

Министерство образования Российской Федерации

Тульский государственный университет

**КАФЕДРА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**ВНУТРИЗАВОДСКОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для студентов очного обучения специальности 181300

Тула 2002г.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящих методических указаниях приводятся описания 7 лабораторных работ, на базе которых организуются лабораторные занятия в рамках программы дисциплины «Внутризаводское электроснабжение». Указания разработаны к.т.н., доцентом кафедры ЭиЭО В.С. Илюшиным, они предназначены для студентов очного обучения специальности 181300, изучающих указанный курс. В указаниях приводятся ссылки на следующие литературные источники:

1. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М., Энергоатомиздат, 1984, -472с.
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Том 1. Электроснабжение. Под ред. Федорова А.А. М., Энергоатомиздат, 1986. 568с.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Том 2. Электрооборудование. Под ред. Федорова А.А. М., Энергоатомиздат, 1986. 596с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М., Энергоатомиздат, 1995. 413с.

## Лабораторная работа №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

В данной лабораторной работе исследуется влияние отклонения питающего напряжения на критический момент на валу, суммарные потери мощности, на скольжение и коэффициент мощности асинхронного двигателя при различных нагрузках.

#### 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

Отклонение напряжения от номинального значения является одним из основных показателей качества электроэнергии и представляет собой отношение разности между действительным и номинальным значениями напряжения к его номинальному действующему значению, выраженному в процентах:

$$V = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

В соответствии ГОСТ для электродвигателей и аппаратов допускаются отклонения напряжения в пределах  $-5\%+10\%$ . В симметричных режимах питающих напряжений отклонение напряжения и его влияние может быть рассчитано по показаниям вольтметров. В общем случае необходим целый комплекс измерительных приборов.

В данной работе изучается влияние отклонений напряжения на критический момент  $M_{\text{кр}}$ , суммарные потери мощности  $\Delta P_{\Sigma}$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и частоту вращения ротора при различных нагрузках трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Рассмотрим суммарные потери асинхронного двигателя:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{доб}}, \quad (2)$$

где  $\Delta P_1 + \Delta P_2$  – потери в статоре и роторе;

$\Delta P_{\text{ст}}$  – потери в стали;

$\Delta P_{\text{мех}}$  – механические потери (часто принимают  $\Delta P_{\text{мех}} = 0,01 P_{\text{ном}}$ );

$\Delta P_{\text{доб}}$  – так называемые добавочные потери (обычно принимают  $\Delta P_{\text{доб}} = 0,005 P_{\text{ном}}$ ).

Потери мощности в статоре:

$$\Delta P_1 = 3I_1^2 R_1, \quad (3)$$

где  $I_1$  – измеренный ток в фазе статора;  $R_1$  – сопротивление фазы статора.  
Потери в обмотке ротора:

$$\Delta P_2 = 3(I'_2)^2 R'_2, \quad (4)$$

где  $I'_2$  – приведенный ток ротора;  $R'_2$  – приведенное сопротивление ротора.  
Параметры  $I'_1$  и  $I'_2$  рассчитываются по формулам:

$$I'_2 = I'_{2\text{НОМ}} \left[ K_3 \frac{\lambda_{\text{НОМ}} + \sqrt{\lambda_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{\lambda_{\text{НОМ}} K_H^2}{K_3} \sqrt{\frac{(\lambda_{\text{НОМ}} K_H)}{K_3^2} - 1}} \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (5)$$

$$I'_{2\text{НОМ}} = \left[ \frac{2\lambda_{\text{НОМ}}}{\lambda_{\text{НОМ}} + \sqrt{\lambda_{\text{НОМ}}^2 - 1}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}; \quad (6)$$

$$R'_2 = \frac{U_{\text{НОМ}}^2 (1 - S_{\text{НОМ}})}{2(P_{\text{НОМ}} + \Delta P_{\text{мех}}) \lambda_{\text{НОМ}} \left[ 1 + \frac{1}{S_{\text{НОМ}} (\lambda_{\text{НОМ}} + \sqrt{\lambda_{\text{НОМ}}^2 - 1})} \right]}; \quad (7)$$

где  $K_H = \frac{U}{U_{\text{НОМ}}}$  - кратность питающего напряжения;

$K_3 = \frac{M}{M_{\text{НОМ}}}$  - коэффициент загрузки;

$\lambda_{\text{НОМ}} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{M_{\text{макс}}} = 2$  - кратность номинального момента;

$S_{\text{НОМ}} = \frac{\omega_c - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_c}$  - номинальное скольжение;

$\omega_c = \frac{2\pi f}{p}$ ;  $p = 2$  (число пар полюсов двигателя).

Номинальный коэффициент мощности определяется по формуле:

$$\cos \varphi_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{НОМ}}}$$

Потери в стали определяют по данным холостого хода двигателя:

$$\Delta P_{\text{ст}} = P_0 - (\Delta P_{10} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{об}}),$$

здесь  $P_0$  – мощность при холостом ходе;

$\Delta P_{10} = 3I_{10}^2 R_1$  - электрические потери в статоре при холостом ходе.

### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

В данной работе исследуется трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Полное описание лабораторного стенда приведено в методических указаниях к лабораторным работам по разделу «Электрические машины» курса «Электротехника и основы электроники» (работы №№2,3). Отклонения питающего напряжения имитируется путем изменения магнитной связи обмоток индукционного регулятора ИР при вращении штурвала.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

4.1. Изучить программу работы. Необходимо учесть, что при выполнении данной работы используются результаты, полученные при выполнении лабораторных работ №№2,3 курса «Электрические машины» (данные о потерях в двигателе, его паспортные данные, характеристики холостого хода и рабочие характеристики).

4.2. Изучить соответствующие разделы курса лекций и материалы, указанные в списке литературы.

4.3. Подготовить протокол испытаний к работе №1.

### 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

#### Экспериментальная часть.

5.1. Собрать схему для исследования двигателя в режиме нагрузки. Используя индукционный регулятор, произвести пуск двигателя, далее увеличить напряжение до номинального значения. С помощью выключателей лампового реостата установить режим нагрузки, близкий к номинальному ( $U_1=U_{1ном}$ ;  $I_1=I_{1ном}$ ;  $n=n_{ном}$ ).

5.2. Поднять напряжение статора до 240 В и далее, снижая напряжение, произвести замеры величин  $I_1$ ,  $P_1$ ,  $n$  через каждые 20 В до  $U_1 \leq 100$  В. Результаты записать в таблицу 2 протокола испытаний.

5.3. Повторить опыты, аналогичные п. 5.2., установив частичную нагрузку двигателя при значениях тока статора, близких к  $I_1=0,8 I_{1ном}$  и  $I_1=0,5 I_{1ном}$  (при  $U_1=U_{1ном}=220$  В).

#### Расчетная часть.

5.4. Используя данные по характеристикам холостого хода и рабочим характеристикам двигателя, а также формулы (1-7), произвести соответствующие расчеты для определения суммарных потерь  $\Delta P_\Sigma$  и коэффициента мощности  $\cos\varphi$ .

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать паспортные данные двигателя, таблицу с результатами опытов и расчетов, а также графические зависимости  $n(U_1)$ ,  $\Delta P_\Sigma(U_1)$  и  $\cos\varphi(U_1)$  снятые для трех нагрузочных режимов. Зависимости одного типа строятся в одной системе координат.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

7.1. Что называют фактическим напряжением в сетях промышленного назначения?

7.2. Укажите возможные последствия отклонения напряжения от номинального значения.

7.3. Укажите допустимые пределы отклонения напряжения для электродвигателей, электрических аппаратов.

