$ ,
- коэффициент включения ЭП  $k_{вкл} \neq 1$ ,
- коэффициент заполнения суточного графика за наиболее загруженную смену  $k_{зап} < 0,9$ ;

○ группа Б – ЭП с практически постоянным графиком нагрузок:

- $k_{и} \geq 0,6$ ,
- $k_{вкл} = 1$ ,
- $k_{зап} \geq 0,9$ .

2. Определяют максимальные расчетные нагрузки группы приемников:

о ЭП с переменным графиком нагрузки:

$$P_m = K_m \cdot P_{см}; \quad Q_m = K_m' \cdot Q_{см}; \quad S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2};$$

где  $P_m$ ,  $Q_m$ ,  $S_m$  – максимальные активная, реактивная и полная нагрузки;

$K_m$  – коэффициент максимума активной нагрузки (справочные данные);

$K_m'$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки:

$K_m' = 1,1$  при  $n_{эф} = 10$  и  $K_m' = 1$  при  $n_{эф} > 10$ ;

$P_{см}$ ,  $Q_{см}$  – средняя активная и реактивная мощности всей группы ЭП за наиболее загруженную смену:

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n P_{см i} = \sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{ном i}; \quad Q_{см} = \sum_{i=1}^n P_{см i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i,$$

где  $k_{и}$  – коэффициент использования отдельного ЭП (справочные данные);

$P_{ном}$  – номинальная мощность отдельного ЭП, приведенная к длительному режиму (резервные ЭП не учитываются);

$\text{tg}\phi$  – коэффициент реактивной мощности (справочные данные);

$K_m = f(K_{и}, n_{эф})$  – определяется по таблице или графикам, может быть оценен по соотношению:

$$K_m = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{эф}}} \sqrt{\frac{1 - K_{и}}{K_{и}}},$$

где  $n_{эф}$  – эффективное число электроприемников;

$K_{и}$  – средневзвешенный коэффициент использования группы ЭП:

$$K_{и} = \frac{P_{см}}{P_{ном}},$$

где  $P_{ном}$  – суммарная номинальная мощность ЭП всей группы.

$m$  – показатель силовой сборки в группе:

$$m = \frac{P_{см \max}}{P_{ном \min}},$$

где  $P_{ном \max}$ ,  $P_{ном \min}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности наибольшего и наименьшего ЭП в группе.

**? ЭП с практически постоянным графиком нагрузки:**

максимальная расчетная нагрузка принимается равной средней мощности за наиболее загруженную смену:

$$P_m = P_{см}; Q_m = Q_{см}.$$

## СВОДКА ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТОДОМ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДИАГРАММ

Фактическое число электроприемников в группе, $n$	$m = \frac{P_{НОМ \max}}{P_{НОМ \min}}$	$n_{эф}$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , кВАр
Три и менее	не определяется		$P_M = \sum_{i=1}^n P_{НОМ i}$	$Q_M = \sum_{i=1}^n P_{НОМ i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$
Более трех	$m \leq 3$ При определении исключаются ЭП, суммарная мощность которых не превышает 5% $\sum_{i=1}^n P_{НОМ}$ группы	$n_{эф} = n$	$P_M = K_M \cdot P_{см} =$ $= K_M \cdot \sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{НОМ i}$ ( $K_M$ определяется по таблице)	При $n_{эф} \leq 10$ $Q_M = 1,1 \cdot Q_{см};$ при $n_{эф} > 10$ $Q_M = Q_{см} =$ $= \sum_{i=1}^n P_{см i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$

## Метод упорядоченных диаграмм

Фактическое число электроприемников в группе, $n$	$m = \frac{P_{ном\ max}}{P_{ном\ min}}$	$n_{эф}$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , кВар
Более трех	$m > 3$ (точное определение не требуется)	$n_{эф} < 4$	$P_M = \sum_{i=1}^n \kappa_{загр\ i} \cdot P_{ном\ i}$ (допускается принимать $\kappa_{загр} = 0,9$ для ЭП длительного режима и $\kappa_{загр} = 0,75$ для ЭП ПКР)	$Q_M = 0,75 \cdot P_M$ (для ЭП длительного режима $\cos\varphi = 0,8$ ; $\operatorname{tg}\varphi = 0,75$ ); $Q_M = P_M$ (для ЭП ПКР $\cos\varphi = 0,7$ ; $\operatorname{tg}\varphi = 1$ )
	$m > 3$	$n_{эф} \geq 4$	$P_M = K_M \cdot P_{см}$ ( $K_M$ определяется по таблице)	При $n_{эф} \leq 10$ $Q_M = 1,1 \cdot Q_{см}$ ; при $n_{эф} > 10$ $Q_M = Q_{см} = \sum_{i=1}^n P_{см\ i} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i$
	$m > 3$	$n_{эф} > 200$	$P_M = P_{см} = \sum_{i=1}^n \kappa_{u\ i} \cdot P_{ном\ i}$	$Q_M = Q_{см}$

<p>Фактическое число электроприемников в группе, <math>n</math></p>	$m = \frac{P_{ном\ max}}{P_{ном\ min}}$	$n_{эф}$	$P_M, \text{ кВт}$	$Q_M, \text{ кВАр}$
<p>Если более 75% установленной мощности расчетного узла составляют ЭП с практически постоянным графиком нагрузки (<math>\kappa_{ui} \geq 0,6</math>, <math>\kappa_{вкл} \approx 1</math>, <math>\kappa_{заполн} &gt; 0,9</math> – насосы, компрессоры, вентиляторы)</p>		<p>не определяется</p>	$P_M = P_{см} = \sum_{i=1}^n \kappa_{ui} \cdot P_{ном\ i}$	$Q_M = Q_{см} = \sum_{i=1}^n P_{см\ i} \cdot \text{tg}\varphi_i$
<p>При наличии в расчетном узле ЭП с переменным и постоянным графиком нагрузки</p>	<p>Определяется только для ЭП с переменным графиком нагрузки</p>		$P_M = P_{M1} + P_{M2} = K_M \cdot P_{см1} + P_{см2}$	$Q_M = Q_{M1} + Q_{см2}$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ЧИСЛА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

**Эффективное число электроприемников** - такое число однородных по режиму работы приемников одинаковой мощности, которое обуславливает ту же величину расчетной нагрузки, что и группа фактических различных по номинальной мощности и режиму работы приемников.

$n_{эф} = f(n, m, K_{и}, P_{ном})$  может быть определено по соотношению:

$$n_{эф} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{ном i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном i}^2} = \frac{P_{ном}^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном i}^2}$$

## СПОСОБЫ УПРОЩЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЧИСЛА ЭП

1. Эффективное число приемников в группе считается равным фактическому числу ЭП при:

- фактическое число ЭП  $n_{эф} \geq 4$ ;
- показатель силовой сборки в группе  $m \leq 3$ ;
- средневзвешенный коэффициент использования  $K_i$  – любое значение.

При этом при определении  $n_{эф}$  исключаются те наименьшие ЭП группы, суммарная номинальная мощность которых не превышает 5% суммарной номинальной мощности всей группы  $P_{ном}$ . При этом число исключенных электроприемников учитывается также и в величине  $n$ .

2. При

- показатель силовой сборки в группе  $m > 3$ ;
- средневзвешенный коэффициент использования  $K_{и} \geq 0,2$ .

$$n_{эф} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{ном i}}{P_{ном max}}.$$

В тех случаях, когда найденное по этой формуле  $n_{эф}$  оказывается больше, чем  $n$  фактическое, следует принимать  $n_{эф} = n$ .

### 3. При

- ? показатель силовой сборки в группе  $m > 3$ ;
- ? средневзвешенный коэффициент использования  $K_{и} < 0,2$ .