7.4. Какие меры принимаются для поддержания напряжения в допустимых пределах?

7.5. Что называют колебаниями напряжения в промышленных сетях?

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

8.1. Л. [1], стр. 197-202.

8.2. Л. [4], стр. 111-120.

8.3. Л. [3], стр. 51-76.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Протокол испытаний к лабораторной работе №1.

"Исследования влияния отклонений напряжения на энергетические показатели асинхронного двигателя".

Таблица 1. Паспортные данные двигателя.

Тип	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$U_{\text{ном}}$ , В	$I_{\text{ном}}$ , А	$n_{\text{ном}}$ , мин <sup>-1</sup>	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$R_1$ , Ом.

Таблица 2. Результаты опытов.

$K_3$	№	Измеряется				Рассчитывается	
		$U_1$ , В	$I_1$ , А	$P$ , Вт	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\Delta P_{\Sigma}$ , Вт	$\cos\varphi$
1,0	1	240					
	2	220					
	...	...					
6	100						
0,8	1	240					
	2	220					
	...	...					
6	100						
0,5	1	240					
	2	220					
	...	...					
6	100						

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №2

### СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Приобретение навыков по составлению графиков нагрузок электрооборудования на основе отчетных данных. Определение обобщенных показателей графиков нагрузок.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

Графиками нагрузки называют совокупность зависимостей активных, реактивных мощностей и токов электрооборудования от времени. Эти графики подразделяют на индивидуальные ( $p(t)$ ,  $q(t)$ ,  $i(t)$ ) для отдельных приемников электроэнергии и групповые ( $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $I(t)$ ) для группы приемников. Групповые графики нагрузок являются основой для проектирования систем электроснабжения. Графики различаются как по времени, в течение которого они определяются, как и по виду потребителей. Они характеризуются средними, среднеквадратическими и максимальными значениями соответствующих величин мощностей и токов. На практике графики составляются на основе записей показаний электросчетчиков активной и реактивной энергии, а также других измерительных приборов (рис. 2.1).

Общая величина  $t_n$  (длительность цикла нагрузки) соответствует одно-, двух- или трехсменной (суточной) работе оборудования ( $t_n=8; 16; 24$  час).

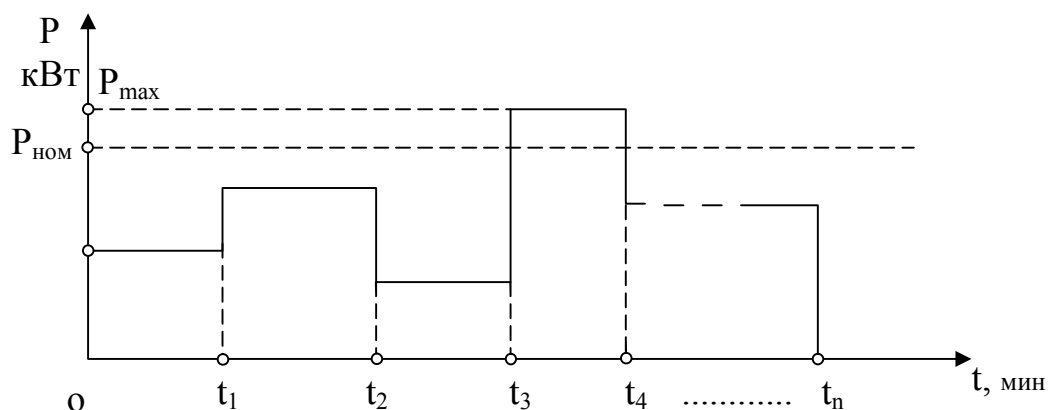


Рис. 2.1. Групповой график нагрузки по активной мощности

Важными обобщенными показателями графиков нагрузок являются среднее, среднеквадратическое и максимальные нагрузки. Например, для нагрузки по активной мощности



$$p_{cp} = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} p_k (t_k - t_{k-1})}{t_n}; \quad (2.1)$$

$$p_{ck} = \sqrt{\frac{1}{t_n} \sum_{k=1}^{k=n} p_k^2 (t_k - t_{k-1})}; \quad (2.2)$$

для одного приемника и, соответственно

$$P_{cp} = \frac{1}{t_n} \sum_{k=1}^{k=n} P_k (t_k - t_{k-1}); \quad (2.3)$$

$$P_{ck} = \sqrt{\frac{1}{t_n} \sum_{k=1}^{k=n} P_k^2 (t_k - t_{k-1})} \quad (2.4)$$

для группы приемников.

Показатели для других нагрузок ( $q_{cp}$ ,  $q_{ck}$ ,  $Q_{cp}$ , ...  $i_{cp}$  и т. д.) определяются аналогично. Максимальные значения берутся непосредственно из графиков.

При расчетах конкретных нагрузок используются безразмерные коэффициенты, определяемые по индивидуальным и групповым графикам нагрузок по активной мощности:

- коэффициенты использования активной мощности:

$$k_n = \frac{p_{cp}}{p_{ном}}; \quad K_n = \frac{P_{cp}}{P_{ном}}; \quad (2.5)$$

- коэффициенты формы графика:

$$k_n = \frac{p_{cp}}{p_{ном}}; \quad K_n = \frac{P_{cp}}{P_{ном}}; \quad (2.6)$$

- коэффициент максимума активной мощности (групповая величина):

$$K_m \approx 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_n}} \sqrt{\frac{1 - K_n}{K_n}}, \quad (2.7)$$

более точно его величина определяется при известных  $n_n$  и  $K_n$  по [2], табл. 3.2 ( $n_n$ - число приемников).

Используемые в формулах (2.5-2.6) номинальные величины  $p_{ном}$  и  $P_{ном}$  определяют путем приведения паспортных мощностей к длительному режиму работы (ПВ=1):

$$p_{ном} = p_{пасп} \sqrt{ПВ}; \quad (2.8)$$

$$P_{ном} = \sum_{k=1}^{k=n_n} P_{ном\ k},$$

где ПВ – продолжительность включения:

$$ПВ = \frac{t_b}{t_b + t_n},$$

здесь  $t_b$  – время, в течении которого приемник подключен к сети;  $t_n$  – продолжительность паузы, очевидно, что  $t_b = t_n$ . Аналогично определяются величины  $q_{ном}$  и  $Q_{ном}$ .

### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

В данной работе объектом исследования является группа асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Индивидуальный график нагрузки каждого двигателя определяется на основе показаний приборов лабораторного стенда при ступенчатом изменении нагрузки двигателя. Одновременно осуществляется хронометраж режима нагрузки. С целью экономии времени и электроэнергии величина интервалов графика  $t_i$ , ( $i=1,2,...n$ ) может быть приведена к другим более длительным циклам нагрузки введением масштабного коэффициента  $k_t$ :

$$t'_i = k_t \cdot t_i; \quad k_t \geq 1$$

Например, для односменной работы  $k_t = \frac{480}{t_{n[мин]}}$ .

Величины  $n$  (число интервалов) и  $k_t$  задаются преподавателем.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

4.1. Изучить соответствующие разделы конспекта лекций и учебной литературы (см. п. 8).

4.2. Подготовить протокол испытаний к данной работе (см. п. 9).

4.3. Ознакомиться с программой работы, записать результаты эксперимента.

### 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

Экспериментальная часть.

5.1. Составить план проведения эксперимента. Выбрать вид графика нагрузки.

5.2. Реализовать режим нагрузки асинхронного двигателя при номинальном питающем напряжении. При ступенчатом изменении нагрузки (включая режим холостого хода) в соответствии с выбранным графиком снять зависимости  $p(t)$  и  $i(t)$ , используя показания приборов стенда и данные хронометража. Результаты записать в таблицу 1 протокола испытаний.