эффективное число ЭП определяется с помощью кривых или таблиц по следующему порядку:

- ? определяется наибольший по номинальной мощности электроприемник рассматриваемой группы;
- ? определяются наиболее крупные электроприемники, номинальная мощность которых равна или больше половины мощности наибольшего электроприемника группы;
- ? определяются число  $n_1$  и суммарная номинальная мощность  $R_{ном1}$  наибольших ЭП группы;
- ? определяются число  $n$  и суммарная номинальная мощность  $R_{ном}$  всех приемников группы;

? находятся значения

$$n_* = n_1 / n \quad \text{и} \quad P_* = P_{\text{ном}1} / P_{\text{ном}}$$

? по кривым или по таблицам по найденным значениям  $n^*$  и  $P^*$  определяется величина  $n_{\text{эф}}^*$ .

? затем определяется

$$n_{\text{эф}} = n_{\text{эф}}^* \cdot n$$

## КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД

- ? Расчеты производятся от верхних уровней к нижним, по известной информации о технологии производства, запланированных объемах производства и его номенклатуре, используя информационную базу аналогичных заводов.
- ? Предусматривает одновременное применение нескольких способов расчета максимальной нагрузки  $P_m$  по следующим параметрам:
- энергоемкости продукции  $\mathcal{E}$  на УРБ.
- Энергоемкость  $\mathcal{E}$  — количество энергии, планируемое или расходуемое предприятием на выпуск единицы продукции.

?

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot M_i}{T_m}$$

где  $\varepsilon_i$ ,  $M_i$  – энергоемкость и объем технологической продукции  $i$ -го вида;

$T_m$  – годовое число часов использования максимума нагрузки (принимается по основным показателям завода-аналога).

- общегодовому энергопотреблению  $A$  на УР6, УР5, УР4.

$$P_m = \frac{K_m \cdot A}{T_\Gamma} = K_m \cdot P_{ср\Gamma},$$

где  $K_m$  – среднегодовой коэффициент максимума;

$A$  – общегодовое энергопотребление;

$P_{ср\Gamma}$  – среднегодовая мощность;

$T_\Gamma = 8760$  – число часов в году.

- среднегодовому коэффициенту спроса УР6-УР2.

$$P_m = K_c P_{уст},$$

где  $P_{уст}$  – сумма установленных мощностей.

- удельным мощностям нагрузок на УР6-УР2.

$$P_m = \gamma \cdot F,$$

где  $\gamma$  – удельная мощность (плотность) нагрузки;

$F$  – площадь предприятия, района, цеха.

Расчет электрических нагрузок для УР1 не производится. Выбор коммутационной аппаратуры и проводников для этого уровня осуществляется по номинальной мощности отдельных электроприемников или сумме их номинальных мощностей.

## РАСЧЕТ ОДНОФАЗНЫХ НАГРУЗОК

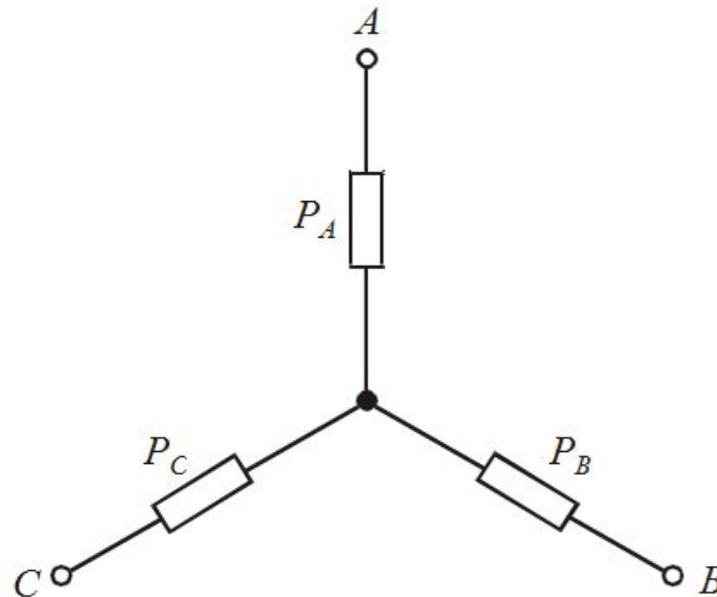
- **Определение наиболее нагруженной фазы и степени неравномерности распределения нагрузки.**
- Включение однофазных ЭП на фазное напряжение нагрузка каждой фазы определяется суммой всех подключенных нагрузок на эту фазу.