Расчетная часть.

5.3. Используя известные рабочие характеристики двигателя, определить зависимость  $q_i(t)$ , поскольку

$$q_i(t) = p_i(t) \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

результат также записать в таблицу 1.

5.4. Построить индивидуальные графики нагрузки  $p(t)$ ,  $q(t)$  и  $i(t)$  исследуемого двигателя (в одной системе координат).

5.5 Вычислить обобщенные показатели индивидуальных графиков нагрузок  $p_{ср}$ ,  $p_{ск}$ ,  $p_{max}$ ,  $q_{ср}$ ,  $q_{ск}$ ,  $q_{max}$ ,  $i_{ср}$ ,  $i_{ск}$  и  $i_{max}$ , а также коэффициенты  $k_n$  и  $k_0$ ; записать их в таблицу 2 протокола.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, протокол испытаний с таблицами данных экспериментов расчетов, а также кривые графиков индивидуальных нагрузок и краткие выводы.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

7.1. Дайте определение графика начальной нагрузки.

7.2. Почему необходимо приводить номинальные величины к  $PВ=1$ ?

7.3. Как по графику нагрузки определяется средняя величина?

7.4. Как определяется групповой коэффициент использования активной мощности?

7.5. Как определяется масштабный коэффициент для приведения графика нагрузки к двухсменной работе электрооборудования?

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

8.1. [1], с. 25-29

8.2. [2], с. 35-38.

## 9. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2

Таблица 1. Индивидуальные графики нагрузок

№ интервала	1	2	.....	n
$t_i$ , мин				
$p$ , Вт				
$I$ , А				
$Q$ , вар				

Таблица 2. Обобщенные показатели графиков нагрузок

№ п.п.	1	2	3	4	5
Обозначение	$p_{cp}$ , Вт	$p_{ск}$ , Вт	$p_{max}$ , Вт	$q_{cp}$ , вар	$q_{ск}$ , вар
Величина показателя					

Таблица 2. (продолжение)

6	7	8	9	10	11
$q_{max}$ , вар	$i_{cp}$ , А	$i_{ск}$ , А	$i_{max}$ , А	$k_n$	$K_0$

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №3.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК ГРУППЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Получение навыков по составлению групповых графиков нагрузок электрооборудования на основе индивидуальных графиков. Определение обобщенных показателей групповых графиков, а на их основе – средних и расчетных нагрузок группы электрооборудования.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

Групповые графики нагрузок обычно получают путем простого объединения результатов исследования индивидуальных графиков отдельных приемников энергии в группе:

$$P = \sum p_i; \quad Q = \sum q_i; \quad I = \sum i_i \quad (i = 1, 2 \dots n_n).$$

Средние мощности (активную и реактивную) группы определяют как алгебраические суммы средних мощностей отдельных приемников:

$$P_{cp} = \sum p_{cpi}; \quad Q_{cp} = \sum q_{cpi}; \quad (i = 1, 2 \dots n_n).$$

а другие обобщенные показатели группы ( $P_{ск}, Q_{ск}, P_{max}, \dots K_0$ ) определяют по групповым графикам нагрузок (формулы 2.2-2.7).

При расчетах конкретных нагрузок систем электроснабжения, расходов энергии и потерь в питающей сети используют Уточненные средние нагрузки (средние нагрузки за наиболее загруженную смену)  $P_{cp м}, Q_{cp м}$ , они определяются умножением суммарной номинальной мощности группы (приведенный к ПВ=1, формула 2.8) на групповой коэффициент использования:

$$\begin{aligned} P_{cp м} &= P_{ном} \cdot K_n; \\ Q_{cp м} &= P_{cp м} \cdot \operatorname{tg}\varphi = P_{ном} \cdot K_n \cdot \operatorname{tg}\varphi. \end{aligned} \quad (3.1)$$

После определения обобщенных показателей группового графика нагрузки переходят к самому важному этапу проектирования системы электроснабжения – определению расчетных (т.е. ожидаемых) нагрузок. Наибольшее распространение получили два метода определения этих нагрузок:

Метод 1. Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки.

Метод 2. Определение расчетной мощности по средней мощности и коэффициенту максимума. (метод упорядоченных диаграмм).

По первому методу расчетную нагрузку принимают равной среднеквадратической, при этом

$$\left. \begin{aligned} P_p &= K_0 \cdot P_{\text{срм}}; \\ Q_p &= K_0 \cdot Q_{\text{срм}} = p \cdot \operatorname{tg}\varphi; \\ S_p &= \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

При использовании второго метода

$$\left. \begin{aligned} P_p &= K_m \cdot P_{\text{срм}}; \\ Q_p &= 1,1 \cdot Q_{\text{срм}}, \text{ если } n_n < 10, \\ \text{и } Q_p &= Q_{\text{срм}}, \text{ если } n_n \geq 10 \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

В качестве исследуемого объекта в данной работе можно использовать как группу асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, двигателей с фазным ротором или трехфазных трансформаторов (в однофазном или трехфазном режимах) при  $n_n=4$  (вид приемников задается преподавателем). Исходными данными являются индивидуальные графики нагрузок, они могут быть составлены по данным режимов нагрузки указанных приемников.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

- 4.1. Изучить составляющие разделы курса лекций и учебной литературы.
- 4.2. Ознакомиться с программой работы.
- 4.3. Подготовить протокол испытаний к работе.

### 5. Программа работы.

- 5.1. Подготовить индивидуальные графики нагрузок для заданной группы электрооборудования. Составить план реализации программы.
- 5.2. По данным п. 5.1. сформулировать групповые графики нагрузок  $P(t)$ ,  $Q(t)$  и  $I(t)$ . Определить число интервалов и записать результат в таблицу 1 протокола.
- 5.3. Построить зависимости  $P(t)$ ,  $Q(t)$  и  $I(t)$  в одной системе (или в независимых системах) координат.
- 5.4. Определить обобщенные показатели графиков  $P_{\text{ср}}$ ,  $P_{\text{ск}}$ , ...  $I_{\text{ср}}$ , ...  $K$  и  $K_0$  и  $K_m$ , записать их в таблицу 2 протокола.
- 5.5. Определить средние нагрузки  $P_{\text{срм}}$ ,  $Q_{\text{срм}}$  и расчетные нагрузки  $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S'_p$  группы электрооборудования (двумя методами). Результаты записать в таблицу 3 протокола

испытаний. Сравнить расчетные нагрузки, полученные разными методами.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, паспортные данные группы оборудования, протокол испытания с таблицами полученных данных, кривые групповых графиков нагрузок  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $I(t)$  и краткие выводы.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 7.1. Чем отличается групповой график нагрузки от индивидуальных графиков?
- 7.2. Как определить среднюю нагрузку группы оборудования за наиболее загруженную смену?
- 7.3. Можно ли получить среднеквадратическую нагрузку группы суммированием индивидуальных среднеквадратических нагрузок?
- 7.4. Что понимается под расчетной нагрузкой?
- 7.5. Можно ли выполнить программу работы аналогичным путем, используя нагрузочные характеристики отдельных приемников?

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

- 8.1. [1], с. 2-33.
- 8.2. [2], с. 37-45.
- 8.3. [4], с. 62-80.

## 9. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3.

Паспортные данные оборудования:

Таблица 1. Групповые графики нагрузок.

№ интервала	1	2	.....	$t_n$
$t_i$ , мин				
$P$ , Вт				
$Q$ , вар				
$I$ , А				

Таблица 2. Обобщенные показатели графиков нагрузок.

№ п.п.	1	2	3	4	5
Обозначение	$p_{cp}$ , Вт	$p_{ск}$ , Вт	$p_{max}$ , Вт	$Q_{cp}$ , вар	$Q_{ск}$ , вар
Величина показателя					

Таблица 2. (продолжение)

6	7	8	9	10	11	12
$Q_{max}$ , вар	$I_{cp}$ , А	$I_{ск}$ , А	$I_{max}$ , А	$K_n$	$K_0$	$K_M$

Таблица 3. Средние и расчетные нагрузки

Метод	-		1			2		
Обозначения нагрузки	$P_{cp}$ , Вт	$Q_{cp}$ , вар	$P_p$ , Вт	$Q_p$ , вар	$S_p$ , ВА	$P_p$ , Вт	$Q_p$ , вар	$S_p$ , ВА
Величина нагрузки								

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_



## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЛАБОРАТОРНЫМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Определение потерь и расхода электроэнергии на различных ступенях системы электроснабжения за заданный интервал времени.

### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

Для определения расхода электроэнергии на практике устанавливают счетчики активной и реактивной энергии в точках балансового раздела. Различают коммерческий и технический учеты расхода энергии. Обычно счетчики коммерческого расхода устанавливают на вводе системы электроснабжения (СЭС) – на шинах ВН питающих силовых трансформаторов, а счетчик технического учета – в линиях питающих отдельные потребители или группы потребителей.

Расход и потери электроэнергии можно определить также и расчетным путем с использованием графиков нагрузок, текущих показаний измерительных приборов (амперметров, вольтметров и ваттметров) и паспортных данных электрооборудования. Таким путем расход электроэнергии может быть определен (на различных ступенях электроснабжения) в результате обработки соответствующих графиков нагрузок, определенных в течение заданного времени (рис. 4.1).

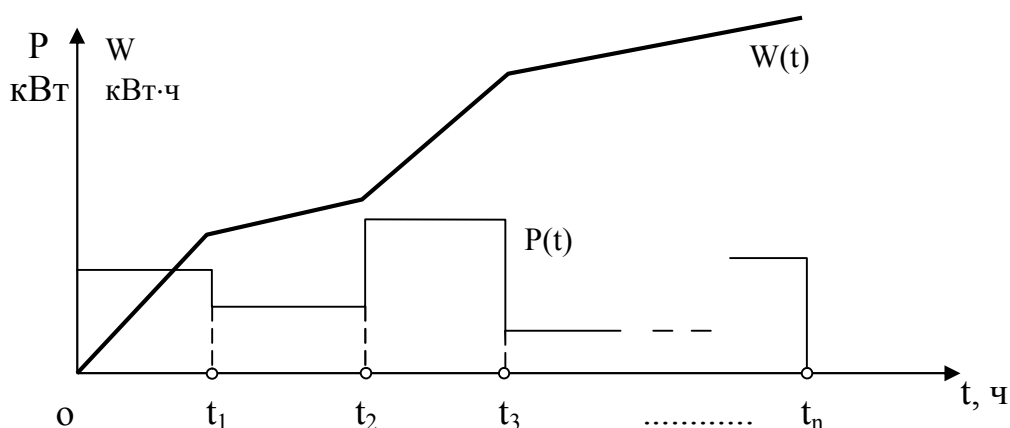


Рис. 4.1. График активной нагрузки  $P(t)$  и расхода электроэнергии  $W(t)$  группы приемников.

Фактически расход электроэнергии определяется площадью под кривыми соответствующих (индивидуальных  $p(t)$  и групповых  $P(t)$ ) графиков нагрузок по активной мощности:

$$w(t) = \int_0^t p(t)dt; \quad W(t) = \int_0^t P(t)dt.$$

На практике для определения расхода применяют методы графического интегрирования кривых  $p(t)$  и  $P(t)$ , в основу кладутся реально снятые графики индивидуальных нагрузок  $p(t)$  и  $i(t)$ . В частном случае при ступенчатом изменении нагрузки (рис. 4.1) расход за указанный период составит

$$\left. \begin{aligned} w(t_n) &= \sum_{k=1}^{k=n} p_k (t_k - t_{k-1}); \\ W(t_n) &= \sum w_i(t_n), \quad i=1,2,\dots,n. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Формулы (4.1) определяют технический учет электроэнергии (на низшей ступени электроснабжения) без учета потери в самой системе.

Потери энергии в линии (неразветвленной, с нагрузкой на конце):

$$\Delta w_{\wedge}(t_n) = 3k_0^2 i_{cp}^2 R_{\wedge} \cdot t_n, \quad (4.2)$$

где  $k_0 = \frac{i_{ck}}{i_{cp}}$ ;  $i_{ck}$ ,  $i_{cp}$  – показатели индивидуального графика  $i(t)$ ;  $t_n$  – продолжительность энергопотребления;  $R_{\wedge}$  – эквивалентное сопротивление, в данном случае

$$R_{\wedge} = r_0 \cdot \ell. \quad (4.3)$$

В формуле (4.3) использованы активное сопротивление  $1m$  линии, а  $\ell$  – длина линии.

Для перехода на более высокие ступени системы электроснабжения необходимо учитывать потери энергии в промежуточных устройствах (таких, как автотрансформаторы, индукционные регуляторы и силовые питающие трансформаторы участков и цехов). Точное определение этих потерь весьма затруднительно [2]. Ориентировочные их оценки определяют с использованием средней полной мощности на выходе соответствующих устройств. Так, потери мощности в индукционном регуляторе оценивают как  $\Delta P_{ip} \approx 0,05 S_{ip}$  соответственно потери энергии

$$\Delta w_{ip} = \Delta p_{ip} t_n, \quad (4.4)$$

$$S_{ip} = \frac{P_{ip}}{\cos \varphi_{cp}} = \sqrt{3} i_{cp} U_{ip}, \quad (4.5)$$

здесь  $S_{ip}$ ,  $P_{ip}$  – средние величины на регулируемой стороне, в частности

$$P_{ip} = p_{cp} + \Delta p_{\wedge 1},$$

где  $\Delta p_{\wedge 1}$  – потери в линии низшей ступени (регулятор-двигатель).

Потери мощности и энергии в силовом трансформаторе:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_T &\approx 0,02 S_T'; \\ \Delta W_T &= \Delta P_T \cdot t_n, \\ \text{где } S_T &= \sqrt{P_{cpr}^2 + Q_{cpr}^2}; \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

в последнем выражении все величины мощностей относятся к стороне НН трансформатора, например

$$P_{\text{срт}} = P_{\text{ир}} + \Delta P_{\text{ир}} + \Delta P_{\wedge 2};$$

$$\Delta P_{\wedge 2} = \sum \Delta p_{\wedge 2i}, \quad (i = 1, 2 \dots n_{\text{п}}) \quad -$$

- потери мощности в линиях более высокой ступени (регулятор – силовой трансформатор), остальные параметры определяются аналогичным образом.

Наконец, активная мощность на стороне ВН трансформатора и расход энергии (последняя, высшая ступень, коммерческий учет) определяется так:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{ком}} &= P_{\text{срт}} + \Delta P_{\text{т}} \\ W_{\text{ком}} &= P_{\text{ком}} \cdot t_{\text{п}} \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

В рассматриваемой работе объектом исследования является СЭС группы из 4-х стенов для исследования асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Эта система имеет реальную структуру (рис.4.2).