○

$$P_A = \sum_{i=0}^n P_{Ai}$$

$$P_B = \sum_{j=0}^m P_{Bj}$$

$$P_C = \sum_{k=0}^l P_{Ck}$$

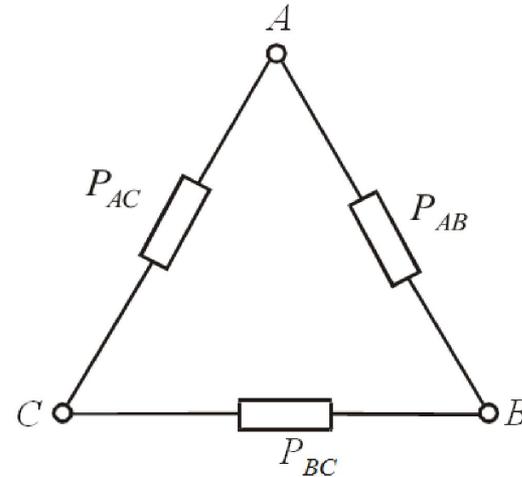


- Включение однофазных ЭП на линейное напряжение нагрузка отдельных фаз определяется как полусумма нагрузок двух плеч, прилегающих к данной фазе.

$$P_A = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2}$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}$$

$$P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2}$$



- Степень неравномерности распределения нагрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{ф.нб} + P_{ф.нм}}{P_{ф.нм}} \cdot 100\%$$

где  $P_{ф.нб}$ ,  $P_{ф.нм}$  – мощность наиболее и наименее загруженной фазы.

- **Приведение однофазных нагрузок к условной трехфазной мощности.**
- При  $N \leq 15\%$  расчет ведется как для трехфазных нагрузок (сумма всех однофазных нагрузок).
- При  $N < 15\%$ , то расчетная нагрузка определяется по рекомендациям.

□ При числе однофазных приемников *до трех*:

- Условная трехфазная номинальная мощность  $P_{\text{усл}}^{(3)}$ :

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = 3 \cdot P_{\text{ф.нб}}^{(1)}$$

где  $P_{\text{ф.нб}}^{(1)}$  - мощность наиболее нагруженной фазы.

- При включении электроприемников на фазное напряжение:

$$P_{\text{усл}}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot P_{\text{ф.нб}}^{(1)} \text{ - один электроприемник;}$$

и  $P_{\text{усл}}^{(3)} = 2 \cdot P_{\text{ф.нб}}^{(1)}$  - два электроприемника

- Расчетная нагрузка однофазных ЭП, включенных на фазное или линейное напряжение при числе их более трех при одинаковом коэффициенте использования и  $\cos\phi$ :

$$P_{расч} = 3K_m \cdot K_u \cdot P_{ф.нб}^{(1)}$$

При этом  $n_{эф}$  для  $Q_{расч} = 3K_u \cdot Q_{ф.нб}^{(1)}$  — числа максимума для однофазных источников определяется следующим выражением:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ном i.o}}{3 P_{ном o.max}}$$

где  $\sum_{i=1}^n P_{ном i.o}$  — сумма номинальных мощностей однофазных ЭП четного узла;

$P_{ном o.max}$  — номинальная мощность наибольшего однофазного ЭП.