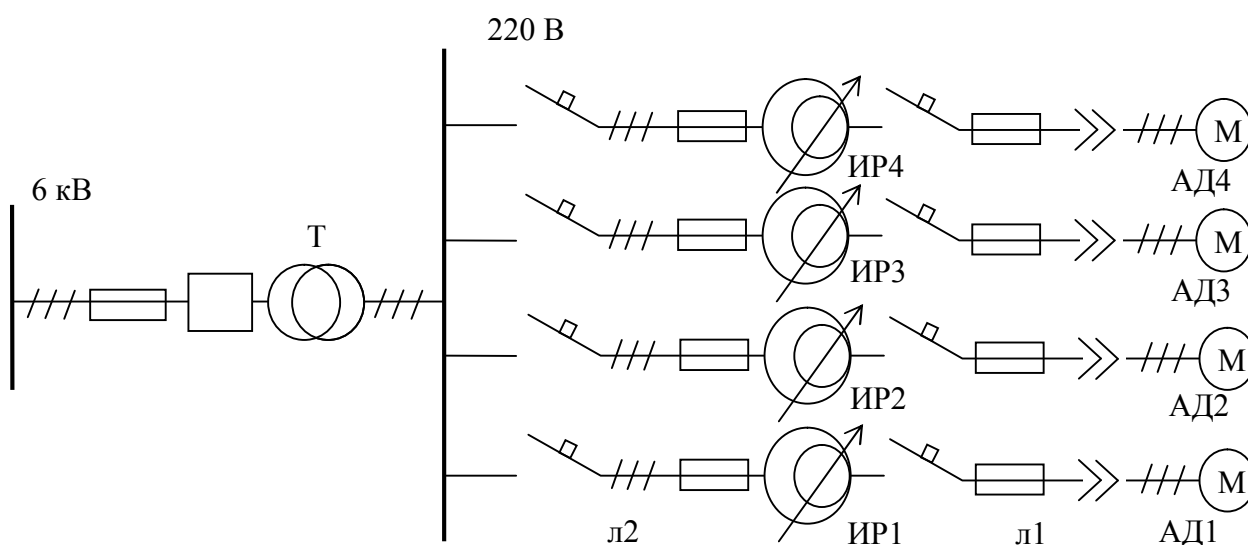


Рис. 4.2. Упрощенная схема СЭС лабораторных стенов.

Система включает асинхронные двигатели АД1-АД4, индукционные регуляторы ИР1-ИР4, участки радиальных линий низшего уровня (л1) и второго уровня (л2), а также автоматические выключатели, плавкие предохранители и т.п.

## 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

4.1. Изучить соответствующие разделы конспекта лекций и учебной литературы.

4.2. Ознакомиться с программой работы, продумать пути определения экспериментальных и расчетных данных.

4.3. Подготовить протокол испытаний к данной работе.

## 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

5.1. Данная работа представляет собой по сути дела исследование реальной СЭС и определение ее энергетических показателей на разных ступенях электроснабжения. Исходными данными являются графики нагрузок, полученные в двух предыдущих работах для отдельных двигателей и для их группы.

5.2. Составить план реализации программы работы. Уяснить пути определения потерь мощности и энергии в линиях двигатель-регулятор (л1) и регулятор - силовой трансформатор (л2), а также в конкретных регуляторах и в силовом питающем трансформаторе.

5.3. Определить данные для построения зависимостей  $w(t)$  и  $W(t)$  для заданного АД и их группы (технический учет). Определить расходы энергии  $w(t_i)$  и  $W(t_i)$  за время проведения экспериментов фактически – расходы за время проведения одного занятия). Данные занести в таблицу 1 протокола.

5.4. Построить зависимости  $w(t)$  и  $W(t)$  в одной системе координат. График  $W(t)$  строят, объединяя результаты для всех стендов.

5.5. Определить (выражение 4.2-4.3), потери энергии в линиях л1 стендов, (принять  $r_0=0,0106$  Ом/м), длины линий измерить на конкретных стендах; результаты записать в таблицу 2 протокола.

5.6. Вычислить потери активной мощности и энергии в индукционных регуляторах ( $\Delta P_{ир}$ ,  $\Delta W_{ир}$ ) всех стендов, записать результаты в таблицу. Туда же записать и вычисленные для каждой линии регулятор-трансформатор (л2) потери энергии ( $\Delta W_{л2}$ ).

5.7. Объединяя результаты п. 5.6., найти средние мощности и энергии на стороне НН трансформатора силового шкафа лаборатории (за одно занятие)  $P_{срт}$ ,  $W_T$ . Определить расход энергии и мощность ( $P_{ном}$ ,  $W_{ном}$ ) на стороне ВН трансформатора (среднюю мощность и расход энергии лабораторным оборудованием). Далее п. 5.7 занести в таблицу 3 протокола.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать цель работы, зависимости,  $p(t)$  и  $w(t)$ , протокол испытаний с данными о мощностях, потерях и расходах энергии на всех указанных ситуациях СЭС лабораторных стендов, выводы.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

7.1. Поясните способ определения расхода энергии по графику активной нагрузки  $p(t)$  или  $P(t)$ .

7.2. Объясните причины потерь энергии в линиях (л1, л2).

7.3. Почему СЭС данного типа называют радиальной?

7.4. Почему при вычислении расходов энергии и мощностей в данной работе не требуется приведение величин к ПВ=1?

7.5. Как различают уровни (ступени) технического (локального) и коммерческого (глобального) учета энергии?

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

8.1. [1], с. 172-275.

8.2. [2], с. 439-442.

8.3. [4], с. 18-35.

## 9. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4.

Паспортные данные индукционного регулятора (тип АИ 61-100):

Таблица 1. Данные по расходу энергии асинхронными двигателями.

№ п.п.	
$t_i$ , час.	
$w$ кВт·ч	
$W$ кВт·ч	

$w(t_n)=$   $W(t_n)=$

Таблица 2. Промежуточные потери энергии

№ стенда	1	2	3	4
$\Delta w_{л1}$ кВт·ч				
$\Delta p_{ир}$ , Вт				
$\Delta W_{ир}$ , кВт·ч				
$\ell_1$ , м				
$\ell_2$ , м				
$\Delta w_{л2}$				

Таблица 3. Общие данные о потерях энергии и ее расходе

№ п.п.	1	2	3	4	5	6
Обозначение	$\Delta P_T$ кВт	$\Delta W_T$ кВт·ч	$P_{ср. т}$ кВт	$W_T$ кВт·ч	$P_{ком}$ кВт	$W_{ком}$ кВт·ч
Величина						

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №5.

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПУСКА И САМОЗАПУСКА ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Исследование режимов пуска и определение на этой основе пиковых нагрузок группы асинхронных двигателей. Исследование и определение показателей режимов самозапуска этой группы.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

Прямой пуск при полном напряжении сети является основным способом пуска асинхронных двигателей. При разгоне вплоть до рабочих значений реактивная составляющая тока статора весьма значительна. Это вызывает большие токовые нагрузки питающих линий и распределительных устройств, в конечном итоге снижается напряжение, ухудшаются рабочие характеристики как самого двигателя, так и других потребителей, подключенных к этим линиям. Еще более серьезные последствия имеет пуск группы двигателей.

На практике такие нагрузки в СЭС называют пиковыми. Наибольший интерес представляет пиковый ток группы асинхронных двигателей (при одновременном пуске), он определяется как арифметическая сумма наибольшего из пусковых токов двигателей группы и расчетного тока и расчетного тока двигателя с наибольшим током:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п макс}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{и}} i_{\text{ном}}), \quad (5.1)$$

где  $k_{\text{и}}$ ,  $i_{\text{п макс}}$ ,  $i_{\text{ном}}$  – параметры двигателя с наибольшим пусковым током;  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток группы.

Пиковые нагрузки (по тону) определяют для выбора плавных вставок предохранителей, выбора уставок в устройстве защиты и оценки потерь напряжения в сетях.

Потери энергии при пуске асинхронного двигателя учитываются при оценке потерь энергии в СЭС:

$$\Delta W_{\text{ад}} \approx k \cdot h_{\text{п}} \cdot \frac{GD^2 \cdot n_0^2}{2620} \cdot 10^{-6} [\text{кВт} \cdot \text{ч}], \quad (5.2)$$

где поправочный коэффициент  $k$  определяется по параметрам схемы замещения:

$$k = 1 + \frac{r_1}{r'_2},$$

для двигателей нормального исполнения с короткозамкнутым ротором можно принять  $k \approx 2$ ;

$h_{\text{п}}$  – число пусков в час;  $n_0$  – частота вращения ротора при идеальном холостом ходе;  $GD^2$  – общий (маховой) момент инерции двигателя и рабочего (нагрузочного) механизма. Величину  $GD^2$  определяют методом свободного

выбега [2]. Для этого в режиме холостого хода отключают напряжение и снимают зависимость  $\omega(t)$  (кривую выбега),  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  - угловая скорость ротора.

Из известного в механике выражения

$$M = GD^2 \frac{d\omega}{dt}$$

следует что время замедления от  $\omega_1$  до  $\omega_2$  равно

$$t_3 = \int_{\omega_2}^{\omega_1} \frac{GD^2 d\omega}{M}, \quad (5.3)$$

( $M$  – тормозящий момент, в данном случае – момент трения в системе двигателя – механизм). Тогда момент инерции определится как

$$GD^2 = \frac{39,2 \cdot M}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{39,2 \cdot P_{\text{мех}}}{\operatorname{tg}\alpha \cdot \omega_0}, \quad [\text{H} \cdot \text{M}^2], \quad (5.4)$$

где величина  $\operatorname{tg}\alpha$  определяет угол наклона касательной к кривой выбега точке  $t = 0$ ;  $\omega = \omega_0$ .

На практике используют и менее точные выражения:

$$GD^2 \approx \frac{39,2 P_{\text{мех}} \cdot t_{\text{в}}}{\omega_0^2} \approx \frac{3508 P_{\text{мех}} \cdot t_{\text{в}}}{n_0^2}, \quad (5.5)$$

где  $t_{\text{в}}$ - полное время выбега, а в качестве  $P_{\text{мех}}$  используют механические потери в приводе.

На непрерывных производствах часто возникают кратковременные перерывы и автоматические восстановления электроснабжения. Соответствующие режимы двигателей при этом называют самозапусками, поскольку двигатели на данное время от СЭС не отключаются. При малых перерывах многие двигатели не успевают затормозиться до полной остановки и сохраняют некоторую остаточную скорость. В отличие от режимов пуска самозапуск, как правило, всегда является групповым, в связи с этим расчетные условия самозапуска оказываются весьма сложными [4]. Чтобы упростить эту задачу, на практике часто используют семейства характеристик вида

$$i_{\text{п}}(t); I_{\text{п}}(t), \quad (U = \text{const}); \quad I_{\text{п max}}(n_{\text{ост}}); \quad i_{\text{п max}}(n_{\text{ост}}); \quad I_{\text{п max}}(t_{\text{пер}}); \quad i_{\text{п max}}(t_{\text{пер}}),$$

где  $n_{\text{ост}}$  – остаточная скорость;

$t_{\text{пер}}$  – длительность перерыва в электроснабжении;

$I_{\text{п}}, I_{\text{п max}}, i_{\text{п}}, i_{\text{п max}}$  - параметры отдельных двигателей или всей группы.

Получаемые при этом результаты позволяют оценить пиковые нагрузки СЭС в режимах самозапуска асинхронных двигателей, при этом в качестве пикового тока берут максимальный ток группы.

$$I_{\text{пик}} = \sum_1^n i_{\text{п max}} = \max \{ I_{\text{п max}} \}.$$



### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

В данной работе группа из четырех асинхронных двигателей рассматривается как объект исследования. Используя приборы стендов, секундомер и результаты лабораторных работ №№2,3, можно получить достаточно полную информацию о пиковых нагрузках в режимах пуска и самозапуска этой группы.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

4.1. Ознакомиться с соответствующими разделами конспекта лекций и учебной литературы.

4.2. Продумать ход экспериментов и составить план реализации программы.

4.3. Подготовить протокол испытаний (п. 9).

### 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

#### Экспериментальная часть.

5.1. Осуществить прямой пуск (при  $U=U_{ном}$ ) каждого из двигателей группы. Используя результаты работ №№2,3, найти пиковую нагрузку (по току) группы асинхронных двигателей. (таблица 1 протокола).

5.2. В установившемся режиме холостого хода конкретного двигателя, отключая напряжение, используя показания тахометра и секундомера, снять зависимость  $n(t)$  (кривую выбега) вплоть до полной остановки ротора. Результаты записать в таблицу 2 протокола испытаний.

5.3. Для каждого из двигателей группы осуществить режим самозапуска при 50% -й нагрузке ( $U=U_{ном}$ ). Используя секундомер и показания тахометра и амперметра стенда, снять зависимости

а)  $i_{п max}=f(n_{ост})$  при  $n_{ост}=n-0$ ,

где  $n$  – начальная (установившаяся) частота вращения ротора;

б)  $i_{п max}=f(t_{пер})$  при  $t_{пер}=0-t_b$ ,

где время выбега  $t_b$  определено в п. 5.2.

Результаты записать в таблицу 3 протокола.

#### Расчетная часть.

5.4. Вычислить по данным п. 5.1. величину пикового тока  $I_{пик}$  группы асинхронных двигателей.

5.5. Построить кривую выбега. Определить (двумя способами) маховой момент инерции привода ( $GD^2$ ). Вычислить потери энергии при пуске для данного двигателя и для всей группы (режим одновременного пуска)  $\Delta W_{Ад}$ ,  $\Delta W_{Ад}$ .

5.6. Построить кривые зависимостей  $i_{п\ max}(n_{ост})$  и  $i_{п\ max}(t_{пер})$  для данного двигателя. Оценить пиковую нагрузку распределительного узла при самозапуске группы двигателей.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, протокол испытаний, вычисленные параметры и кривые зависимостей, перечисленные в программе работы, краткие выводы.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

7.1. Дайте определение пиковой нагрузки отдельного приемника энергии и группы приемников.

7.2. Как оценить величину пускового тока асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?

7.3. Поясните смысл терминов «кривая выбега» и «время выбега».

7.4. Как практически определить момент инерции ротора двигателя?

7.5. Каково практическое значение индивидуальных и групповых режимов самозапуска асинхронных двигателей?

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

8.1. [1], с. 28-29.

8.2. [2], с. 36-37, 442-444.

8.3. [4], с. 238-241.

## 9. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5.

Таблица 1. Пиковые нагрузки.

№ п.п.	1	2	3	4	$I_{\text{пик}}, \text{A}$
Обозначение	$i_{\text{п мех}}, \text{A}$	$I_{\text{р}}, \text{A}$	$k_{\text{п}}$	$I_{\text{номmax}}, \text{A}$	
Величина					

Таблица 2. Кривая выбега.