- При числе однофазных ЭП с различными коэффициентами использования и  $\cos\phi$  более 3 и при включении их на фазные и линейные напряжения они распределены по фазам по возможности равномерно, то расчет ведется через средние нагрузки за наиболее загруженную смену по каждой фазе.

Общая средняя нагрузка отдельных фаз определяется суммированием средних однофазных нагрузок данной фазы (фаза – нуль) и однофазных нагрузок, включенных на линейное напряжение, с соответствующим приведением последних к нагрузкам одной фазы и фазному напряжению с использованием коэффициентов приведения.

? Например для фазы А:

$$\begin{cases} P_{см(A)} = k_u P_{AB} P_{(AB)A} + k'_u P_{CA} P_{(AC)A} + k''_u P_{AO} \\ Q_{см(A)} = k_u P_{AB} q_{(AB)A} + k'_u P_{CA} q_{(AC)A} + k''_u Q_{AO} \end{cases}$$

где  $P_{AB}, P_{AC}$  – нагрузки, присоединенные на линейное напряжение соответственно между фазами АВ и АС;

$P_{AO}, Q_{AO}$  – нагрузки, присоединенные между фазой А и нулевым проводом;

$P_{(AB)A}, P_{(AC)A}, q_{(AB)A}, q_{(AC)A}$  – коэффициенты приведения нагрузок, включенных на линейное напряжение АВ и АС к фазе А;

Коэффициенты приведения	Коэффициенты мощности нагрузки								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1
$p_{(AB)A}, p_{(BC)B}, p_{(AC)C}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$p_{(AB)B}, p_{(BC)C}, p_{(AC)A}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5
$q_{(AB)A}, q_{(BC)B}, q_{(AC)C}$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,3	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$q_{(AB)B}, q_{(BC)C}, q_{(AC)A}$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,88	0,8	0,67	0,53	0,29

$k_u, k'_u, k''_u$  – коэффициенты использования по активной мощности однофазных приемников различного режима работы.

- ? Находится наиболее загруженная фаза по активной мощности, например, и эквивалентная трехфазная нагрузка сети от однофазных электроприемников:

$$P_{см} = 3P_{см(С)}; \quad Q_{см} = 3Q_{см(С)}.$$

- ? Средневзвешенное значение коэффициента использования определяется для этой же наиболее загруженной фазы:

$$K_u = \frac{P_{см(С)}}{(P_{ВС} + P_{АС}) \cdot 2 + P_{С0}},$$

- ? Расчетная нагрузка приемников:

$$P_{расч} = K_m \cdot 3P_{см(С)}; \quad Q_{расч} = K'_m \cdot 3Q_{см(С)}; \quad S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2}.$$

## ПИКОВЫЕ НАГРУЗКИ

**Пиковая нагрузка** — это максимальная нагрузка длительностью 1-2 с.

По ней проверяют колебания напряжения, выбирают уставки защиты, плавкие вставки предохранителей.

? Пиковый ток  $I_{пик}$  группы электроприемников, работающих при отстающем токе, определяется:

$$I_{пик} = I_{пуск\ max} + \left( I_{расч} - K_u I_{ном\ max} \right),$$

где  $I_{пуск\ max}$  — наибольший из пусковых токов электроприемника в группе по паспортным данным;

$I_{расч}$  — расчетный ток нагрузки группы ЭП;

$I_{ном\ max}$  — номинальный (приведенный к ПВ=100%) ток ЭП с наибольшим пусковым током;

$K_u$  — коэффициент использования электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток.

При подключении к электрической сети группы из двух-пяти электроприемников за пиковый ток принимается:

$$I_{\text{тик}} = I_{\text{пуск max}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{ном } i}$$

рный номинальный ток группы электроприемников без учета номинального тока электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток.

В качестве наибольшего пикового тока одного ЭП принимается:

- ? для электродвигателей – пусковой ток,
- ? для печных и сварочных трансформаторов – пиковый ток по паспортным данным;
- ? электрические печи сопротивления и осветительные установки с лампами накаливания – совпадают с расчетными.