№ п.п.	1	2	...			$GD_1^2,$ $\text{H} \cdot \text{м}^2$	$GD_2^2,$ $\text{H} \cdot \text{м}^2$	$\Delta w_{\text{ад}},$ $\text{кВт} \cdot \text{ч}$	$\Delta W_{\text{ад}},$ $\text{кВт} \cdot \text{ч}$
$t, \text{с}$				$t_{\text{в}}=$					
$n, \text{мин}^{-1}$				0					

Таблица 3. Данные режимов самозапуска асинхронного двигателя.

№ п.п.	1	2	...	7	8
$n_{\text{ост}}, \text{мин}^{-1}$	$n=$				0
$i_{\text{п max}}, \text{A}$			...		
$t_{\text{пер}}, \text{с}$					$t_{\text{в}}=$
$i_{\text{п max}}, \text{A}$			...		

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №6.

### ПОСТРОЕНИЕ КАРТОГРАММЫ НАГРУЗОК. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗБРОСА НАГРУЗОК ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Освоение методов графического изображения и исследования электрических нагрузок (в частности – метода потенциальных функций), построение соответствующей картограммы и определение разброса нагрузок относительно заданных точек.

#### 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

При проектировании современных СЭС наиболее трудной задачей является выбор числа и мест расположения источников питания. Эти задачи становятся еще сложнее с ростом числа, разнотипности приемников и с расширением территории, на которой они расположены. Распределение нагрузок по территории удобно анализировать с помощью картограммы, где различными способами графически отображается расположение приемников и их нагрузок на плане участка, цеха или всего предприятия.

Методы построения картограммы весьма разнообразны [3], однако больше всего при разработке СЭС используют методы, где нагрузки (активные и реактивные) изображаются в виде трехмерных фигур, в частности – метод потенциальных функций. Рассмотрим суть этого метода.

Проводится аналогия между конкретными нагрузками приемников  $P_i$ , расположенных в точках с координатами  $(x, y)$ , и потенциалами некоторых гипотетических источников энергии, расположенных в тех же точках. В указанных точках потенциалы источников равны  $p_i$ , т.е. нагрузкам, но при переходе в любую другую точку  $(x_1, y_1; x_1 \neq x; y_1 \neq y)$  эти потенциалы убывают и в удаленных точках становятся незначительными. Вводится некоторая потенциальная функция  $F(x, y)$ , которая в любой точке  $(x, y)$  определяет сумму потенциалов всех источников и таким образом описывает трехмерную поверхность, расположенную на территории объекта. Рассматривая одинаковые значения функции, можно проводить горизонтальные сечения поверхности (т.е. выделять эквипотенциальные контуры). Такие контуры окружают вершины на данной поверхности, что указывает на концентрацию нагрузки. Это позволяет разбивать приемники на группы, находить точки, где нагрузки максимальны ( $F(x, y) = \max$ ) и тем самым определять количество и место расположения источников питания.

В этом плане наиболее рельефны показательные потенциальные функции, частности

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \exp[-a((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2)] \quad (6.1)$$

где  $a$  – показатель «контрастности» функции. При малых значениях  $a$  поверхность менее рельефна, однако при достаточно больших значениях этого показателя поверхность представляет группу остроконечных вершин, их число приближается к числу приемников  $n$ . Обычно принимают  $a=0,1 \div 0,8$ .

Помимо картограмм при выборе мест расположения источников используют и различные показатели разброса нагрузок и относительно заданных точек и осей на плане объекта. Например, для исследования разброса нагрузок вдоль осей координат используют эпюры нагрузок (рис. 6.1).

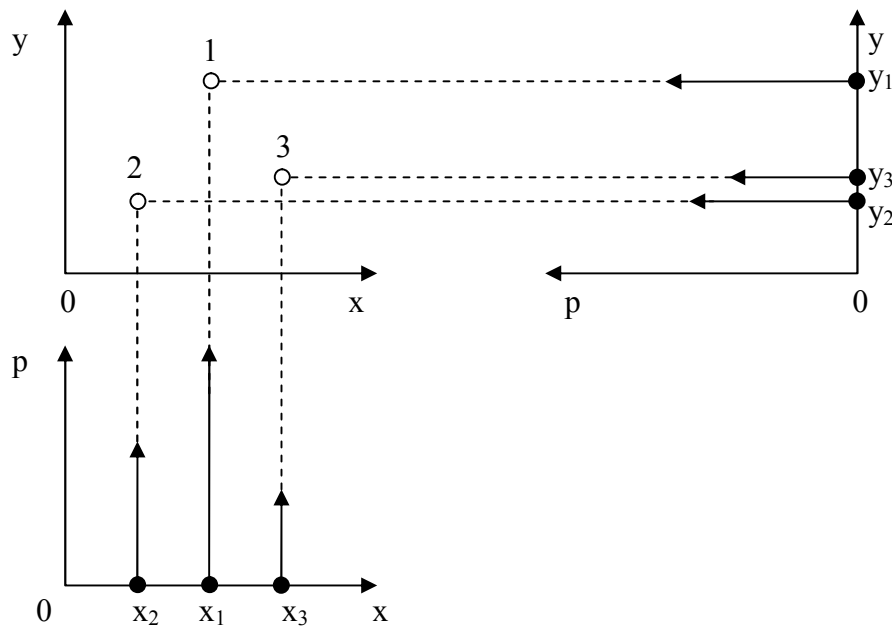


Рис. 6.1. Эпюры активных нагрузок ( $n=3$ ;  $p_1 > p_2 > p_3$ ).

Используют и различные количественные показатели разброса нагрузок. Например, величины

$$R_x = \sum_{i=1}^n p_i (x_i - a)^2; \quad R_y = \sum_{i=1}^n p_i (y_i - b)^2 \quad (6.2)$$

определяют разброс нагрузок относительно точки с координатами  $(a, b)$  вдоль соответствующих осей.

### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

Объект исследования в данной работе – лаборатория электрических машин, где каждая из машин рассматривается в качестве конкретного приемника энергии. Картограмма нагрузок строится непосредственно на плане лаборатории.

#### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

4.1. Изучить теоретические положения в соответствующих разделах учебной литературы и конспекта лекций.

4.2. Составить план выполнения работы, изучив программу (п.5).

4.3. Подготовить протокол испытаний.

#### 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

##### Практическая часть.

5.1. Изучить параметры и расположение приемников в группе электрооборудования (состав группы задается преподавателем).

5.2. Выбрать начало и направления осей координат, определить координаты каждого приемника. Результаты записать в таблицу 1 протокола.

##### Расчетная часть.

5.3. Выбрать шаг координатной сетки (в диапазоне 0,2-10 м). Определить активные нагрузки  $p_i$  приемников ( $i=1,2, \dots n$ ). Для этой цели удобно воспользоваться результатами работ №№2,3 и паспортными данными приемников.

5.4. Вычислить значения потенциальной функции (6-1) для каждого узла координатной сетки. Построить (в соответствующем масштабе) картограмму нагрузок. Показать на картограмме 1-2 горизонтальных сечения, соединяя плавными кривыми точки с примерно одинаковыми значениями функции  $F(x,y)$ . Высоту сечения  $h$  выбирать из условия  $h < F_{\max}(x,y)$ . Изучить таким образом возможность разбиения приемников на 2-3 группы.

5.5. Построить эпюры нагрузок в заданной группе ( $p(x)$  и  $p(y)$ ).

5.6. Вычислить разбросы нагрузок  $R_x(a)$ ,  $R_y(b)$  в диапазонах значений  $a=0 \div 0,5x_{\max}$ ;  $b=0 \div 0,5y_{\max}$ . Построить зависимости  $R_x(a)$ ,  $R_y(b)$ . Результаты расчетов записать в таблицу 2 протокола.

#### 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, протокол испытаний, картограмму, эпюры нагрузок, кривые разбросов  $R_x$ ,  $R_y$  и краткие выводы

#### 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. С какой целью строятся картограммы нагрузок?

7.2. Как можно использовать на практике картограмму реактивных нагрузок?

7.3. Можно ли использовать эпюры нагрузок при прокладке кабелей?

7.4. Поясните смысл коэффициента контрастности потенциальной функции.

7.5. Для каких целей используют показатели разброса нагрузок?

## 8. ЛИТЕРАТУРА.

8.1. [1], с. 25-38.

8.2. [3], с 86-90.

## 9. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №6.

Паспортные данные приемников:

Таблица 1. Координаты и нагрузки приемников

№№ приемников	1	2	...		n
Тип приемников					
Нагрузка $p_i$ , кВт					
$x_i$ , м					
$y_i$ , м			...		

Таблица 2. Показатели разброса нагрузок

$a$ , м			...	
$R_x$ , кВт·м <sup>2</sup>				
$b$ , м				
$R_y$ , кВт·м <sup>2</sup>				

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_



## Лабораторная работа №7.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ГРУППЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЕ ЗОНЫ ЕГО РАССЕЯНИЯ.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучение методов определения центров электрических нагрузок для заданной группы приемников энергии. Исследование зоны рассеяния при изменениях отдельных нагрузок во времени.

## 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.

Центром электрических нагрузок (ЦЭН) группы приемников электроэнергии называют такую точку на территории объекта, относительно которой показатели разброса нагрузок принимают наименьшее значение. Для определения ЦЭН в конкретном случае помимо введенных ранее показателей разброса вдоль осей  $R_x$  и  $R_y$  (выражения 6.2) вводится более обобщенный показатель разброса нагрузок относительно точки  $(a, b)$ :

$$R^*(a, b) = R_x + R_y. \quad (7.1)$$

Исследования на минимум функций  $R_x(a)$ ,  $R_y(b)$  и  $R^*(a, b)$  показали, что ЦЭН определяется точкой с такими координатами:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}; \quad b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{\sum_{i=1}^n p_i}. \quad (7.2)$$

При таком подходе понятие ЦЭН имеет много общего с центром тяжести системы материальных точек. В практических исследованиях часто достаточно исследовать на минимум функцию (7.1):

$$R^*(a, b) = \sum_{i=1}^n p_i [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2] \quad (7.3)$$

при  $R^*(a, b) = \min$  расположение источника питания (например, питающей подстанции или трансформатора) в ЦЭН (7.2) дает минимальные затраты на сооружение и эксплуатацию СЭС.

Для реальной группы электрооборудования, где каждый приемник имеет свой индивидуальный график нагрузок, ЦЭН становится нестабильной точкой; ее описание получится, если в (7.2) произвести замену:

$$a_0 \rightarrow a_0(t); \quad b_0 \rightarrow b_0(t); \quad p_i \rightarrow p_i(t),$$

$$\text{где } t = t_1, t_2, \dots; \quad p_i(t) = p_{i1}, p_{i2}, \dots -$$

- параметры соответствующих графиков нагрузок (см. лабораторную работу №2). Если ввести относительную нагрузку первого приемника

$$c_i(t) = \frac{p_i(t)}{\sum_{i=1}^n p_i(t)}, \quad (7.4)$$

то в любой момент времени координаты ЦЭН определяются как

$$a_0(t) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot c_i(t); \quad b_0(t) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot c_i(t). \quad (7.5)$$

Значения координат, определенные в моменты времени  $t=t_1, t_2, \dots$ , образуют множество точек на плане объекта, а зона их расположения получила название зоны рассеяния ЦЭН. Центр этой зоны можно определить по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} \bar{a}_0 &= \frac{1}{t_n} \sum_t a_0(t) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \bar{c}_i(t); \\ \bar{b}_0 &= \frac{1}{t_n} \sum_t b_0(t) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \bar{c}_i(t), \end{aligned} \right\} \quad (7.6)$$

$$\text{где} \quad \bar{c}_i(t) = \frac{1}{t_n} \sum_t c_i(t) = \frac{P_{срi}}{P_{ср}}. \quad (7.7)$$

В приведенных выражениях используются показатели графиков нагрузок  $t_n$  (длительность цикла работы) и  $p_{срi}$ ,  $P_{ср}$  (средние мощности данного приемника и всей группы).

### 3. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ.

В данной работе исследуется группа асинхронных двигателей, для которых были реализованы и изучены графики нагрузок (лабораторная работа №2)

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.

4.1. Изучить соответствующие разделы курса лекций и учебной литературы (п. 8).

4.2. Ознакомиться с программой работы и наметить план ее реализации.

4.3. Подготовить протокол испытаний.

### 5. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

5.1. Изучить схему расположения приемников группы, выбрать систему координат и определить координату каждого из них, записать полученные данные в таблицу 1 протокола.

5.2. Определить ЦЭН группы при стабильной нагрузке; в качестве нагрузок  $p_i$  взять их расчетные величины.

5.3. Используя данные графиков нагрузки, определить зону рассеяния ЦЭН. Для этой цели изобразить (в масштабе) план объекта и нанести на него конкретные ЦЭН для моментов времени  $t=t_1, t_2, \dots$ . Выбрать число интервалов  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Зону рассеяния изобразить, соединив плавной линией крайние точки на плане (см. табл. 2 протокола).

5.4. Определить центр зоны рассеяния. Дать рекомендации о выборе места расположения источника питания.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

Отчет должен содержать цель работы, протокол испытаний со всеми расчетными данными, план объекта (лаборатории) с нанесенными на него исходным ЦЭН и зоной его рассеяния, краткие выводы.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

7.1. Дайте понятие центра электрических нагрузок (ЦЭН).

7.2. Как определяют ЦЭН при стабильных нагрузках?

7.3. Что происходит с ЦЭН при нестабильных с (т.е. реальных) нагрузках?

7.4. Что представляет собой зона рассеяния ЦЭН? Как определить ее центр?

7.5. Как используют исследования ЦЭН и зоны его рассеяния при проектировании СЭС?

## 8. ЛИТЕРАТУРА

8.1. [3], с. 91-92; 100-105;

8.2. [2], с. 34-46.

## 9. ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №7.

Таблица 1. Исходные параметры группы приемников.

№ приемника	1	2	3	4
Тип приемника				
$P_i$ , кВт				
$X_i$ , м				
$Y_i$ , м				

Таблица 2. Параметры зоны рассеяния ЦЭН.

№ п.п.	1	2	.....	n
$t$ , мин				
$C_1$				
$C_2$				
$C_3$				
$C_4$				
$a_0$ , м				
$B_0$ , м				

$$\bar{a}_0 =$$

$$\bar{B}_0 =$$

Студент \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	2
2. Лабораторная работа №1. Исследование влияния отклонений напряжения на энергетические показатели асинхронного двигателя.....	3
3. Лабораторная работа №2. Составление графиков нагрузок электрооборудования и определение их показателей.....	8
4. Лабораторная работа №3. Определение расчетных нагрузок группы электрооборудования.....	13
5. Лабораторная работа №4. Исследование и определение расхода электроэнергии лабораторным электрооборудованием.....	17
6. Лабораторная работа №5. Исследование режимов пуска и самозапуска группы асинхронных двигателей.....	23
7. Лабораторная работа №6. Построение картограммы нагрузок. Определение разброса нагрузок электрооборудования.....	28
8. Лабораторная работа №7. Определение центра электрических нагрузок группы электрооборудования и построение зоны его рассеяния.....	33